

Планирование газоизмерительных систем

Между измерительной
головкой и центральным
контроллером



Предисловие и содержание

Эта брошюра может использоваться как руководство при планировании и установке газоизмерительных систем Polytron.

В ней даны ответы на типичные вопросы, возникающие при установке таких систем, например, об электрических соединениях измерительных головок Dräger с центральным контроллером, подобным Polytron или Regard, а также с любой контроллерной системой. Вот почему мы назвали эту брошюру “Между измерительной головкой и центральным контроллером”.

Никоим образом не заменяя соответствующие руководства по эксплуатации, она дополняет их, предлагая советы, рекомендации и дополнительную информацию.

Доктор Вольфганг Йессель
Январь 2003 г.

Краткий обзор измерительных головок Dräger	3
1. 2-проводной принцип	4
2. 2-проводные измерительные головки Polytron 2 и Polytron L	6
2.1 Polytron1 для невзрывоопасной зоны	6
2.2 Polytron1 для взрывоопасной зоны	7
2.3 2-проводная измерительная головка Polytron TX	7
3. Искробезопасность (I.S.) и барьеры безопасности	8
3.1 Активные барьеры безопасности	8
3.2 Барьеры безопасности с гальванической развязкой	9
3.3 Характеристики, определяющие эффективность барьера безопасности	10
3.4 Установка барьера безопасности	10
4. 2-проводная измерительная головка Polytron 2	11
4.1 Polytron 2 во взрывоопасной, классифицированной зоне	11
5. 3-проводной и 4-проводной принцип	12
6. 3-проводные измерительные головки Polytron	14
6.1 Polytron FX	14
6.2 Polytron Ex	14
6.3 Polytron IR Ex	14
6.4 Polytron IR, Polytron 2 XP Ex и Polytron 2 XP Tox	15
7. Измерительная головка Polytron и программируемые логические контроллеры	16
8. Цифровая связь	17
8.1 HART-связь	17
8.2 RS 485 связь	18
9. Кабели: сопротивление и характеристики	19
10. Пробоотборное устройство Polytron	20

Краткий обзор измерительных головок Dräger

Продукт	Электрическое соединение	Классификация	Категория
Polytron 1	2-проводная измерительная головка, 4-20 мА	EEx ia IIC T4/T6	II 2G
Polytron L	2-проводная измерительная головка, 4-20 мА	EEx ia IIC T4	II 2G
Polytron TX	2-проводная измерительная головка, 4-20 мА	EEx d IIB+H2 T5/T6 класс 1, раздел 1, группы C, D	II 2G
Polytron 2	2-проводная измерительная головка, 4-20 мА, HART	EEx ia IIC T4/T6	II 2G
Polytron FX	3-проводная измерительная головка, 4-20 мА	EEx d IIC T4/T6 класс 1, раздел 1, группы B, C, D	II 2G
Polytron Ex	3-/4-проводная измерительная головка, 4-20 мА	EEx me [ib] IIC T4	II 2G *)
Polytron Ex-R	3-/4-проводная измерительная головка, 4-20 мА	EEx me [ib] IIB T4	II 2G *)
Polytron IR Ex, IR CO2	3-/4-проводная измерительная головка, 4-20 мА	EEx me [ib] d IIB+H2 T4	II 2G
Polytron SE Ex	Полумост Уитстона	EEx de IIC T4/T5/T6	II 2G
Polytron IR	3-проводная измерительная головка, 4-20 мА, HART, RS 485	EEx d [ia] IIC T5	II 2G
Polytron 2 XP Tox	3-проводная измерительная головка, 4-20 мА, HART, RS 485	EEx d [ia] IIC T6 класс 1, раздел 1, группы B, C, D	II 2G
Polytron 2 XP Ex	3-проводная измерительная головка, 4-20 мА, HART, RS 485	EEx d IIC T4/T6 класс 1, раздел 1, группы B, C, D	II 2G
Polytron Pulsar	Приемник: 3-проводная измерительная головка, 4-20 мА	EEx d IIC T4/T6	II 2GD

*) Оформляется сертификат соответствия типа ЕС

В таблице приводится краткий обзор измерительных головок Dräger, их электрических соединений и классификации.

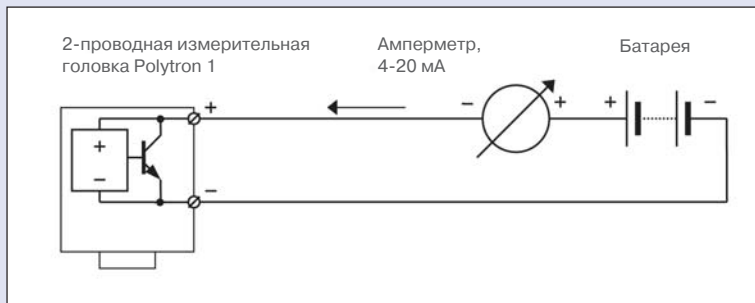
Все измерительные головки относятся к категории II 2G согласно директиве 94/9/EG (ATEX 100a), то есть являются устройствами, пригодными к эксплуатации во взрывоопасных областях, классифицируемых как класс I (взрывоопасные газы и пары) зона 1 и зона 2, но не зона 0. Исключение составляет Polytron Pulsar, который может также использоваться в областях класса II (горючая пыль), зонах 21 и 22, но не в зоне 20.

В таблице показан только оптический приемник трассовой системы Polytron Pulsar, а не излучатель. Приемник совместим с описанными 3-проводными измерительными головками.

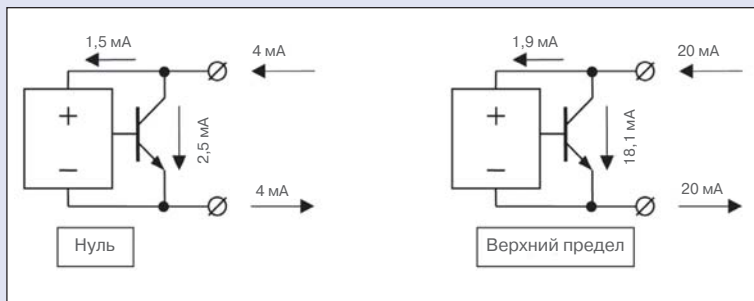
Все устройства, за исключением одного, называются измерительными головками, т. е. они преобразуют измеренную концентрацию газа в стандартный электрический сигнал. Только Polytron SE Ex не является измерительной головкой. Ее мы назовем сенсорной головкой, потому что она является частью моста Уитстона (SE = полумост) и не содержит никакой электроники.

1. 2-проводной принцип

Главная характеристика 2-проводной измерительной головки – низкое энергопотребление в нормальном режиме. Для ее работы требуется менее 4 мА. Только в этом случае электропитание и выходной сигнал могут подаваться по одной линии.



На рисунке показана типичная 2-проводная цепь, характерная для каждой 2-проводной измерительной головки. Для электроники измерительной головки Polytron 1 необходимо напряжение питания всего 8 В, которое преобразуется в головке в два очень стабильных напряжения $\pm 2,5$ В. Этого напряжения достаточно для работы схем стабилизатора и усилителя, а также управления дисплеем и выходным транзистором. На все эти функции потребляется ток менее 2 мА. Ситуация не изменяется, даже если датчик газа (электрохимический сенсор) вырабатывает более высокий сигнал при наличии газа:



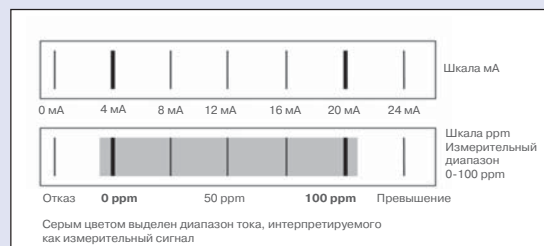
Если измерительная головка калибрована, то в отсутствие газа она покажет 'нуль'. Чтобы амперметр показывал ток 4 мА, выходной транзистор должен 'приоткрыться' и отобрать из линии питания определенный ток, доведя полный ток в цепи до 4 мА.

На 'верхнем пределе измерения' (когда результат измерения равен измерительному диапазону), ток, потребляемый электроникой, немного выше (в данном примере он возрастает с 1,5 до 1,9 мА). Выходной транзистор приоткрывается (т.е. сопротивление его перехода уменьшается) настолько, чтобы пропустить ток 18,1 мА; в результате по линии проходит полный ток 20 мА.

Токовый контур 4-20 мА

Токовый контур 4-20 мА, который широко используется в аппаратуре для промышленных измерений, обладает рядом преимуществ. Во первых, токовый контур имеет низкое сопротивление, а следовательно, более устойчив к помехам, чем сигналы напряжения. Кроме того, до определенного предела он компенсирует внутреннее сопротивление проводки. Во вторых, 'нуль' токового контура 4-20 мА – это 'нуль работающего прибора', позволяющий надежно распознать неисправность инструмента, а также отсоединение или обрыв линии. Это абсолютно необходимо для оборудования, обеспечивающего безопасность. Электроника распознает отказ прибора (например, отсутствующий сенсор) и немедленно устанавливает выходной сигнал, равный 3 мА. При обрыве ток в линии отсутствует (0 мА). В обоих состояниях выходной сигнал будет отличен от сигнала в режиме измерения, что позволяет обнаружить неисправность.

Диапазон 4-20 мА имеет верхний предел, поэтому ток, превышающий 20 мА, также не может интерпретироваться как измеренный сигнал. Это может служить указанием, что концентрация газа превысила измерительный диапазон, или свидетельствовать о коротком замыкании, т.е. о неисправности. Однако, ток короткого замыкания должен ограничиваться до разумного значения на стороне контроллера с помощью защитного резистора (или плавкого предохранителя).



Согласно рекомендации NAMUR, NE 43, считается, что ток ниже 3,6 мА или выше 21 мА свидетельствует о неисправности. Следовательно, измерительный сигнал, включая выход за нижнюю границу диапазона и превышение верхней границы диапазона, находится в пределах между 3,8 и 20,5 мА:

Неисправность	i_A	$0 \leq i_A \leq 3,6 \text{ мА}$
Измерительный сигнал	i_M	$3,8 < i_M < 20,5 \text{ мА}$
Неисправность	i_A	$i_A \geq 21 \text{ мА}$

Пример: измерительный диапазон головки равен 100 ppm, следовательно 1 мА соответствует концентрации газа $100/16 = 6,25 \text{ ppm}$.

Длина кабеля и максимальная нагрузка

Для нормальной работы на измерительную головку 4-20 мА должно подаваться некоторое минимальное напряжение U_{\min} . При этом напряжении она должна быть способна потреблять ток, превышающий 20 мА (в наших вычислениях мы используем значение $I_{\max} = 25 \text{ мА}$). С центрального контроллера на измерительную головку подается напряжение U_0 , что позволяет рассчитать максимальное сопротивление токового контура R_{\max} :

$$R_{\max} = R_{L \max} + R_{in} + R_S = \frac{U_0 - U_{\min}}{I_{\max}}$$

где полное сопротивление измерительного контура равно сумме сопротивления проводов R_L и импеданса R_{in} входной схемы, включая любой защитный резистор R_S .

Максимальную длину кабеля L можно рассчитать, зная максимальное сопротивление измерительного контура $R_{L \max}$, удельное сопротивление материала провода ρ и сечение провода A .

$$L = \frac{1}{2} \cdot \frac{A}{\rho} \cdot R_{L \max}$$

Если сечение задано в мм^2 , а максимальное сопротивление измерительного контура в Ом, то, используя для меди значение $\rho = 0,018 \text{ Ом мм}^2 / \text{м}$, получим для длины кабеля L :

$$L = 27,7 \cdot A \cdot R_{L \max}$$

Пример:

Polytron 1 ($U_{\min} = 8 \text{ В}$) соединен с канальной картой Polytron ($R_{in} = 50 \text{ Ом}$, $R_S = 150 \text{ Ом}$), напряжение питания $U_0 = 18,5 \text{ В}$, а макс. сопротивление контура (см. пример внизу) равно 220 Ом. При использовании 2-проводного кабеля с сечением $A = 0,75 \text{ мм}^2$ длина кабеля (расстояние между измерительной головкой и центральным контроллером) не может превышать

$$L = 27,7 \cdot 0,75 \cdot 220 = 4570 \text{ м (приблизительно 4,5 км)}$$

Замечание: это вычисление справедливо только в том случае, если измерительная головка используется не во взрывоопасной, классифицированной зоне, и не установлен барьер безопасности.

Пример:

Polytron 1 ($U_{\min} = 8 \text{ В}$) соединен с канальной картой Polytron ($R_{in} = 50 \text{ Ом}$, $R_S = 150 \text{ Ом}$), напряжение питания $U_0 = 24 \text{ В}$:

$$R_{L \max} = \frac{U_0 - U_{\min}}{I_{\max}} - R_{in} - R_S = \frac{24 - 8}{0,025} - 50 - 150 = 440 \text{ Ом}$$

Если канальная карта Polytron питается от батареи (например, UPS), то на измерительную головку будет подаваться лишь 18,5 В (худший сценарий, где напряжение равно 24 В - 20 %, т.е. 19,2 В, минус 0,7 В падение напряжения на диоде). Таким образом, максимальное допустимое сопротивление измерительного контура:

$$R_{L \max} = \frac{U_0 - U_{\min}}{I_{\max}} - R_{in} - R_S = \frac{18,5 - 8}{0,025} - 50 - 150 = 220 \text{ Ом}$$

В случае короткого замыкания защитный резистор R_S ограничивает максимальный ток:

$$I = \frac{U_0}{R_S + R_{in}} = \frac{18,5}{200} = 0,0925 \text{ А} = 92,5 \text{ мА}$$

если короткое замыкание произошло на входе канальной карты Polytron; в противном случае дополнительное сопротивление проводов еще уменьшит ток короткого замыкания.

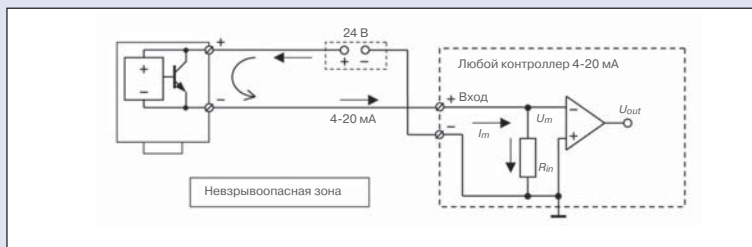
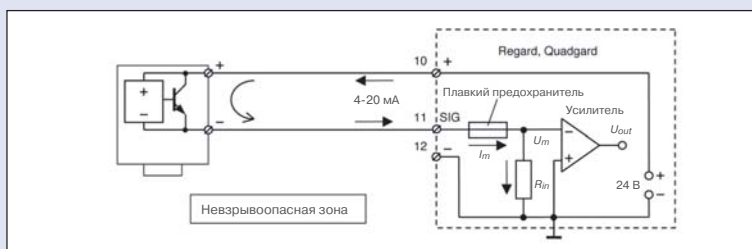
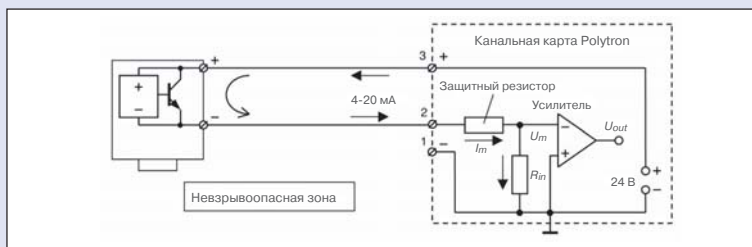
2. 2-проводные измерительные головки Polytron 1 и Polytron L

Измерительная головка Polytron 1 – это так называемый полевой измерительный преобразователь, преобразующий измеренную концентрацию газа в сигнал 4-20 мА. Без барьера безопасности Polytron 1 может использоваться только в невзрывоопасных областях. При соединении с соответствующим барьером безопасности Polytron 1 можно установить во взрывоопасной области, классифицированной как зона 1 и зона 2. В некоторых обстоятельствах (в зависимости от государственных нормативов) барьер безопасности можно не устанавливать, если область классифицирована как зона 2.

Установка в зоне 0 не допускается. Согласно директиве 94/9/ЕС (ATEX), категория газов II2G означает, что измерительная головка аттестована для установки в зоне 1 и зоне 2, но не в зоне 0.

2.1 Polytron1 для невзрывоопасной зоны

Измерительная головка Polytron 1 может работать в диапазоне напряжений питания 8 – 28 В. В центральных контроллерах, которые разработаны для использования с измерительной головкой (например, Polytron, Regard, QuadGard и т.д.), напряжение питания выводится на клеммы канальной карты (так называемое питание измерительной головки). Измерительная схема всегда одинакова. Измерительный ток протекает через резистор R_{in} , создавая пропорциональное падение напряжения, которое усиливается измерительным усилителем. Результирующее напряжение используется для индикации результатов измерения и активизации тревог с помощью компараторов:



Если 2-проводная головка работает с центральным контроллером, в котором не предусмотрены клеммы для питания измерительной головки (например, с любым программируемым логическим контроллером со входным сигналом 4-20 мА), то ее необходимо подсоединить к внешнему источнику питания напряжением 24 В (или к соответствующему аккумулятору). При этом положительный полюс источника питания соединяется непосредственно с положительным полюсом измерительной головки, а отрицательный полюс источника питания соединяется с отрицательной входной клеммой входного сигнала 4-20 мА на контроллере.

2.2 Polytron1 для взрывоопасной зоны

Измерительная головка Polytron1 – это взрывозащищенное электрическое устройство с “искробезопасной” конструкцией, которое маркируется как “EEx ia IIC T4/T6”.

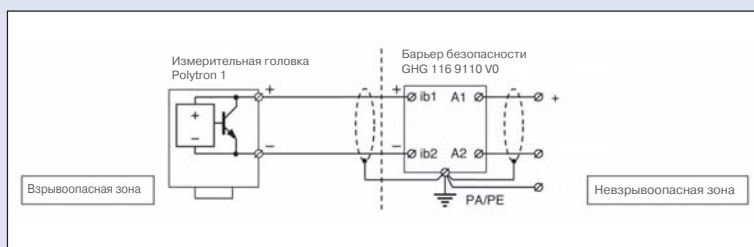
Кратко говоря, искробезопасность – это метод защиты, гарантирующий, что при возникновении одной неисправности (“ib”) или даже двух независимых неисправностей (“ia”) в аппарате не возникнет ни горячих поверхностей, ни искр, которые могли бы поджечь газовую смесь.

В отличие от других методов защиты, искробезопасен не только прибор, но и вся цепь. Эта искробезопасная цепь должна быть отделена от неискробезопасной цепи контроллера так называемым барьером безопасности.

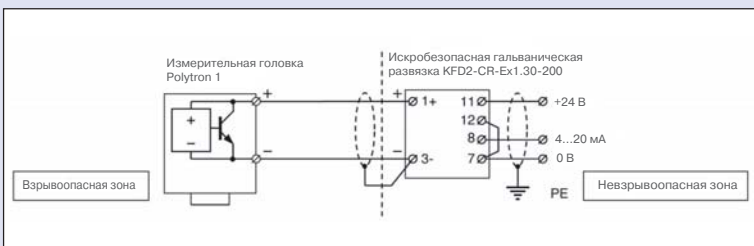
Выбирая барьер безопасности, помните, что для Polytron 1 или Polytron L нельзя превышать следующие электрические параметры:

$$U_{\max} = 28 \text{ В}, P_{\max} = 660 \text{ мВт}$$

Dräger рекомендует барьер безопасности GHG 1169 110 V0 (ABB). Соответствующие параметры этого барьера ($U_{\max}=19,2 \text{ В}$, $P_{\max}=648 \text{ мВт}$) ниже, чем максимально допустимые значения для Polytron 1. Барьер безопасности должен быть заземлен (PE) или соединен с PA; то же относится и к экрану.



При использовании искробезопасной гальванической развязки заземление теряет смысл. Экран кабеля на искробезопасной стороне следует подсоединить к определенному потенциалу, например, к отрицательному полюсу. Экран между искробезопасной гальванической развязкой и центральным блоком необходимо соединить с потенциалом земли на центральном блоке (PE).



С Polytron 1 могут использоваться следующие барьеры безопасности:

Производитель	Тип	Развязка да/нет	C _{max} , нФ		L _{max} , мГн		R _{max} на жилу
			IIC	IIB	IIC	IIB	
Stahl	9005/01-245/060/00	нет, [ib]	100	410	8	32	25 Ом
ABB	GHG 116 9110 V0	нет, [ib]	200	640	1,5	5,4	25 Ом
Pepperl &Fuchs	KHD3-IST/Ex 1	да, [ia]	130	390	4,2	12,6	60 Ом
Pepperl &Fuchs	KFD2-STC1-Ex 1	да, [ia]	130	390	4,2	12,6	60 Ом
Pepperl &Fuchs	KFD2-CR-Ex1.30-200	да, [ia]	130	390	4,2	12,6	100 Ом
MTL	3041 и 5041	да, [ia]	130	390	4,2	12,6	
MTL	3046B и 5046B	да, [ia]	130	390	4,2	12,6	

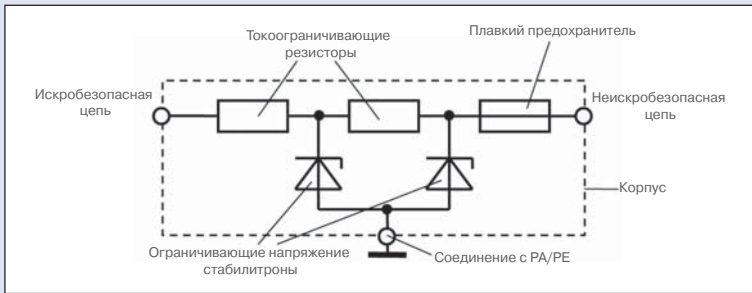
2.3 2-проводная измерительная головка Polytron TX

Измерительная головка Polytron TX обладает не искробезопасной, но взрывозащищенной конструкцией (“d”, взрывозащищенность), поэтому для нее не требуются искробезопасная цепь или барьер безопасности.

3. Искробезопасность (I.S.) и барьеры безопасности

Барьер безопасности отделяет искробезопасную цепь искробезопасного прибора от неискробезопасной цепи контроллера. Типичный пассивный барьер безопасности содержит четыре основных компонента:

1. один (или несколько) токоограничивающих резисторов,
2. один (или несколько) стабилитронов, ограничивающих напряжение¹⁾,
3. защиту от перегрузки (например малоинерционный плавкий предохранитель)
4. соединитель заземления RA/PE



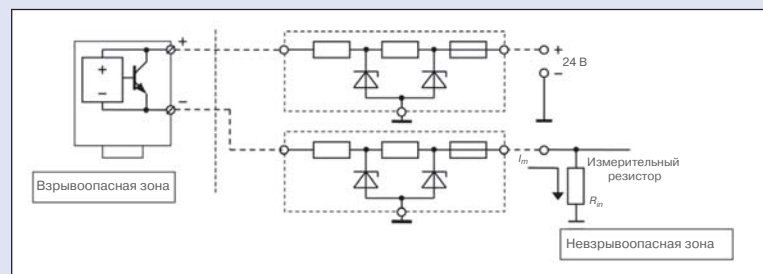
Очевидно, что такой барьер безопасности должен сертифицироваться и маркироваться как прибор, обеспечивающий взрывобезопасность, например, [EEx ib] IIC. Квадратные скобки указывают, что барьер безопасности обеспечивает искробезопасность цепи категории "ib", однако сам по себе не является взрывозащищенным прибором, то есть барьер следует устанавливать только во взрывобезопасной области (обычно в шкафу управления, где монтируется контроллер).

Работа прибора:

Если (при неисправности) напряжение неискробезопасной цепи становится слишком высоким (по отношению к RA/PE), то стабилитроны, обычно имеющие высокое сопротивление, начинают проводить и потребляют столь высокий ток, что плавкий предохранитель перегорает. Таким образом, опасно высокие напряжения не могут передаваться во взрывоопасную, классифицированную зону. При замыкании на массу во взрывоопасной области максимальный ток ограничен токоограничивающим резистором в невзрывоопасной области и/или перегорает плавкий предохранитель. Следовательно, опасно высокие токи не могут передаваться во взрывоопасную область, то есть электропитание в искробезопасной цепи надежно ограничено.

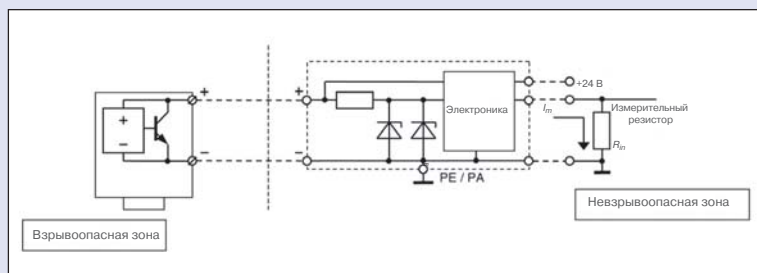
3.1 Активные барьеры безопасности

Пассивные барьеры безопасности способны коммутировать на землю лишь один проводник линии. Поэтому для заземления 2-проводных измерительных головок с плавающей землей (например, Polytron 1, Polytron 2 и Polytron L) необходимы два пассивных барьера безопасности. В принципе, это возможно (имеются симметричные относительно земли двойные барьеры), однако в такой конфигурации увеличивается величина токоограничивающих резисторов, что может существенно ограничить максимально допустимую длину кабелей.

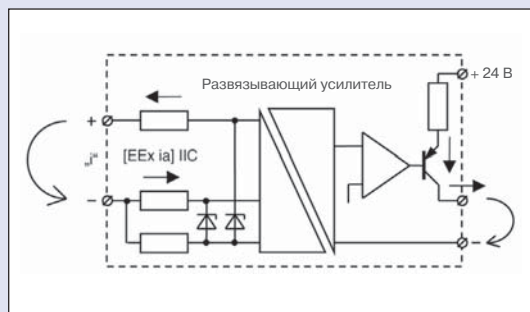
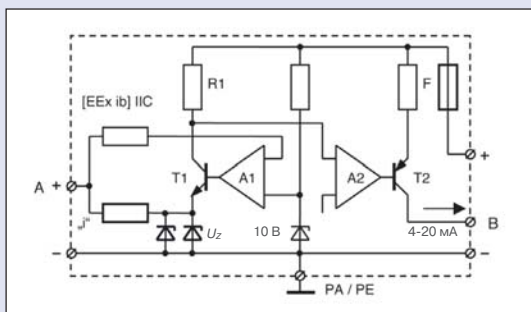


1) Из-за наличия стабилитронов барьеров безопасности часто называют "стабилизирующими барьерами", или "шунтирующими барьерами". Стабилитроны включают параллельно входу контроллера.

С другой стороны, применяются активные барьеры безопасности (так называемые искробезопасные устройства питания измерительных головок) – это преобразователи, которые заземляют 2-проводную измерительную головку, и поэтому нуждаются только в одной искробезопасной цепи:



Эта задача реализуется с помощью электроники, которая содержит так называемое токовое зеркало.



Токовое зеркало:

В точке А (см. рисунок) формируется питание измерительной головки – искробезопасное и стабилизированное напряжение 10 В; питание ограничено как по току, так и по напряжению. При изменении тока, текущего через точку А, усилитель А1 регулирует ток через транзистор Т1, так что напряжение в А остается равным 10 В. Ток равен измерительному току 4-20 мА. Он измеряется через падение потенциала на резисторе R1, и усилитель А2 управляет транзистором Т2, так что выходной ток в точке В равен току в точке А.

Использование токового зеркала приводит к тому, что измерительная головка, соединенная с таким барьером безопасности, потребляет более чем 2-кратный измерительный ток от источника питания 24 В.

3.2 Барьеры безопасности с гальванической развязкой

Для промышленной аппаратуры предпочтительнее барьеры безопасности с гальванической развязкой. Их можно использовать в качестве искробезопасных развязывающих интерфейсов для 2-проводных измерительных головок, которые не нуждаются в заземлении (каком-либо соединении с PA/PE).

Такие искробезопасные изолирующие интерфейсы содержат один или два буферных усилителя, которые гальванически развязывают (через индуктивную связь) неискробезопасный токовый контур 4-20 мА, и, при необходимости, напряжение питания, от искробезопасного токового контура.

3. Искробезопасность (I.S.) и барьеры безопасности

3.3 Характеристики, определяющие эффективность барьера безопасности

В искробезопасных токовых контурах ток, напряжение и мощность ограничены определенными значениями I_{\max} , U_{\max} и P_{\max} . Кроме того, необходимо учитывать параметры кабелей – их емкость и индуктивность запасают энергию, которая может создавать искры при замыкании или размыкании токового контура. Поэтому эту энергию также следует ограничить, задав максимальные значения емкости C_{\max} и индуктивности L_{\max} , которые не должны превышать. Другими словами, допустимая длина кабеля между барьером безопасности и измерительной головкой для искробезопасных и для неискробезопасных установок отличаются.

3.4 Установка барьера безопасности

Установка барьеров безопасности регламентирована в EN 60079-14 (VDE 0165, 08/98) глава 12 (дополнительные требования для защитной техники категории “i” - искробезопасной):

- Барьеры безопасности не должны устанавливаться во взрывоопасной области. Для установки барьеров безопасности требуется класс защиты не ниже IP 20.
- Барьеры безопасности могут использоваться только в электрических установках, в которых номинальное напряжение в центральном блоке не превышает 250 В (постоянного или переменного тока).
- РЕ/РА-соединитель неразвязывающего барьера безопасности должен соединяться с шиной с потенциалом земли или общим потенциалом (“РЕ/РА”) во взрывоопасной области; в противном случае может возникнуть опасная разность потенциалов между сигнальными линиями и потенциалом земли.

Кабели, соединенные с клеммами взрывоопасной части барьера безопасности:

- должны соответствовать максимальной емкости и индуктивности, разрешенной для выбранного барьера безопасности
- должны быть отделены от других (неискробезопасных) кабелей
- должны маркироваться как “искробезопасные цепи”. Этого нетрудно добиться, используя кабели синего цвета.

4. 2-проводная измерительная головка Polytron 2

Одна из главных особенностей головки Polytron 2 – возможность цифровой связи. С электрической точки зрения, она реализуется через так называемый FSK-сигнал²⁾ с амплитудой $\pm 0,5$ мА, который налагается на сигнал постоянного тока. При этом характеристики измерительной головки 4-20 мА остаются неизменными, однако, при использовании соответствующего центрального контроллера, головка может обмениваться информацией с контроллером. Для связи используется так называемый протокол HART (см. раздел 8).

Другое преимущество Polytron 2 заключается в том, что сигнал 4-20 мА можно отключить, и с помощью HART-совместимого центрального контроллера опрашивать только цифровой сигнал (например, текущую концентрацию газа). При этом каждая измерительная головка имеет собственный адрес опроса. Таким образом, до восьми измерительных головок могут работать на одном 2-проводном кабеле (так называемый многоканальный режим).

4.1 Polytron 2 во взрывоопасной, классифицированной зоне

Если Polytron 2 используется в режиме измерительной головки 4-20 мА, с ней обращаются, как с головкой Polytron 1, с соответствующим барьером безопасности, причем необходимо учитывать определенные параметры барьера безопасности.

Таковыми параметрами являются:

$$U_{\max} = 30 \text{ В}, I_{\max} = 0,3 \text{ А} \text{ и } P_{\max} = 700 \text{ мВт}$$

Эти величины несколько выше, чем у Polytron 1. Кроме того, в отличие от Polytron 1, минимальное напряжение на измерительных головках Polytron 2 составляет 16,5 В. Отсюда следует, что не все барьеры безопасности, рекомендованные для Polytron 1, можно использовать и для Polytron 2.

С Polytron 2 могут использоваться следующие барьеры безопасности:

Производитель	Тип	U _{max} В	I _{max} мА	P _{max} мВт	U В	“i”	Клеммы 24 В	4-20 мА
MTL	3041	28	93	651	20 ...35	5+,6-	3+,4-	1+,2-
Stahl	9303/11-22-11	28	91	637	18 ...35	7+,8-	L+,L-	2+,3-
Pepperl & Fuchs	KFD2-CR-Ex1.30-200	28	93	660	20 ...35	1+,3-	11+,12-	8+,7-
MTL	3046 В	28	93	651	20 ...35	5+,6-	3+,4-	1+,2-
Pepperl & Fuchs	KFD2-STC1-Ex1	28	93	660	20 ...35	1+,3-	7+,8-	9+,10-
Stahl	9303/15-22-11	28	91	637	18 ...35	7+,8-	L+,L-	2+,3-
Stahl	9303/13-22-11	28	91	637	18 ...35	7+,8-	L+,L-	2+,3-

Производитель	Тип	Гальв. развязка	HART	C _{max} , нФ IIC IIB		L _{max} , мГн IIC IIB		R _{max} на жилу
MTL	3041 и 5041	да, [ia]	нет	130	390	4,2	12,6	200 Ом
Stahl	9303/11-22-11	да, [ia]	нет	70	500	4,9	18	350 Ом
Pepperl & Fuchs	KFD2-CR-Ex1.30-200	да, [ia]	нет	130	390	4,2	12,6	200 Ом
MTL	3046 В	да, [ia]	да	130	390	4,2	12,6	150 Ом
Pepperl & Fuchs	KFD2-STC1-Ex1	да, [ia]	да	130	390	4,2	12,6	150 Ом
Stahl	9303/13-22-11	да, [ia]	да	70	500	4,9	18	200 Ом
Stahl	9303/15-22-11	да, [ia]	да	70	500	4,9	18	175 Ом

²⁾ Частотная манипуляция: цифровая информация передается на двух фиксированных частотах, например, 1200 Гц (логическая единица) и 2200 Гц (логический ноль). Тот же принцип используется во всем известных аппаратах факсимильной связи.

5. 3-проводной и 4-проводной принцип

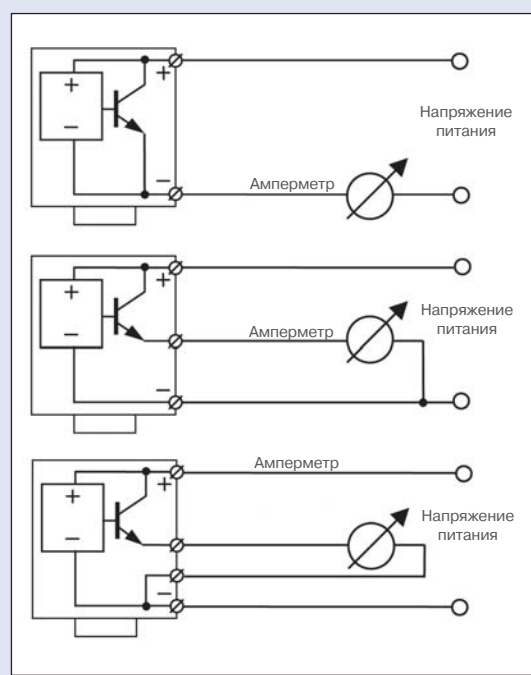
Самый значительный потребитель энергии в 2-проводной измерительной головке – сам токовый контур. При напряжении питания 24 В, на верхнем пределе измерительного диапазона потребляемая мощность составляет $24\text{В} \cdot 0,02\text{ А} = 480\text{ мВт}$, в то время как электроника измерительной головки потребляет менее 50 мВт. Для сенсора или электроники измерительной головки с существенно большим энергопотреблением, 2-проводной принцип уже не применим: электроника измерительной головки не сможет работать параллельно с токовым интерфейсом 4-20 мА – ей потребуется ток, существенно превышающий 4 мА.

Токовый интерфейс 4-20 мА может использоваться стандартным образом только в том случае, когда питание на электронику измерительной головки подается по третьему проводу. Инфракрасная и термокаталитическая измерительная головки реализованы именно таким образом, поскольку сенсоры и/или электроника потребляют большую мощность.

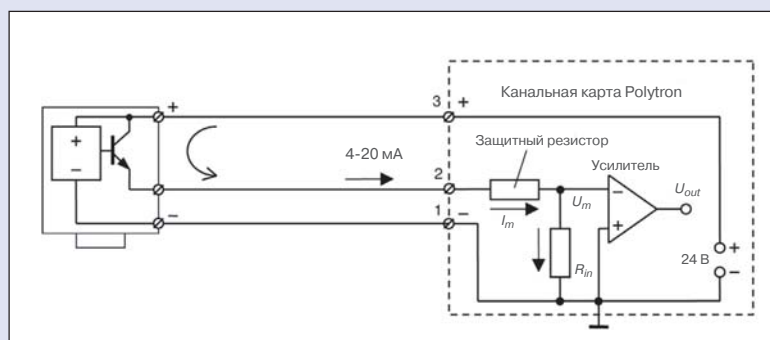
Термокаталитические сенсоры потребляют ток 270 мА при напряжении около 3 В, что эквивалентно мощности приблизительно 800 мВт! В этом случае необходимо использовать преобразователь постоянного тока, который преобразует, например, 10 В /90 мА в 3 В /270 мА.

На рисунке снизу изображены различные электрические схемы 2-, 3- и 4-проводных измерительных головок.

Вследствие большего падения напряжения, максимальная длина кабеля для 3-проводной измерительной головки с 3-проводным кабелем будет значительно меньше, чем для 2-проводной измерительной головки. Измеряемый сигнал может передаваться на большее расстояние. Поэтому сигнальный кабель отделен от силового, и измерительная головка работает на двух 2-проводных кабелях (так называемое 4-проводное управление). В такой конфигурации необходимо установить второй кабельный уплотнитель.



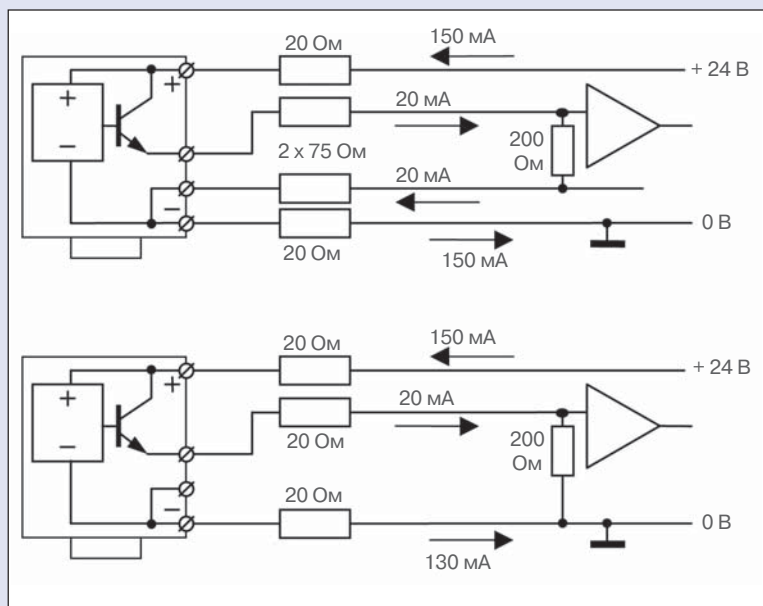
Электрическая схема 3-проводной измерительной головки (например, Polytron Ex, Polytron IR Ex или Polytron 2 XP) показана на следующем рисунке:



Если измерительная головка Polytron Ex работает от источника питания 24 В, то при силе тока 150 мА, падение напряжения на двух резисторах сопротивлением 20 Ом (представляющими сопротивление кабеля) составит 3 В на каждом. При максимальном сопротивлении нагрузки выходной транзистор сможет использовать максимум 7 В для формирования 20 мА сигнала. Поэтому максимальное сопротивление нагрузки для сигнала 4-20 мА составляет $7 \text{ В} / 0,02 \text{ А} = 350 \text{ Ом}$.

Если используется высокоимпедансная канальная карта Polytron (входной импеданс 200 Ом – соотв. защитное сопротивление), то 4-проводная сигнальная линия 4-20 мА может обладать сопротивлением до 75 Ом на жилу (что соответствует, например, длине 4 км при сечении 1 мм²).

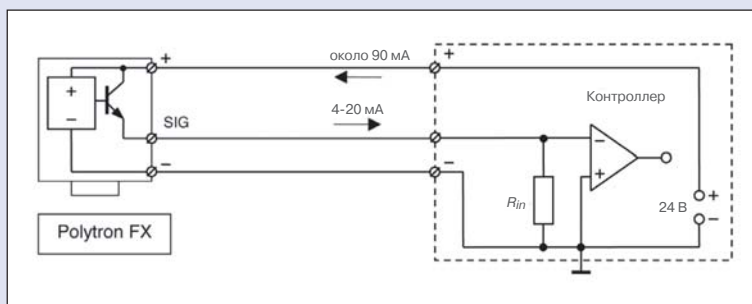
При 3-проводном соединении, сопротивление нагрузки может достигать даже 480 Ом, так как падение напряжения на сопротивлении контура 20 Ом составляет $20 \text{ Ом} * 0,13 \text{ А} = 2,6 \text{ В}$. В этом случае для формирования сигнала 20 мА в имеется уже 9,6 В, а не 7 В. Максимальное сопротивление нагрузки рассчитывается как $9,6 \text{ В} / 0,02 \text{ А} = 480 \text{ Ом}$.



6 ■ 3-проводные измерительные головки Polytron

6.1 Polytron FX

Polytron FX – взрывозащищенная (“d”) 3-проводная измерительная головка с защитой класса EEx d IIC T6. Она работает в диапазоне напряжений 16-30 В и при 24 В потребляет около 90 мА. Измерительная головка должна подсоединяться к герметичному кабелепроводу или устанавливаться вместе с взрывозащищенной версией герметизатора/кабельного уплотнителя (EEx d).



6.2 Polytron Ex

Обсуждая концепцию защиты класса EEx me [ib] IIC T4 измерительной головки Polytron Ex, следует отметить, что она частично оснащена искробезопасной электроникой (потенциометры, ЖК-дисплей с платой электроники, соединение с сенсором), однако не может работать с использованием барьера безопасности или при подсоединении к искробезопасной цепи. На это указывают квадратные скобки в коде сертификата.

Измерительная головка оснащена необходимыми ограничителями тока и напряжения, а также плавкими предохранителями, с защитой класса “m” (“moulded” – залитый изолирующим слоем). Как уже отмечалось, необходимые барьеры безопасности встроены в измерительную головку для обеспечения искробезопасности цепи. Например, напряжение U , ток I и мощность P для соединения термокаталитического сенсора ограничены значениями:

$$U_{\max} = 6,2 \text{ В}, I_{\max} = 812 \text{ мА}, P_{\max} = 4,0 \text{ Вт}$$

Искробезопасность всех незалитых цепей позволяет открывать измерительную головку во время работы, для калибровки или даже замены сенсора – с одним важным исключением. Поскольку соединение измерительной головки с центральным контроллером не искробезопасно, оно расположено в отдельном клемм-

ном отделении с классом защиты IP 54 и сертифицированным кабельным уплотнителем. Это отделение можно открывать для проведения технического обслуживания, только если получено разрешение на проведение “горячих” работ, либо если можно убедиться в во взрывобезопасности атмосферы другими средствами (например, используя подходящий переносной газоанализатор).

Измерительная головка для дистанционного сенсора Polytron Ex R (R = «remote» – дистанционный) снабжена 3-проводным кабелем длиной 10 м для подключения термокаталитической сенсорной головки (например, SE Ex PR M). Для соблюдения требований взрывобезопасности запрещено удлинять кабель. Устройство обладает взрывобезопасностью класса EEx me [ib] IIB T4, означающей, что не допускается эксплуатация измерительной головки в атмосферах, содержащих водород.

6.3 Polytron IR Ex

Измерительная головка Polytron IR Ex и все ее модификации обладают сходной конструкцией с классом взрывобезопасности

EEx em [ib] d IIB++H2 T4)

(в то время как источник инфракрасного излучения имеет класс взрывобезопасности “d”).

Все незалитые цепи являются искробезопасными и защищены частями с заливкой (например, резисторами, стабилитронами и предохранителями). Соединитель для сенсора, соединитель для ручного управляющего модуля, клавиатура и ЖК-дисплей с электронной платой являются искробезопасными. В ходе работы можно открывать корпус измерительной головки, но никогда не открывайте отдельное герметичное клеммное отделение (EEx e)!

Максимальное сопротивление нагрузки для 3-проводного (450 Ом) и 4-проводного (350 Ом) соединения аналогично сопротивлению в Polytron Ex. Однако, из-за большей потребляемой мощности для Polytron IR Ex требуется более высокое минимальное напряжение: 13 В, а сопротивление проводки при 24 В не должно превышать 22 Ом на жилу.

Предлагаются различные модификации измерительных головок IR Ex:

Измерительные головки, установленные в легко доступных оператору местах:

Polytron IR Ex, в комплекте с дисплеем и клавиатурой. Измерительная головка управляется непосредственно со встроенного дисплея и клавиатуры.

Polytron IR Ex NDH, без дисплея, с гнездом для подключения ручного управляющего модуля. Эта измерительная головка управляется с ручного управляющего модуля через штекерное соединение.

Измерительные головки, установленные в труднодоступных местах:

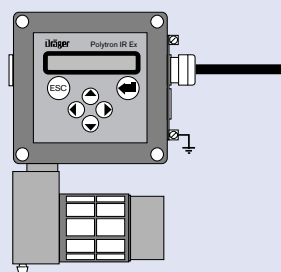
Polytron IR Ex NDF, без дисплея, с дистанционным дисплейным блоком. Измерительная головка управляется с дисплея и клавиатуры на дистанционном дисплейном блоке. 3-проводной кабель между дистанционным дисплейным блоком и измерительной головкой искробезопасен, его длина не должна превышать 30 м. Дистанционный дисплейный блок также искробезопасен: EEx ib IIC T4.

Polytron IR Ex NDF, без дисплея, с соединительной коробкой и разъемом для подключения ручного управляющего модуля. Измерительная головка управляется с клавиатуры и дисплея ручного управляющего модуля. 3-проводной кабель между соединительной коробкой и измерительной головкой искробезопасен, его длина не должна превышать 30 м, ручной управляющий модуль также искробезопасен: EEx ib IIC T4.

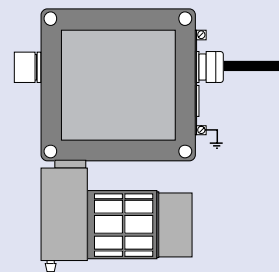
6.4 Polytron IR, Polytron 2 XP Ex и Polytron 2 XP Tox

Новое поколение 3-проводных измерительных головок представлено моделями Polytron IR, Polytron 2 XP Ex и Polytron 2 XP Tox. Они являются взрывозащищенными ("d"), и в дополнение к токовому интерфейсу 4-20 мА, предоставляют возможность адресуемой цифровой связи через интерфейс HART или RS 485.

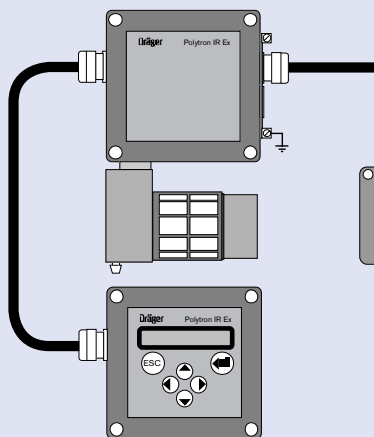
Polytron IR Ex



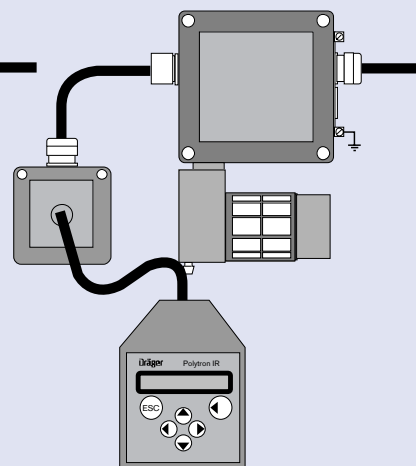
Polytron IR Ex NDH



Polytron IR Ex NDF



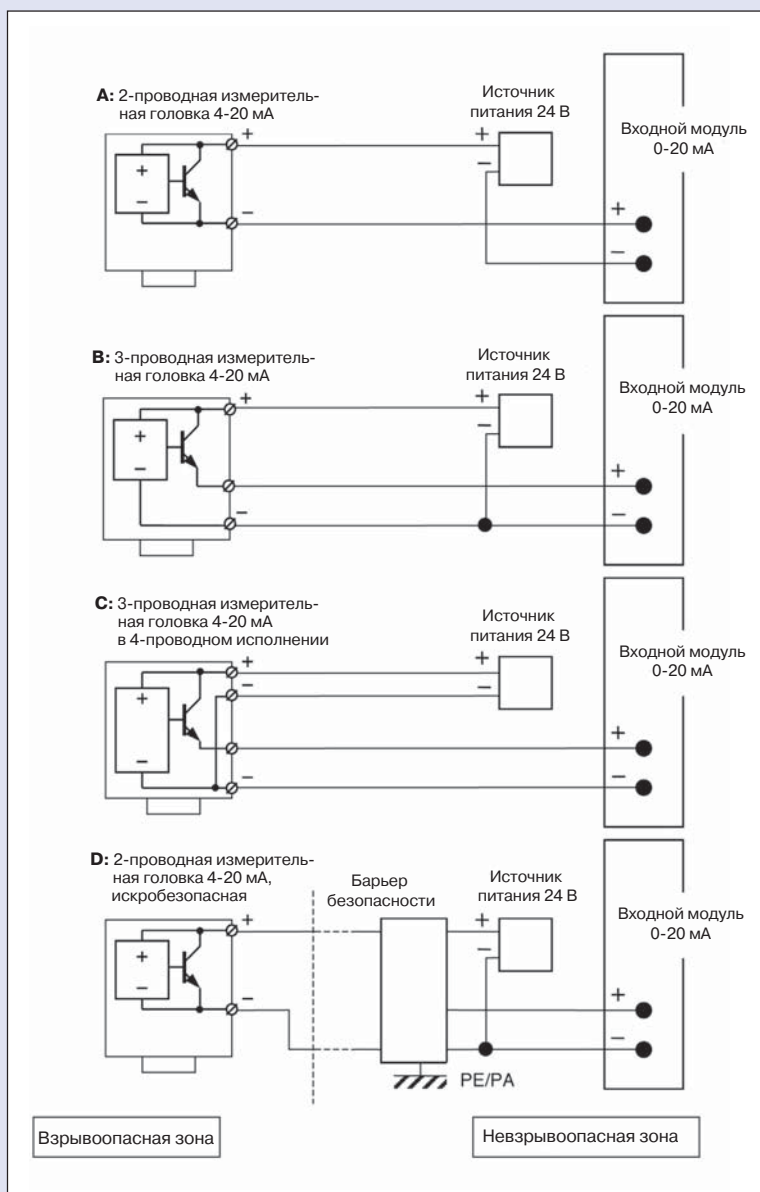
Polytron IR Ex NDF



3-проводные измерительные головки	Напряжение питания	Ток
Polytron FX	16 ...30 В	90 мА при 24 В
Polytron Ex	10 ...30 В	90 мА при 24 В
Polytron IR Ex	13 ...30 В	
Polytron IR	15 ...30 В	
Polytron 2 XP Ex	10 ...32 В	180 мА
Polytron 2 XP Tox	10 ...32 В	120 мА

7. Измерительные головки Polytron и программируемые логические контроллеры

В принципе, все измерительные головки 4-20 мА можно подсоединять к любому программируемому логическому контроллеру (ПЛК, например, Siemens SIMATIC), оснащенный входным модулем 4-20 мА, если он способен обеспечить необходимую мощность, а программное обеспечение может интерпретировать сигнал 4-20 мА:



8 ■ Цифровая связь

Сутью цифровой связи является адресуемость "участников". Посылая адресную команду, передатчик (ведущее устройство) может устанавливать связь с одним из нескольких приемников (подчиненных устройств), подключенных к шине, и обмениваться с ними данными. Самой простой была бы версия, когда ведущее устройство посылает специальный код, сопровождающий адресную команду, который интерпретируется и выполняется программой приемника. При последовательной передаче данных (RS 485) необходим 2-проводной кабель для подачи электропитания и витая пара для организации цифровой связи. Если же измерительная головка должна обеспечивать цифровую связь по силовому кабелю, то цифровая информация передается путем наложения частотно-модулированного сигнала на напряжение питания. Это и есть так называемая HART-связь.

8.1 HART-связь

Цифровая HART-связь с измерительной головкой требует наличия определенных условий взаимодействия передатчика и приемника. Например, приемник должен опознать переданный сигнал как запрос на информацию, идентифицировать его и вернуть соответствующий ответ. Для этого необходимо специальное программное обеспечение. Для HART-связи это так называемый HART-протокол.

Концепция измерительной головки Polytron 2 предполагает не только наличие I²C-шины для обмена данными между сенсором и электроникой измерительной головки, но и двустороннюю цифровую связь между измерительной головкой и соответствующим центральным контроллером, не влияющую на характеристики сигнала 4-20 мА. Для этого применяется HART³⁾-связь, получившая широкое распространение в промышленности.

HART-связь может осуществляться двумя различными способами:

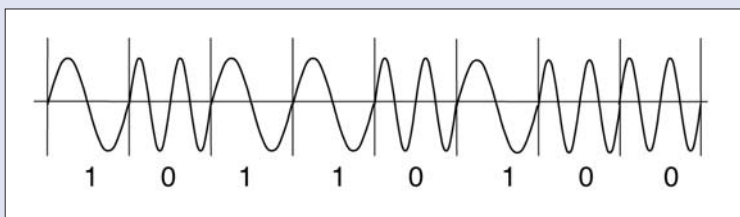
- С помощью хорошо известной разводки кабелей по схеме "точка-точка", на стандартный сигнал 4-20 мА налагается частотно-модулированный сигнал, который используется для двустороннего обмена данными между HART-совместимой измери-

тельной головкой и HART-совместимым центральным контроллером или ручным управляющим модулем.

- В многоканальной схеме передачи, сигнал 4-20 мА отключается, и несколько измерительных головок могут работать по одному 2-проводному кабелю. Двусторонний обмен данными возможен только с помощью частотной модуляции сигнала. В этом случае измерительным головкам присваиваются цифровые адреса. Используя эти адреса, HART-совместимый центральный контроллер или ручной управляющий модуль в любой момент времени выбирает в качестве получателя данных лишь одну из нескольких измерительных головок.

Частотно-модулированный сигнал⁴⁾ – это переменный ток с амплитудой $\pm 0,5$ мА, и частотой 1200 или 2200 Гц для логической единицы и нуля, соответственно. Среднее значение синусоидального сигнала равно нулю, поэтому он не создает помех сигналу 4-20 мА. Это так называемый "Стандарт Bell 202", всем известный звуковой сигнал факсимильных аппаратов.

На рисунке представлена 8-битная информация '10110100', которая в шестнадцатеричном виде выглядит как \$B4, а в десятичном – как 180:



С помощью специального модема HART-сигнал может быть трансформирован в стандартизованный последовательный сигнал (например, RS 232) для работы с компьютерами, программируемыми логическими контроллерами и т.д. Однако, некоторые параметры связи следует выбрать таким образом, чтобы интерфейс RS 232 мог распознать данные, переданные по каналу HART-связи. Конфигурация должна выглядеть следующим образом:

Скорость передачи данных: 1200 бод (бит в секунду), 1 стартовый бит, 8 информационных битов, 1 стоповый бит, контроль по четности: нечетный.

³⁾ HART = Highway Addressable Remote Transducer – Высокоскоростной адресуемый дистанционный преобразователь

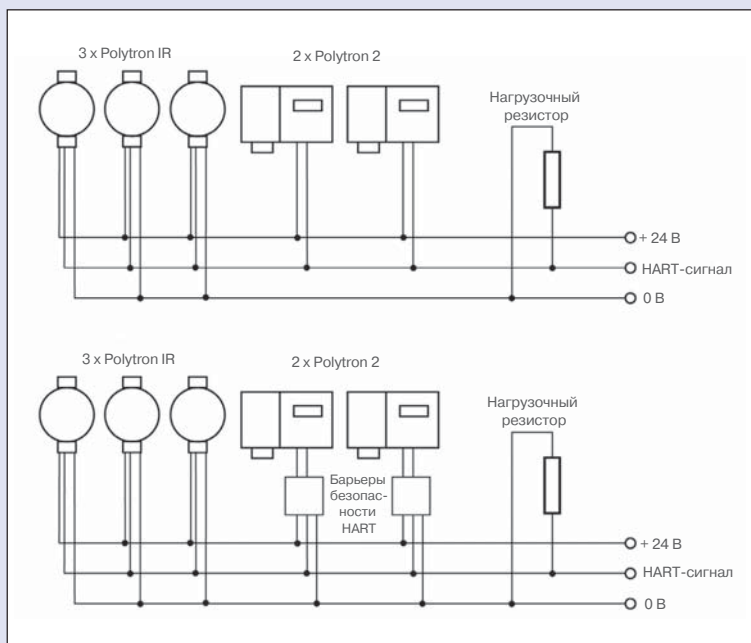
⁴⁾ FSK-сигнал = Frequency Shift Keying - Частотная манипуляция

8. Цифровая связь

2- и 3-проводные головки, связанные по HART-протоколу

В качестве примера использования Polytron 2 и Polytron IR на рисунке изображена линия 2- и 3-проводных измерительных головок, связанных по HART-протоколу⁵⁾. Показанное сопротивление нагрузки является необязательным и необходимо лишь в том случае, когда входное сопротивление HART-совместимого центрального контроллера ниже 230 Ом.

Если необходимо использовать измерительную головку Polytron 2 во взрывоопасной, классифицированной зоне, то должен использоваться HART-совместимый барьер безопасности. Как и для 3-проводной измерительной головки, неискробезопасная часть барьера безопасности присоединяется к HART-совместимому центральному контроллеру.



Программное обеспечение HART-связи

При соблюдении необходимых физических (аппаратных) требований, ведущее устройство (HART-совместимый центральный контроллер) может передать адресуемую команду подчиненному компоненту (например, измерительной головке Polytron 2 или Polytron IR). Могут использоваться два ведущих устройства: первичное (центральный контроллер) и вторичное (ручной управляющий модуль).

HART-связь является полудуплексной. Это означает, что после передачи команды ведущее устройство переключается в режим приема. Когда ведущее устройство не передает команды, оно постоянно находится в режиме приема.

В данной публикации не содержится описание коммуникационного программного обеспечения.

8.2 RS 485 связь

RS 485 – двунаправленный интерфейс высокоскоростной цифровой шины, позволяющей организовать связь на больших расстояниях с несколькими (до 32) адресуемыми участниками. Поскольку к единственной линии связи подключено несколько передатчиков, посредством протокола необходимо удостовериться в том, что в определенный момент времени активен только один передатчик (полудуплексный режим). Этот протокол также регулирует адресацию устройств, контролирует правильность полученных данных и обеспечивает надлежащую синхронизацию.

Последовательные данные передаются в виде разности напряжений (плавающей) между двумя соответствующими кабелями. Передатчик RS 485 формирует сигнал ± 2 В. Если разность напряжений менее 300 мВ, приемник идентифицирует ее как логическую единицу. Разность напряжений, превышающая 300 мВ, соответствует логическому нулю. При установке необходимо соблюдать правильную полярность двух проводов; в противном случае произойдет логическая инверсия сигнала данных и он будет интерпретирован неверно.

⁵⁾ Это лишь принципиальная схема. Необходимо тщательно проанализировать падение напряжения в силовом кабеле, а также характеристики источника питания.

9

Кабели: сопротивление и характеристики

Сопротивление медного кабеля с данным сечением					
Сечение	0,5 мм ²	1,0 мм ²	1,5 мм ²	2,5 мм ²	4,0 мм ²
Сопротивление	36 Ом/км	8 Ом/км	12 Ом/км	7,2 Ом/км	4,5 Ом/км

В таблице выше приведено сопротивление медного кабеля с заданным сечением. Оно может быть рассчитано следующим образом

$$R_{\text{core}} = \frac{L}{A} \cdot \rho_{\text{Cu}}, \text{ где } \rho_{\text{Cu}} = 0,018 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \text{ или } 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}$$

где ρ_{Cu} - удельное сопротивление меди при 20°C. При более высокой температуре рост сопротивления составляет 0,4% на градус.
L - длина кабеля в м; A - сечение в мм².

Типовые параметры кабеля сечением 1 мм²

Сопротивление кабеля:	R = 18 Ом/км
Емкость кабеля:	C ≈ 155 нФ/км
Индуктивность кабеля:	L ≈ 0,67 мГн/км

Американский сортамент проводов

Американский сортамент проводов (AWG) – это интернациональная логарифмическая мера сечения кабеля. Сечение можно приблизительно рассчитать по формуле

$$A = 50 \cdot 10^{-\lambda}, \text{ где } \lambda = \frac{\text{AWG}}{10}$$

Результат приведен в мм².

20 AWG соответствует примерно 0,5 мм². В большей части промышленного контрольно-измерительного оборудования и электроники используются провода от AWG 20 до AWG 12.

Необходимое сечение кабеля защитного заземления (PE-соединения) обычно равняется 10 AWG, что соответствует 4 мм².

Типичные значения AWG в промышленном оборудовании

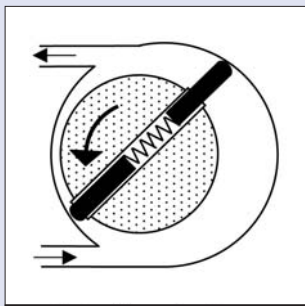
AWG	20 AWG	18 AWG	16 AWG	14 AWG	12 AWG
Сечение	0,510 ... 0,620 мм ²	0,816 ... 0,969 мм ²	1,237 ... 1,442 мм ²	1,95 ... 2,23 мм ²	3,10 ... 3,65 мм ²
Среднее сечение	0,57 мм ²	0,89 мм ²	1,34 мм ²	2,10 мм ²	3,38 мм ²
Среднее сопротивление	32 Ом/км	21 Ом/км	14 Ом/км	8,6 Ом/км	5,5 Ом/км

10. Пробоотборное устройство Polytron

Пробоотборное устройство – это небольшой, но эффективный насосный модуль, смонтированный в корпусе от головки Polytron 2. Пробоотборное устройство обеспечивает отбор проб воздушно-газовой смеси, необходимых для мониторинга зоны, доступ в которую сложен, либо невозможен, либо установка измерительной головки Polytron не допускается (например, в чистых помещениях). Пробоотборное устройство питается от напряжения 24 В постоянного тока и может подсоединяться к центральному контроллеру пятью различными способами.

Основными компонентами пробоотборного устройства являются: противопылевой фильтр, регулятор потока, электроника, роторный насос (см. рис.) и датчик потока. При внутреннем диаметре трубки 4 мм, длина пробоотборной трубки может составлять от нескольких сантиметров до более 20 метров.

Роторный насос с двигателем



Поток газа зависит от напряжения питания и регулируется в диапазоне от 0,5 л/мин до 1,5 л/мин с помощью потенциометра. Заводская установка составляет 0,5 л/мин.

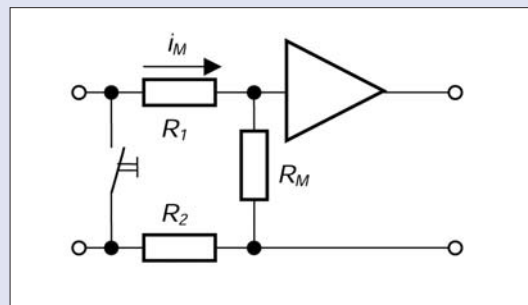
Напряжение питания	Потребляемая мощность	Поток
10-30 В постоянного тока	< 2 Вт	0,5 л/мин
15-30 В постоянного тока	< 4 Вт	1,0 л/мин
20 -30 В постоянного тока	< 6 Вт	1,5 л/мин

В зависимости от длины пробоотборной линии, время отклика может значительно возрастать. При потоке 0,5 л/мин и разумной длине пробоотборной линии (например, 20 м, внутренний диаметр 4 мм) время отклика возрастает примерно на 30 секунд. Кроме того, серьезную проблему может представлять адсорбция газа на поверхности пробоотборной трубки. Если при отборе проб воздуха, содержащего оксид углерода (CO), этот эффект незначителен, то следы хлора (Cl₂) или сероводорода (H₂S) могут поглотиться на стенках трубки и не будут обнаружены. Необходимо также принимать во внимание изменение температуры и конденсацию влаги.

Отбор проб без контроля потока опасен!

Основной концепцией пробоотборного устройства является простота проводки кабелей. Пробоотборное устройство и присоединенная 2- или 3-проводная измерительная головка работают от одинакового напряжения питания. Крайне важен контроль потока с помощью контакта надежного датчика потока⁶⁾, для которого обычно необходима дополнительная проводка. Если же тревога по потоку формируется путем закорачивания сигнала 4-20 мА, то дополнительной проводки не требуется. При anomalно слабом потоке сигнал ниже 4 мА укажет на неисправность.

Из приведенного расчета следует, что (особенно при повышенном сопротивлении кабеля) шунтирование низкоомного входа 4-20 мА может приводить к проблемам (см. рисунок):



6) Если пробоотборный насос не работает, головка не может контролировать концентрацию газа. При этом, хотя головка и показывает «нуль», возможно наличие высокой концентрации газа!

В нормальном режиме работы ток сигнала i_M проходит через резисторы R_1 и R_M . При замыкании переключателя, ток i_M ослабляется из-за протекания тока через резистор R_2 . Сигнальный ток i_1 ослабляется до

$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_M} \cdot i_M$$

Пример:

Входное сопротивление $R_M = 50$ Ом, длина кабеля между пробоотборным устройством и центральным контроллером $L = 347$ м (сечение $A = 0,5$ мм²), $\rho_{Cu} = 0,018$ Ом мм²/м. Сопротивление кабеля $R_1 = R_2$ рассчитывается как:

$$R_1 = R_2 = \frac{2 \cdot \rho \cdot L}{A} = \frac{2 \cdot 0,018 \cdot 347}{0,5} = 25 \text{ Ом}$$

Замыкание контакта датчика потока не приводит к настоящему короткому замыканию, но снижает сигнальный ток до четверти от начальной величины:

$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_M} \cdot i_M = \frac{25}{25 + 25 + 50} \cdot i_M = \frac{1}{4} \cdot i_M$$

В отсутствие газа (при выходном сигнале 4 мА) блокирование потока газа приведет к ослаблению выходного сигнала до 1 мА, т.е. аномально низкий поток будет надежно обнаружен.

Но как обстоит дело при контроле концентрации кислорода? Измерительная головка 4-20 мА с измерительным диапазоном 25 объемных процентов O_2 , помещенная в атмосферный воздух, выдает сигнал 17,4 мА. При слабом потоке выходной сигнал уменьшится до 4,35 мА, что недостаточно обнаружения блокирования потока: такой сигнал будет интерпретирован лишь как тревога по дефициту кислорода.

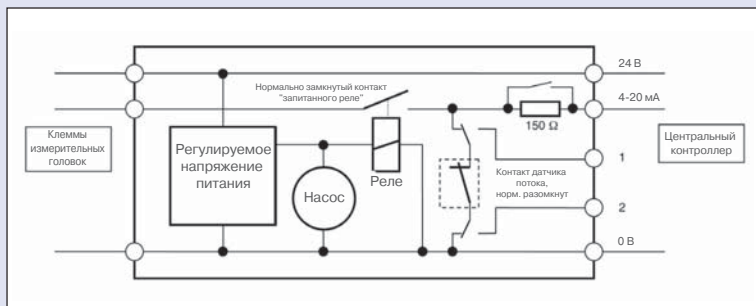
Для обеспечения надежного контроля потока, сопротивление резистора R_2 должно быть значительно меньше сопротивления $R_1 + R_M$

$$R_2 \ll R_1 + R_M$$

Поскольку величина R_M фиксирована, в пробоотборном устройстве предусмотрен дополнительный переключаемый резистор 150 Ом, что позволяет при необходимости увеличить R_1 .

На рисунке показаны основные элементы пробоотборного устройства. Слева может подсоединяться 2- или 3-проводная измерительная головка, справа расположен центральный контроллер (электропитание и вход 4-20 мА). При включении напряжения питания запитывается реле, и замыкается нормально замкнутый контакт "запитанного реле". В результате выходной сигнал 4-20 мА измерительной головки подается на контроллер. Поток контролируется с помощью датчика дифференциального давления; контакт датчика потока нормально разомкнут.

В зависимости от конфигурации, контакт датчика потока может также использоваться в качестве беспотенциального контакта между клеммами 1 и 2. Резистор 150 Ом обычно шунтирован.

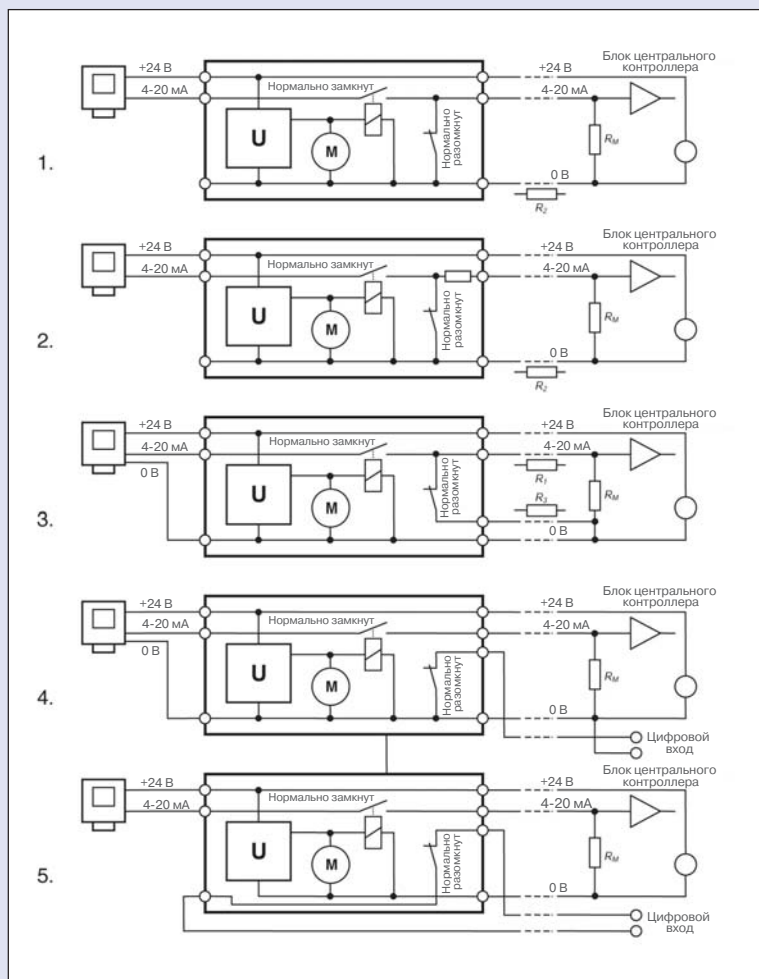


При ослаблении потока, контакт датчика потока замыкается, и сигнал 4-20 мА закорачивается. В центральном контроллере это интерпретируется как тревога по неисправности, если сопротивление кабеля не превышает 1% от входного сопротивления контроллера.

10. Пробоотборное устройство Polytрон

Пробоотборное устройство может работать в 5 различных режимах (см. следующий рисунок).

1. Пробоотборное устройство с 2-проводной измерительной головкой. Ниже показано, как 2-проводная измерительная головка может использоваться с пробоотборным устройством. Требования к сопротивлению кабеля: $R_2 < R_M / 100$; например, если входное сопротивление R_M составляет 250 Ом, то сопротивление кабеля R_2 не должно превышать 2,5 Ом.



2. Пробоотборное устройство с 2-проводной измерительной головкой. Если входное сопротивление R_M контроллера мало, например, составляет лишь 50 Ом, то можно активизировать резистор 150 Ом для выполнения указанных выше требований к сопротивлению кабеля. Благодаря этому резистору получаем: $R_2 < (R_M + 150) / 100$, например, при входном сопротивлении $R_M = 50$ Ом, сопротивление кабеля R_2 не должно теперь превышать 2 Ом. Конечно, необходимо учитывать, что при этом сопротивление измерительного контура 4-20 мА возрастет на 150 Ом.

3. Пробоотборное устройство с 3-проводной измерительной головкой. В этом случае между пробоотборным устройством и центральным контроллером необходимо проложить четыре провода. В подобной конфигурации должно соблюдаться требование $R_1 + R_3 < R_M / 10$. Так, при входном сопротивлении $R_M = 250$ Ом, необходимо проверить, что $R_1 + R_3$ меньше 25 Ом.

4. Пробоотборное устройство с 3-проводной измерительной головкой и заземленным измерительной головкой и заземленным контактом датчика потока. Эта конфигурация подходит для организации отдельной тревоги по потоку, например, для включения специального пользовательского реле на стороне контроллера. Необходимо учитывать максимальные нагрузочные характеристики контакта: $U_{max} = 30$ В, $i_{max} = 500$ мА, $P_{max} = 10$ Вт, только для омических нагрузок.

5. Пробоотборное устройство с 2-проводной измерительной головкой (не используется для 3-проводных измерительных головок) и беспотенциальный контакт датчика потока, например, для включения специального пользовательского реле на стороне контроллера. Необходимо учитывать максимальные нагрузочные характеристики контакта: $U_{max} = 30$ В, $i_{max} = 500$ мА, $P_{max} = 10$ Вт, только для омических нагрузок.