

# ISFET Sensor for pH Measurement *TopHit CPS 491*

**Ион-селективный полевой транзистор для  
долговременного стабильного измерения pH  
в средах с высоким содержанием загрязнений**



## Применение

- Применение в процессах с:
  - Быстрым изменением значения pH
  - Чередующимися температурой и давлением
- Очистка воды и измерение сточных вод
- Среды с высоким содержанием загрязнений:
  - Наличие твердых частиц
  - Эмульсии
  - Процессы, связанные с выпадением осадков



С сертификатами ATEX и FM для применения во взрывоопасных областях

## Ваши преимущества

- Устойчивость к повреждениям
  - Корпус электрода полностью изготовлен из PEEK
  - Непосредственная установка в процесс, уменьшение затрат при работе с образцами и лабораторном анализе
- Двухкамерная система:
  - устойчивость к отравлению
  - гель без полиакриламида
- Применение при содержании в среде загрязнений
- Возможно применение при низких температурах
  - Малое время реагирования
  - Постоянная высокая точность
- Большой интервал времени между калибровками, чем у стеклянных электродов
  - Меньший гистерезис при чередующихся температурах
  - Малая ошибка измерения после высокотемпературной нагрузки
  - Почти полное отсутствие кислотных и щелочных ошибок
- Встроенный датчик температуры для температурной компенсации



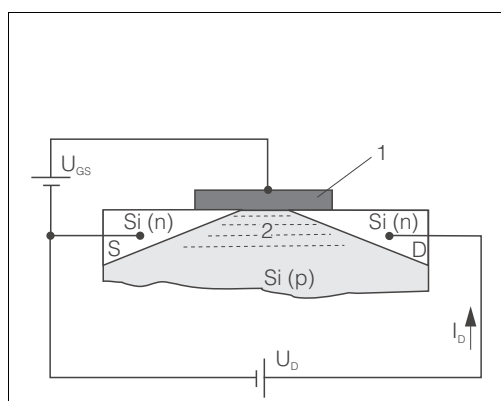
## Принцип действия и конструкция

### Принцип измерения

Ион-селективные, или, более общее определение, ион-чувствительные полевые транзисторы (IsFET) были разработаны в 70-х годах, как альтернатива стеклянным электродам для измерения pH.

#### Основные положения

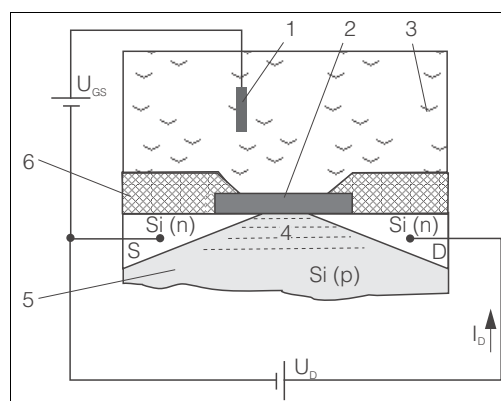
Ион-селективные полевые транзисторы используются как транзисторы МОП<sup>a</sup> структуры (Рис. 1), где металлический *затвор* (поз. 1) не используется как электрод сравнения. Вместо этого, среда (Рис. 2, поз. 3) в IsFET находится в непосредственном контакте с диэлектрической поверхностью затвора (поз. 2). Две N-проводящие области диффузируют в P-проводящую подложку (Рис. 2, поз. 5) полупроводникового материала (Si). Эти N-проводящие области являются источником тока ("*Исток*", S) и приемником тока ("*Сток*", D). Металлический затвор (в случае MOSFET) или среда (в случае IsFET) вместе с нижней подложкой образуют конденсатор. Разность потенциалов между затвором и подложкой ( $U_{GS}$ ) вызывает высокую плотность электронов между "Источком" и "Стоком". Образуется N-проводящий канал (Рис. 1, поз. 2 или Рис. 2, поз. 4), то есть индуцируется ток утечки ( $I_D$ ).



C07-CPS401ZY-15-05-00-xx-002.cps

Рис. 1: Принцип MOSFET

- 1 Металлический затвор
- 2 N-проводящий канал



C07-CPS401ZY-15-05-00-xx-001.cps

Рис. 2: Принцип IsFET

- 1 Электрод сравнения
- 2 Диэлектрическая поверхность затвора
- 3 Среда
- 4 N-проводящий канал
- 5 P-кремниевая подложка
- 6 Диэлектрическая поверхность (TopHit: корпус электрода)

При использовании IsFET, среда непосредственно контактирует с диэлектрической поверхностью затвора. Поэтому,  $H^+$  ионы, имеющиеся в среде, которые расположены в граничном слое среда / затвор, создают электрическое поле затвора. В связи с описанным выше эффектом формируется N-проводящий канал и индуцируется ток между "Источком" и "Стоком". Соответствующие цепи электрода используют зависимость ион-избираемого потенциала затвора, чтобы создать выходной сигнал, пропорциональный концентрации ионов.

## pH селективный IsFET

Диэлектрическая поверхность затвора является ион-селективным слоем для  $H^+$  ионов.

Диэлектрическая поверхность затвора непроницаема для ионов (эффект изолятора), но позволяет обратимые поверхностные реакции с  $H^+$  ионами.

В зависимости от кислотного или щелочного характера измеряемого раствора, функциональные группы диэлектрической поверхности принимают или отклоняют  $H^+$  ионы (амфотерность функциональных групп). Это ведет к положительному (приемка  $H^+$  в кислотной среде) или отрицательному (отклонение  $H^+$  в щелочной среде) заряду поверхности затвора. В зависимости от значения pH, определенный заряд поверхности может использоваться для управления полевым эффектом в канале между "Истоком" и "Стоком". Процессы, которые ведут к созданию потенциала заряда и, следовательно, к напряжению управления  $U_{GS}$  между "Затвором" и "Истоком", описываются уравнением Нернста:

$$U_{GS} = U_0 + \frac{2,3 \cdot RT}{nF} \cdot \lg a_{ion}$$

$U_{GS}$  ... Потенциал между затвором и истоком

$F$  ... Постоянная Фарадея (26,803 Ач)

$U_0$  ... Нулевое напряжение

$a_{ion}$  ... Активность ионов ( $H^+$ )

$R$  ... Газовая постоянная (8,3143 Дж/(мольК))

$T$  ... Температура [К]

$n$  ... Электрохимическая способность (1/моль)

$\frac{2,3 \cdot RT}{nF}$

Коэффициент Нернста

При 20 °C фактор Нернста равен -58 мВ/pH. При 20 °C фактор Нернста равен -58 мВ/pH.

### Важные характеристики TopHit CPS 491

- Устойчивость к повреждениям

Это - самая очевидная особенность электрода. Вся структура электрода заключена в корпус из полимера РЕЕК. Только особо стойкий диэлектрический слой затвора и электрод сравнения имеют прямой контакт со средой.

- Кислотные или щелочные ошибки

Следующее преимущество при сравнении со стеклянным электродом - значительно меньшее количество кислотных или щелочных ошибок на границах диапазона измерения pH. В отличие от стеклянных электродов, фактически никакие посторонние ионы не могут пристраиваться на IsFET затвор. Ошибка измерения < 0.01 pH (в диапазоне между pH 1 и 13) при 25°C является почти предельной.

Рисунок внизу показывает величину кислотной или щелочной ошибки для IsFET при измерении pH в диапазоне между 1 и 13, и сравнение со стеклянным электродом (два различных pH стекла) при измерении pH в диапазоне между 0.09 и 13.86.

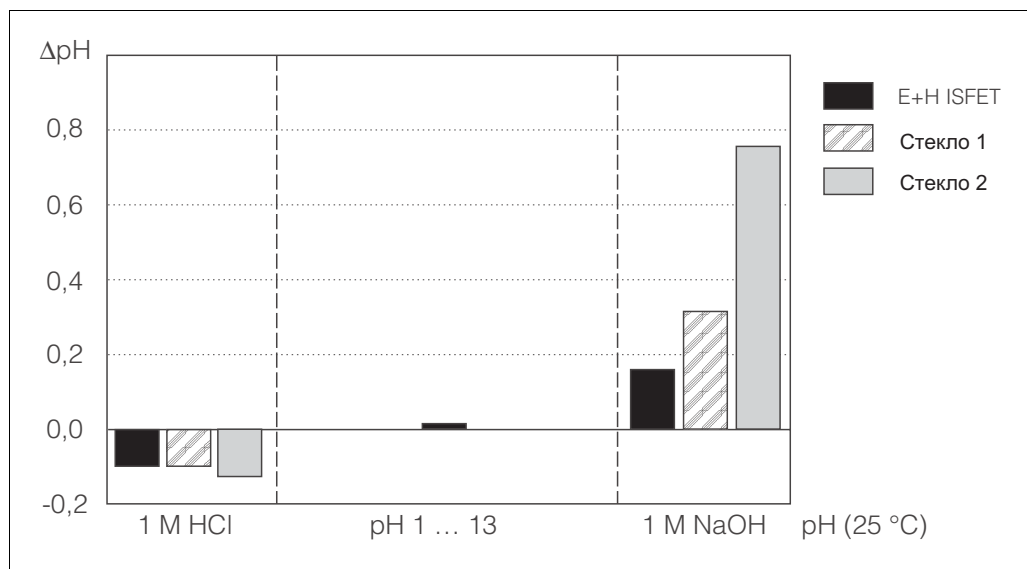


Рис. 3: Сравнение кислотных и щелочных ошибок

C07-CPS401ZY-05-05-00-en-001.eps

- Изотермические кривые
  - Уравнение Нернста определяет зависимость измеряемого напряжения от содержания ионов водорода (значение pH) и температуры. Это является основой технологии измерения pH также и для IsFET электродов. Из этого уравнения может быть взята температурная зависимость изменения потенциала от значения pH (изотермическая кривая, пересчет потенциала в значение pH при определенной температуре).
  - Изотермические кривые электрода IsFET - очень близки к теоретическим расчетам (Рис. 4). Это - еще одно доказательство высокой точности измерения pH для TopHit.

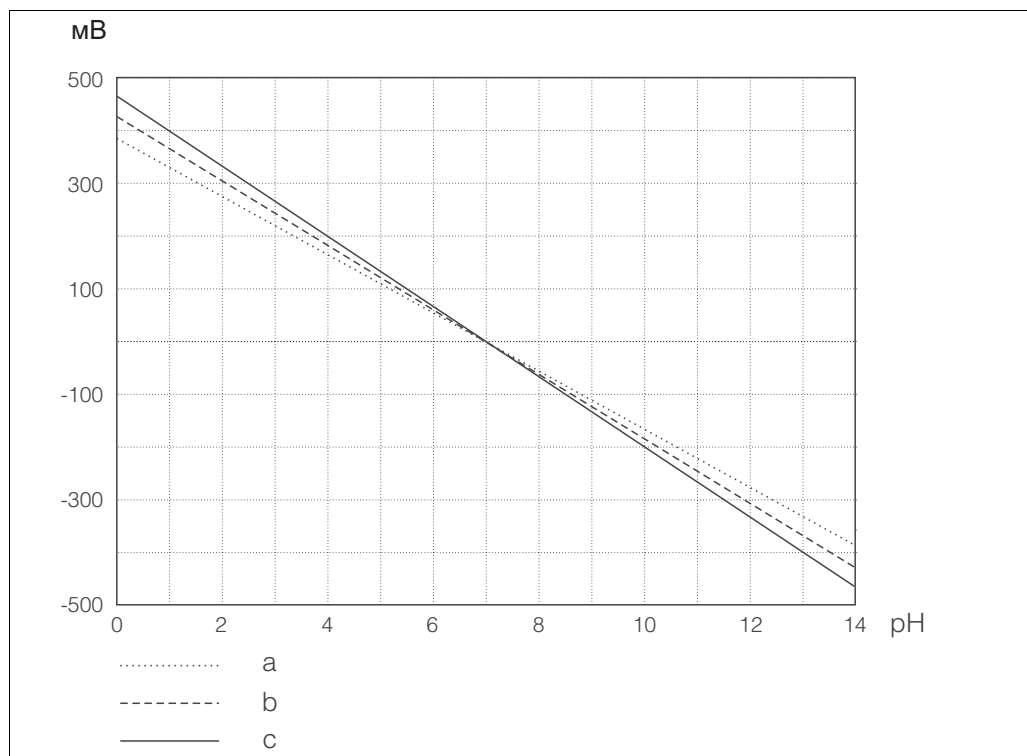


Рис. 4: Изотермические кривые TopHit

- 1 Изотермическая кривая при 8 °C, крутизна –55,8 мВ/pH
- 2 Изотермическая кривая при 37 °C, крутизна –61,5 мВ/pH
- 3 Изотермическая кривая при 61 °C, крутизна –66,3 мВ/pH

- Стабильность измерения и время реагирования электрода  
 Время реагирования IsFET очень мало во всем диапазоне рабочих температур. В IsFET электроде нет никакого (зависимого от температуры) установившегося равновесия, как в истоковом слое pH стекла стеклянного электрода. Он может также использоваться при низких температурах без увеличения времени реагирования. Большие и быстрые изменения температуры и значения pH оказывают меньший эффект на ошибку измерения (гистерезис), чем со стеклянным электродом, так как здесь отсутствует нагрузка, проявляемая на pH стекле.
- Система сравнения  
 Встроенный электрод сравнения TopHit является двухкамерной системой с электролитическим мостом. Преимущество - эффективный и устойчивый контакт между диафрагмой и электродом сравнения, и чрезвычайно длинная дорожка для отравления. Электролитический мост является очень стойким к изменениям температуры и давления.

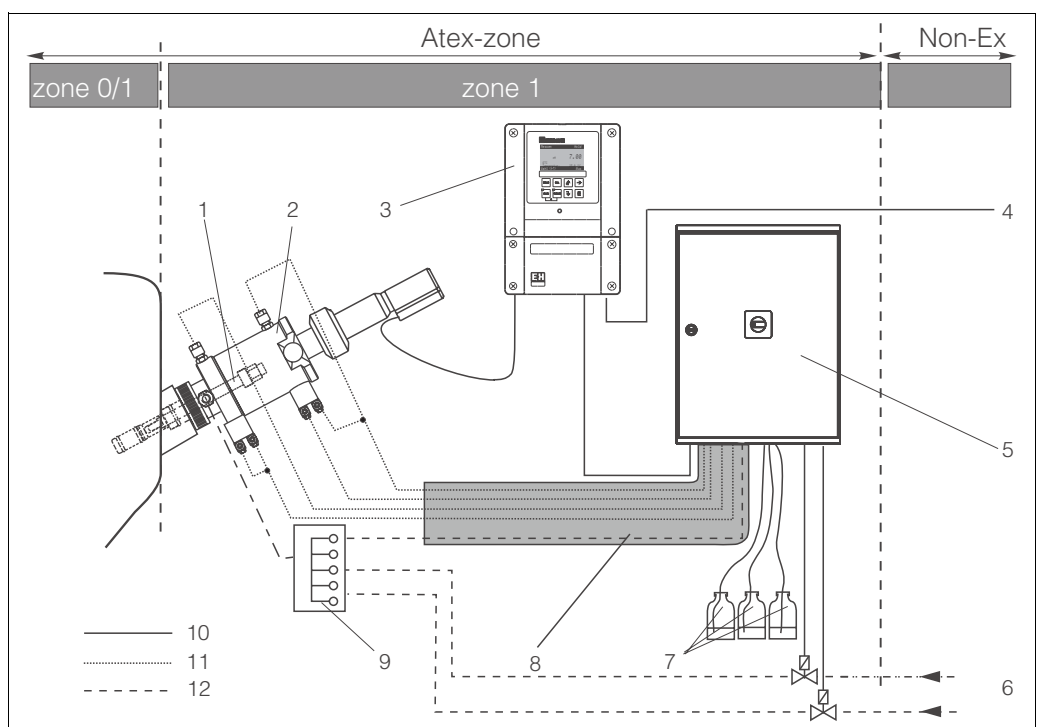
#### Измерительная система

Полная измерительная система состоит:

- IsFET электрод TopHit
- Измерительный кабель СРК 12 (с разъемом TOP 68)
- Измерительный преобразователь, например, Liquisys M CPM 223 (для монтажа в панели) или Liquisys M CPM 253 (для полевого монтажа) или Mусom S CPM 153.
- Погружная, проточная или выдвижная арматура, например, CleanFit P CPA 471 (но не CPA 450!)

Имеются дополнительные принадлежности, доступные в зависимости от применения:

- Автоматическая система очистки TopClean S CPC 30 или TopCal S CPC 300
- Удлинительный кабель, соединительная коробка VBA или VBM



C07-CPS401ZY-14-05-00-xx-003.eps

Рис. 5: Измерительная система с полностью автоматической системой измерения, очистки и калибровки TopCal S

1 TopHit	5 Устройство управления CPG 300	9 Блок промывки CPR 40
2 CleanFit H CPA 471	6 Пар, вода, раствор для очистки	10 Кабель питания
3 MyCom S CPM 153	7 Раствор для очистки, буферные растворы	11 Сжатый воздух
4 Питание	8 Шланги	12 Жидкости / раствор для очистки

Что касается температуры и pH, то процесс стерилизации не является проблемой из-за широкого диапазона применений для IsFET pH. Существует только маленький диапазон высоких значений pH, связанных с большими температурами, где электрод ведет себя не всегда устойчиво (см. "Процесс"). Среды с такими характеристиками удаляют диоксид кремния из IsFET чипа. Поскольку данный диапазон pH и температуры присутствует в CIP чистящих средствах (растворах), IsFET pH электрод должен использоваться только в комбинации с автоматической выдвижной арматурой.

#### Преимущества полностью автоматической системы измерения, очистки и калибровки TopCal:

- CIP очистка  
Электрод, помещенный в выдвижную арматуру, автоматически "извлекается" из среды перед очисткой. В камере промывки выдвижной арматуры электрод очищается соответствующими растворами.
- Циклы калибровки могут быть установлены индивидуально.
- Низкая цена обслуживания полностью автоматических функций очистки и калибровки.
- Высокая повторяемость результатов и малое отклонение значений отдельных измерений автоматической калибровки.

## Вода и сточные воды

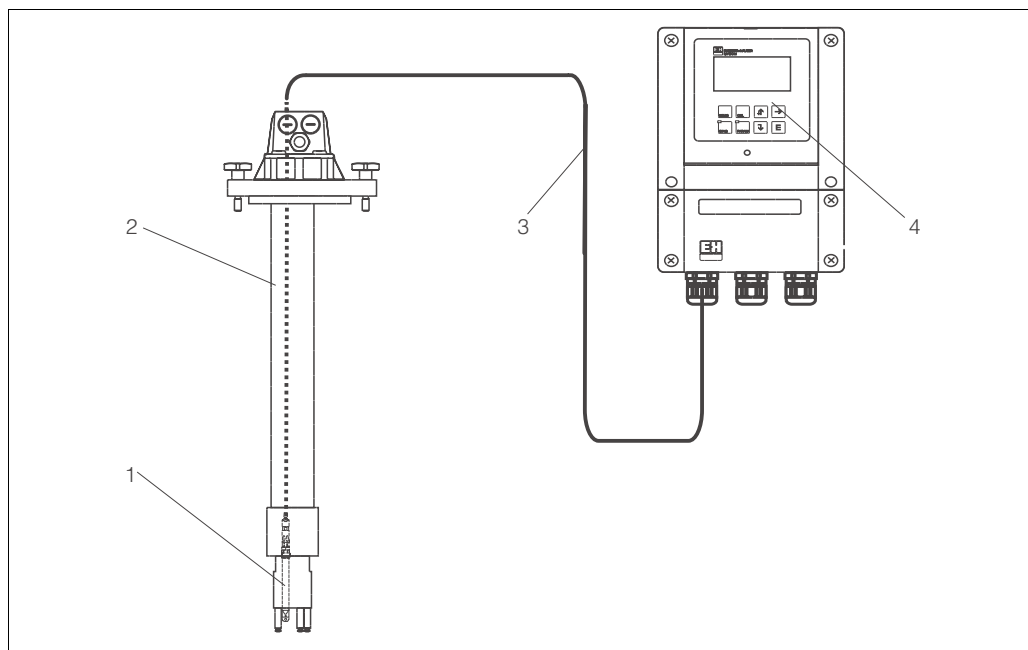


Рис. 6: Измерительная система для измерения воды и сточных вод

- 1 ТорНit
- 2 Погружная арматура DipFit W CPA 111
- 3 Измерительный кабель СРК 12
- 4 Преобразователь Liquisys M CPM 223/253

## Вход

---

<b>Измерительная переменная</b>	Значение рН Температура
---------------------------------	----------------------------

---

<b>Диапазон измерения</b>	0 - 14 рН -15 ... +135 °С
---------------------------	------------------------------



**Внимание!**  
Обратите внимание на рабочие условия эксплуатации.

## Питание

**Электрическое подключение** TopHit электрод подключается к измерительному преобразователю при помощи специального измерительного кабеля СРК 12.

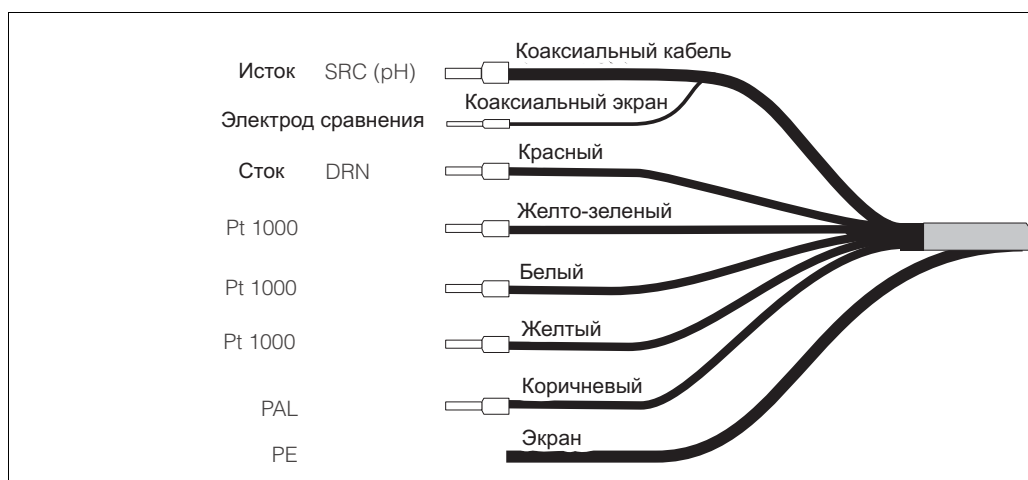


Рис. 7: Измерительный кабель СРК 12



### Примечание!

- Жилы кабеля желтого и белого цветов соединены вместе в электроде.
- Удостоверьтесь, что вы правильно выполняете инструкции для подключения электрода (диаграмма подключений) в Руководстве по эксплуатации преобразователя. Преобразователь должен быть предназначен для подключения IsFET электродов (например, Liquisys M CPM 223/253-IS). Преобразователь с входом только для стандартного электрода рН является непригодным.

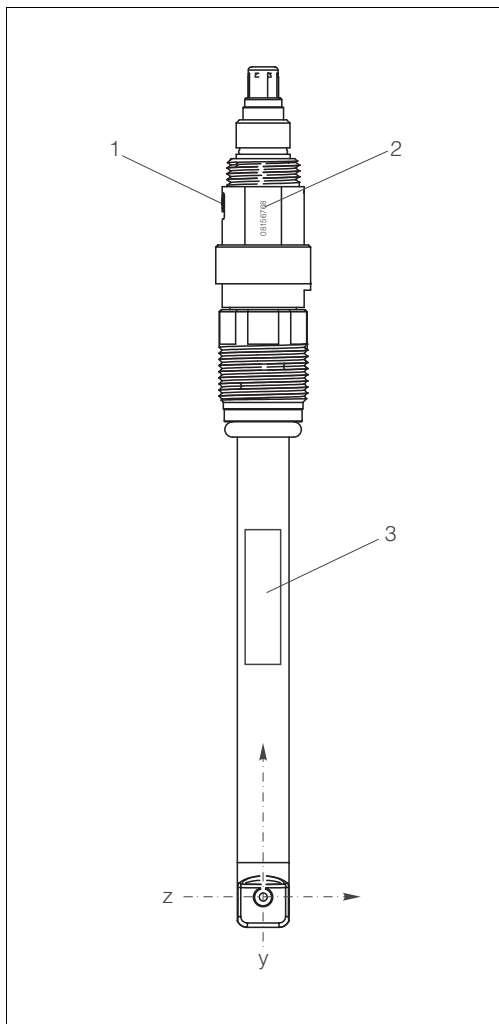
## Рабочие характеристики

<b>Время реагирования</b>	< 5 с При переходе от буфера рН 4 к буферу рН 7 при справочных рабочих условиях
<b>Справочные рабочие условия</b>	Справочная температура: 25 °С Справочное давление: 1013 мбар
<b>Максимальная ошибка измерения</b>	рН: ± 0.2 % от диапазона измерения Температура: Класс В согласно DIN / IEC 751
<b>Воспроизводимость</b>	± 0,1 % от диапазона измерения
<b>Задержка измерения при запуске</b>	Каждый раз при включении измерительного прибора происходит настройка петли управления. В этот период времени происходит отстройка и стабилизация величины измерения. Время стабилизации зависит от вида прерывания измерения и времени прерывания: <ul style="list-style-type: none"><li>• Пропадание питающего напряжение, электрод помещенный в среду: приблизительно от 3 до 5 минут</li><li>• Пропадание контакта жидкости между рН чувствительным IsFET и электродом сравнения: приблизительно от 5 до 8 минут</li><li>• При долгом сухом хранении электрода: до 30 минут</li></ul>

## Монтаж

### Ориентация электрода

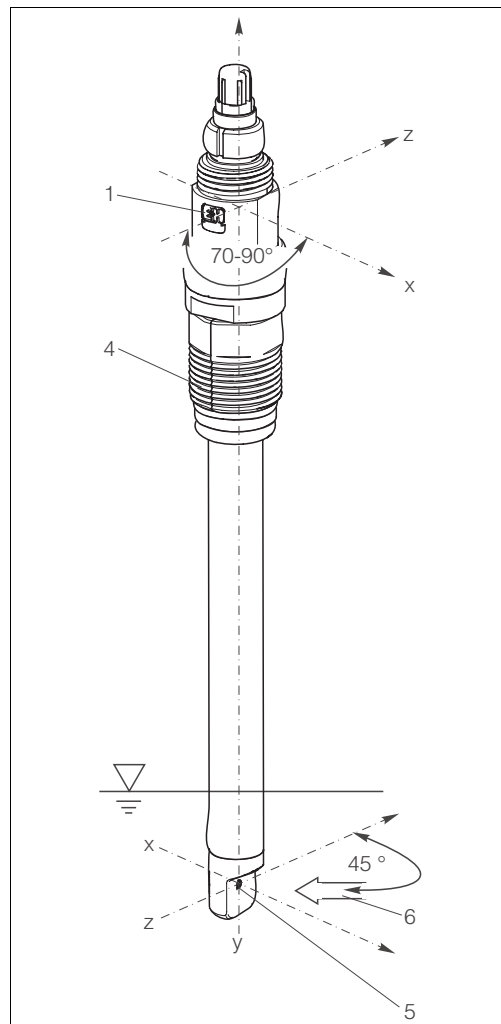
При монтаже TopHit обратите внимание на направление потока среды. ISFET чип должен быть установлен под углом приблизительно  $45^\circ$  к направлению потока (Рис. 9). Установка TopHit под правильным углом очень проста из-за его разьема.



C07-CPS4X1xx-11-05-00-xx-003.cps

Рис. 8: Ориентация электрода, вид спереди

- 1 Эмблема E+H (боковая, около  $90^\circ$ )
- 2 Заводской номер
- 3 Шильда



C07-CPS4X1xx-11-05-06-xx-003.cps

Рис. 9: Ориентация электрода

- 1 Эмблема E+H
- 4 Вращающаяся часть разъема
- 5 Чип ISFET
- 6 Направление потока среды

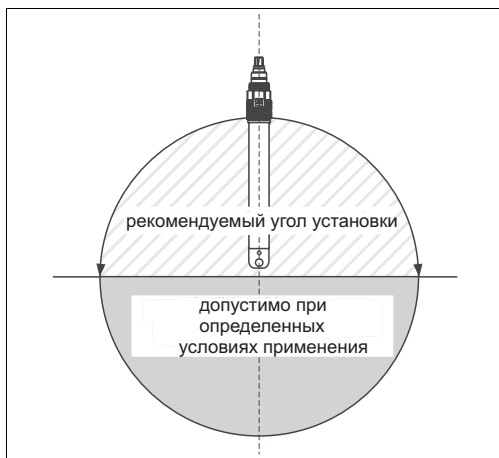
При монтаже электрода в арматуре, используйте выгравированный заводской номер на разъеме для правильной ориентации электрода. Заводской номер всегда одинаково расположен по отношению к ISFET чипу и шильде электрода (z-у-направления, Рис. 8).

Кроме того, для правильной ориентации электрода Вы можете использовать эмблему E+H. Место выгравированной эмблемы находится под углом  $70 - 90^\circ$  относительно месторасположения ISFET чипа (Рис. 9, позиция 1).



## Угол монтажа

IsFET электроды могут быть установлены в любой позиции, так как внутри их нет никакой жидкости. Однако, в случае установки в перевернутом положении, наличие возможного воздушного пузырька<sup>a</sup> в системе сравнения может нарушить электрический контакт между средой и диафрагмой.



C07-CPS401ZY-11-05-00-en-002 eps

Рис. 10: Угол установки TopHit



### Примечание!

- Установленный электрод может быть выдержан в сухом состоянии максимум 6 часов (то же относится к установке в перевернутом положении).
- Удостоверьтесь, что Вы выполняете инструкции в руководстве по эксплуатации для используемой арматуры

## Окружающие условия

### Диапазон окружающей температуры



### Внимание!

*Опасность повреждения при замерзании.*

Не эксплуатируйте электрод при температурах ниже  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Температура хранения 0 - 50 °C

Степень защиты IP 68 (с разъемом TOP 68)

**Чувствительность к свету** Как каждый полупроводник IsFET чувствителен к свету (колебания измеренного значения). Избегайте прямого солнечного света во время калибровки и работы! Обычный свет окружающей среды не влияет на измерение.

a) Технология производства исключает наличие воздуха в системе сравнения электрода. Образование воздушной подушки возможно в случае работы при разрежении, например, при очистке танков.

## Процесс

### Температура среды в зависимости от pH

При высоких температурах за длительный период времени щелочь безвозвратно уничтожает диоксид кремния диэлектрического слоя затвора. Электрод может использоваться только в обозначенном диапазоне (Рис. 11) для нормальной продолжительности его жизни. При постоянном воздействии 2%-ого раствора гидроксида натрия при 80°C, продолжительность жизни электрода уменьшается приблизительно до 10-15 часов.

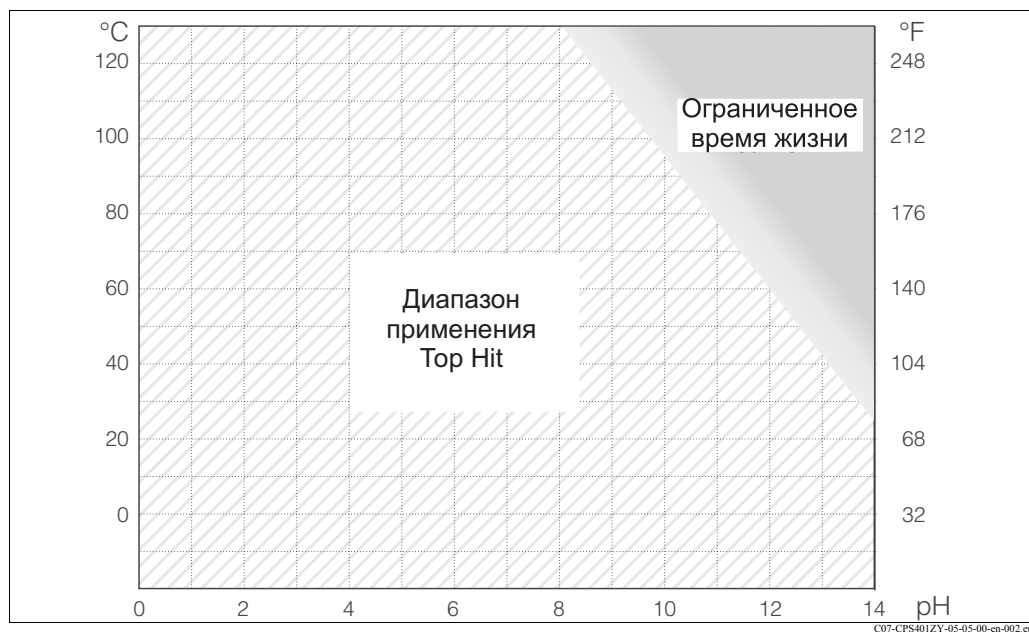


Рис. 11: Температура и pH

### Применение при низких температурах

Диапазон применения электрода согласно кода заказа (см. информацию по коду заказа, структура прибора).

### Нагрузочная диаграмма давление-температура

Давление / температура: 10 бар / макс. 100 °C, стерилизация: 3 бара / 135 °C, 1 ч

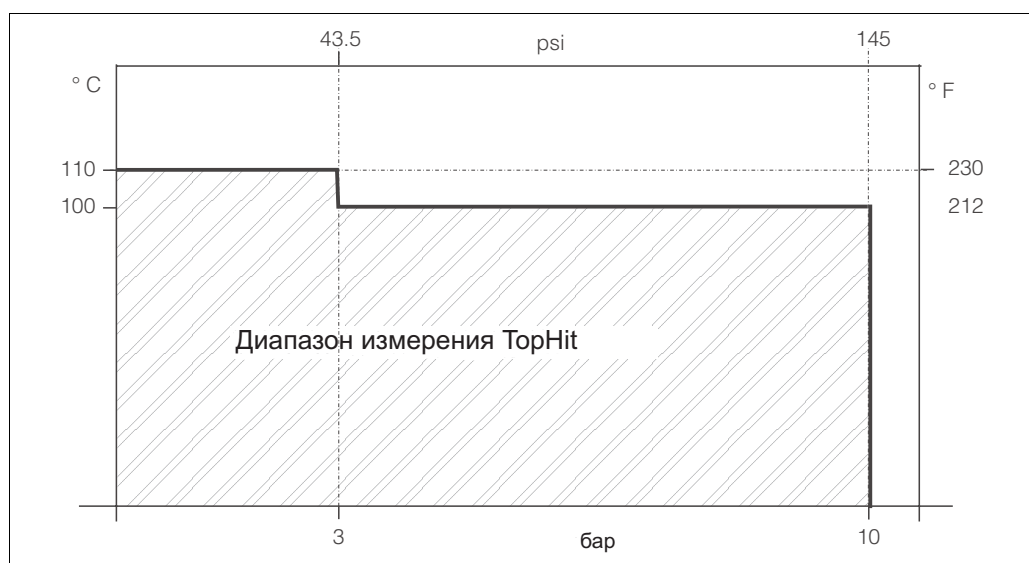


Рис. 12: Давление и температура



**Внимание!**  
Опасность повреждения электрода.  
Никогда не используйте TopHit при условиях вне данных спецификаций!

## Механическая конструкция

### Конструкция, размеры

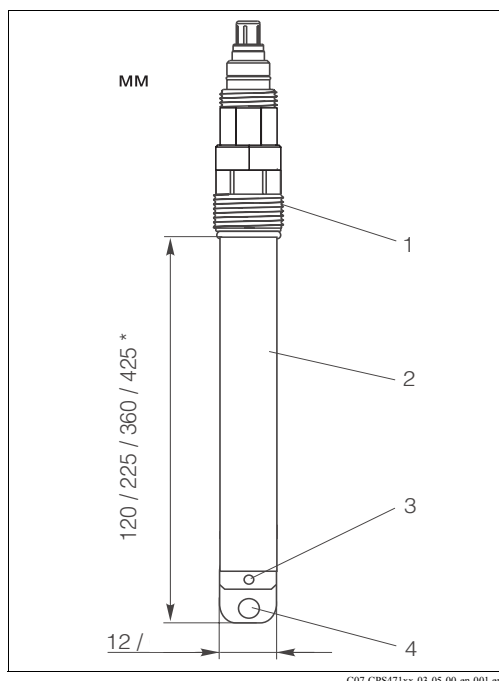


Рис. 13: TopHit CPS 491

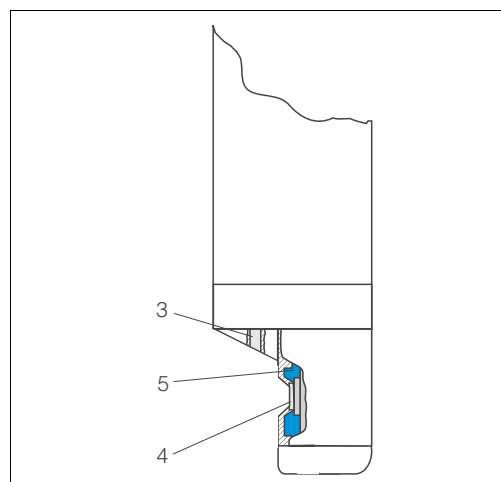


Рис. 14: Голова электрода

- 1 Разъем Top68
- 2 Корпус электрода
- 3 Электрод сравнения
- 4 IsFET чип
- 5 Уплотнение (перфторэластомер)

Вес	0.1 кг	
Материал	Корпус электрода Уплотнения	PEEK, FDA Перфторэластомер
Подключение в процесс	Pg 13.5	
Чистота поверхности	$R_a < 0.8$ мкм	
Датчик температуры электрода	Pt 1000 (класс B согласно DIN IEC 751)	
Разъем	ESB; TOP 68, вращаемый	
Диафрагма	Керамика, пригодна для стерилизации	

## Сертификаты и нормы

### Ex нормы FM/CSA

- FM  
Cl. I, Div. 1, Groups A, B, C, D, в комплекте с преобразователем Muscom S 153-O/-P
- CSA  
Cl. I, Div. 1, Groups A, B, C, D, в комплекте с преобразователем Muscom S 153-S

### Ex нормы ATEX

Device group II, Category 1G  
Взрывозащита EEx ia IIC T4/T6

## Информация по коду заказа

### Структура прибора CPS 491

- PEEK ISFET электрод для измерения pH
- Для сред с высоким содержанием загрязнений, также с содержанием растворенной органики
  - Встроенный в электрод датчик температуры Pt 1000
  - Двухкамерная система сравнения с устойчивым к отравлению гелем
  - Открытая диафрагма
  - Материал уплотнения: Перфторэластомер
  - Диапазон применения: 0 - 14 pH, -15 ... +135 °C
  - Для Ex и не-Ex применений
  - Для измерительного кабеля СРК12

Длина корпуса	
2	Длина корпуса: 120 мм
4	Длина корпуса: 225 мм
5	Длина корпуса: 360 мм
6	Длина корпуса: 425 мм
Разъем	
ESB	Резьбовой разъем, Pg 13.5, TOP 68, вращающийся
Опции	
2	Чип уплотнение: Перфторэластомер
9	Специальное исполнение согласно спецификации заказчика
CPS 491-	полный код заказа

---

## Принадлежности

---

### Преобразователи

- Liquisys M CPM 223/253  
Преобразователь для pH и ОВП, корпус для панельного и полевого монтажа, Ex или не-Ex, возможны Hart<sup>®</sup> или PROFIBUS;  
Заказ согласно структуры кода заказа прибора, см. Техническую информацию.
- Muscom S CPM 153  
Преобразователь для pH и ОВП, одно или двухканальное исполнение, Ex или не-Ex, возможны Hart<sup>®</sup> или PROFIBUS;  
Заказ согласно структуры кода заказа прибора, см. Техническую информацию.

---

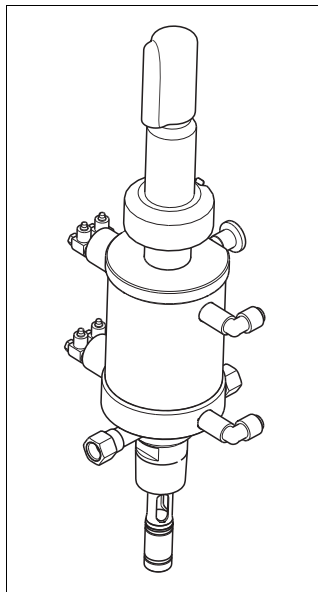
### Полностью автоматические измерительные системы

- TopCal S CPC 300  
Полностью автоматическая система измерения, очистки и калибровки; Ex или не-Ex;  
Локальная калибровка и очистка, автоматический контроль электрода;  
Заказ согласно структуры кода заказа прибора, см. Техническую информацию.
- TopClean S CPC 30  
Полностью автоматическая система измерения и очистки; Ex или не-Ex;  
Локальная калибровка и очистка, автоматический контроль электрода;  
Заказ согласно структуры кода заказа прибора, см. Техническую информацию.

---

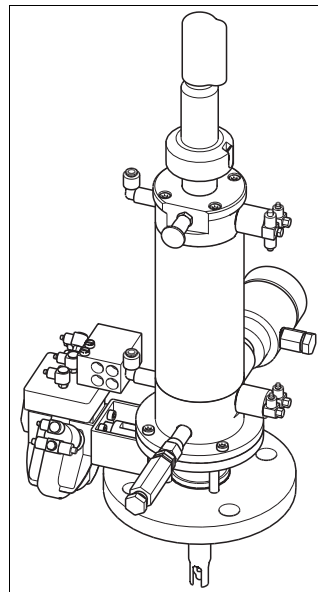
### Арматуры

- CleanFit P CPA 471  
Выдвижная арматура для установки в емкостях или на трубопроводах;  
Заказ согласно структуры кода заказа прибора, см. Техническую информацию.
- CleanFit P CPA 473  
Выдвижная арматура с ручным или пневматическим приводом, с шаровым краном для надежного отключения от процесса, части контактирующие со средой из нержавеющей стали 1.4404 (AISI 316L);  
Заказ согласно структуры кода заказа прибора, см. Техническую информацию.
- CleanFit P CPA 474  
Выдвижная арматура с ручным или пневматическим приводом, с шаровым краном для надежного отключения от процесса, части контактирующие со средой из PP, PEEK или PVDF;  
Заказ согласно структуры кода заказа прибора, см. Техническую информацию.



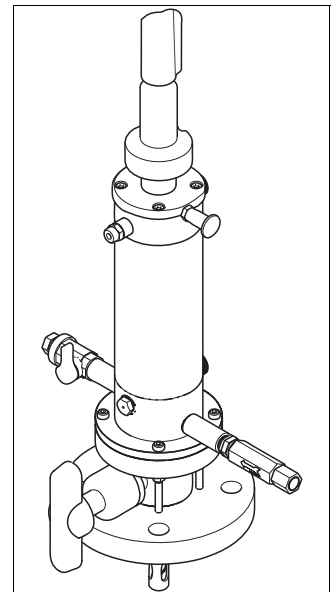
C07-CPA471FY-21-07-06-xx-001.eps

Рис. 15: CleanFit P CPA 471



C07-CPA473xx-21-07-06-xx-001.eps

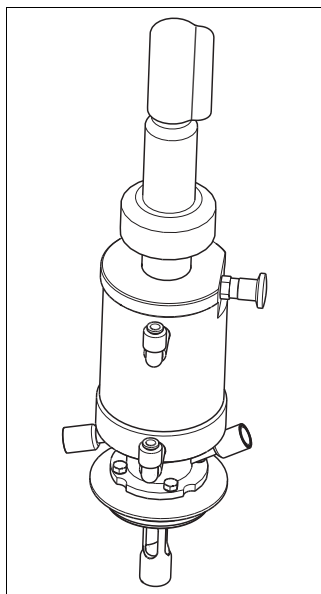
Рис. 16: CleanFit P CPA 473



C07-CPA474xx-21-07-06-xx-002.eps

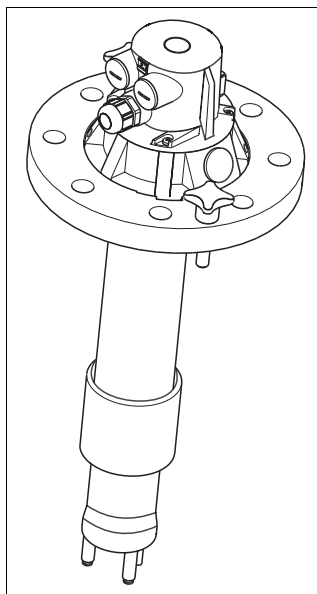
Рис. 17: CleanFit P CPA 474

- ❑ CleanFit H CPA 475  
Выдвижная арматура для установки в емкостях или на трубопроводах в условиях стерилизации;  
Заказ согласно структуры кода заказа прибора, см. Техническую информацию.
- ❑ DipFit W CPA 111  
Погружная или установочная арматура для открытых и закрытых емкостей;  
Заказ согласно структуры кода заказа прибора, см. Техническую информацию.
- ❑ UniFit H CPA 442  
Установочная арматура для пищевой промышленности, биотехнологий и фармацевтики,  
с сертификатами EHEDG и 3A;  
Заказ согласно структуры кода заказа прибора, см. Техническую информацию.



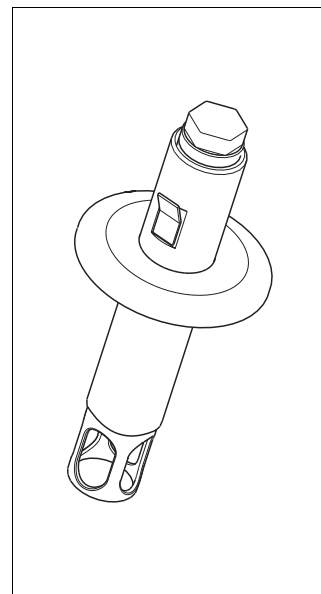
C07-CPA475ZY-21-07-06-xx-001.eps

Рис. 18: CleanFit H CPA 475



C07-CPA473xx-21-07-06-xx-001.eps

Рис. 19: DipFit W CPA 111



C07-CPA471FY-21-07-06-xx-001.eps

Рис. 20: UniFit H CPA 442

## Буферные растворы

Технические буферные растворы, точность 0.02 pH, согласно NIST/DIN

- ❑ pH 4.0 красный, 100 мл, код заказа СРУ 2-0
- ❑ pH 4.0 красный, 1000 мл, код заказа СРУ 2-1
- ❑ pH 7.0 зеленый, 100 мл, код заказа СРУ 2-2
- ❑ pH 7.0 зеленый, 1000 мл, код заказа СРУ 2-3

Технические буферные растворы для однократного применения, точность 0.02 pH, согласно NIST/DIN

- ❑ pH 4.0 20 x 20 мл, код заказа СРУ 2-D
- ❑ pH 7.0 20 x 20 мл, код заказа СРУ 2-E

## Кабель

Длина кабеля	
HA	Длина кабеля: 5 м, оболочка TPE, макс.130 °C
HB	Длина кабеля: 10 м, оболочка TPE, макс.130 °C
HC	Длина кабеля: 15 м, оболочка TPE, макс.130 °C
HD	Длина кабеля: 20 м, оболочка TPE, макс.130 °C
HF	Длина кабеля: 5 - 20 м, оболочка TPE, макс.130 °C
HG	Длина кабеля: 16 - 160 футов, оболочка TPE, макс.130 °C
Исполнение	
A	Стандартное исполнение
Заделка кабеля	
1	Концевик со стороны прибора, плетеный экран кабеля
Выравнивание потенциалов	
A	Внешнее выравнивание потенциала с плоским штепселем
СРК 12-	полный код заказа

---

## Документация

---

### Арматуры

- CleanFit P CPA 471, Техническая информация TI 217C/07/en; код заказа 51502596
- CleanFit P CPA 473, Техническая информация TI 344C/07/en; код заказа 51510923
- CleanFit P CPA 474, Техническая информация TI 345C/07/en; код заказа 51510925
- CleanFit H CPA 475, Техническая информация TI 240C/07/en; код заказа 51505599
- DipFit W CPA 111, Техническая информация TI 112C/07/en; код заказа 50066450
- UniFit H CPA 442, Техническая информация TI 297C/07/en; код заказа 51506724

---

### Преобразователи

- Liquisys M CPM 223/253, Техническая информация TI 194C/07/en; код заказа 51500277
- Muscom S CPM 153, Техническая информация TI 233C/07/en; код заказа 51503788

---

### Полные автоматические системы

- TopCal S CPC 300, Техническая информация TI 236C/07/en; код заказа 51504329
- TopClean S P CPC 30, Техническая информация TI 235C/07/en; код заказа 51504335

---

### Кабель

- СРК 1-12, Техническая информация TI 124C/07/en; код заказа 50068526

---

---

**Endress+Hauser GmbH+Co. KG**

Instruments International  
P.O. Box 2222  
D-79574 Weil am Rhein  
Germany

Tel. (07621) 975-02  
Tx 773926  
Fax (07621) 975 345  
e-mail: [info@ii.endress.com](mailto:info@ii.endress.com)

**Internet:**

<http://www.endress.com>

**Endress + Hauser**

The Power of Know How

