

СОГЛАСОВАНО
Заместитель директора
по производственной
метрологии
ФГУП ВНИИМС



Н.В. Иванникова

"30" марта 2021 г.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДАВЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ 3051S
МЕТОДИКА ПОВЕРКИ**

МП 202-007-2021

2021 г.

1. Общие положения

1.1 Настоящая методика распространяется на преобразователи давления измерительные 3051S, изготавливаемые по технической документации фирмы «Rosemount Inc.», США, в том числе находящиеся в эксплуатации, и вновь изготавливаемых фирмой «Rosemount Inc.», США; фирмой «Emerson Process Management GmbH & Co. OHG»; Германия, фирмой «Emerson Process Management Asia Pacific Pte Ltd», Сингапур и устанавливает правила и методы их поверки.

Преобразователи давления измерительные 3051S (далее – преобразователи) предназначены для измерения абсолютного давления, избыточного давления, разности давлений, гидростатического давления (уровня) жидкости, газа и пара и обеспечивают непрерывное преобразование измеряемого параметра в аналоговый и (или) цифровой выходные сигналы.

Настоящая методика устанавливает методику первичной (до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта) и периодической (в процессе эксплуатации) поверок преобразователей.

Допускается в соответствии с заявлением владельца СИ проведение поверки преобразователя на настроенный диапазон измерений, лежащий внутри максимального диапазона измерений и превышающий минимальный диапазон измерений для данной модели, с обязательным указанием об объеме проведенной поверки.

1.2 В целях обеспечения прослеживаемости поверяемого преобразователя к государственным первичным эталонам единиц величин необходимо соблюдать требования настоящей методики поверки.

Выполнение всех требований настоящей методики обеспечивает прослеживаемость поверяемого средства измерений к следующим государственным первичным эталонам:

ГЭТ23-2010 ГПЭ единицы давления-паскаля;

ГЭТ101-2011 ГПЭ единицы давления для области абсолютного давления в диапазоне $1 \cdot 10^{-1} - 7 \cdot 10^5$ Па;

ГЭТ95-2020 ГПСЭ единицы давления для разности давлений.

1.3 Все средства поверки должны быть исправны, поверены или аттестованы и иметь действующие свидетельства о поверке или аттестации. Вспомогательные средства измерений должны иметь действующие свидетельства о поверке или сертификаты калибровки, или клейма, удостоверяющие их проведение.

1.4 В настоящей методике поверки используется метод прямых измерений. При этом методе значения измеряемой величины оценивают с помощью эталона.

2 Перечень операций поверки

При поверке выполняются операции, указанные в таблице 1.

При получении отрицательных результатов при выполнении любой из операций поверка прекращается и преобразователь бракуется.

Таблица 1 - Операции поверки

Наименование операции	Номер пункта методики поверки	Проведение операций при:	
		первичной поверке	периодической поверке
Внешний осмотр	7	Да	Да
Опробование	8.2	Да	Да
Проверка программного обеспечения	9	Да	Да
Определение метрологических характеристик средства измерений	10	Да	Да
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	11	Да	Да

3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха (23 ± 2) °С;
- относительная влажность окружающего воздуха не более 80 %;
- давление в помещении, где проводят поверку (далее – атмосферное давление), в пределах (84...106,7) кПа или (630...800) мм рт. ст.;
- напряжение питания постоянного тока и сопротивление нагрузки при поверке – в соответствии с технической документацией на преобразователь;
- рабочая среда – воздух или нейтральный газ при поверке преобразователей с верхними пределами измерений, не превышающими 2,5 МПа, и жидкость при поверке преобразователей с верхними пределами измерений более 2,5 МПа. Допускается использовать жидкость при поверке преобразователей с верхними пределами измерений от 0,4 до 2,5 МПа при условии тщательного заполнения жидкостью всей системы поверки. Допускается использовать воздух или нейтральный газ при поверке преобразователей с верхними пределами измерений более 2,5 МПа при условии соблюдения соответствующих правил безопасности;
- допускается проведение поверки преобразователей на месте эксплуатации при соблюдении условий проведения поверки согласно настоящего раздела.

3.2 При поверке преобразователей разности давлений с приёмными камерами для подвода большего давления («плюсовая» камера) и меньшего давления («минусовая» камера) значение измеряемой величины (разности давлений) устанавливают, подавая соответствующее значение избыточного давления в «плюсовую» камеру преобразователя, при этом «минусовая» камера сообщается с атмосферой. Допускается также проведение проверки преобразователей разности давлений при сообщении плюсовой камеры с атмосферой и подачей соответствующего избыточного давления в минусовую камеру.

При поверке преобразователей разности давлений с малыми пределами измерений для уменьшения влияния на результаты поверки не устранённых колебаний давления окружающего воздуха «минусовая» камера преобразователя может соединяться с камерой эталона, сообщаемой с атмосферой, если это предусмотрено в конструкции СИ. При поверке преобразователей разности давлений в «минусовой» камере может поддерживаться постоянное опорное давление, создаваемое другим эталонным датчиком или основным датчиком измеряемой величины с дополнительным блоком опорного давления.

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1. К проведению поверки допускаются лица, являющиеся специалистами органа метрологической службы, юридического лица или индивидуального предпринимателя, аккредитованного на проведение поверки, непосредственно осуществляющие поверку средств измерений.

4.2 К поверке допускаются лица, изучившие эксплуатационную документацию на поверяемые средства измерений, эксплуатационную документацию на средства поверки.

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 При проведении поверки применяют средства, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень средств поверки

Номер пункта методики поверки	Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
10	Манометр грузопоршневой МПА. Диапазон измерений от 0,7 до 10 000 кПа. Класс точности 0,01
10	Манометр абсолютного давления МПА-15. Диапазон измерений от 0,133 до 400 кПа. Пределы допускаемой основной погрешности: ±6,65 Па в диапазоне измерений от 0,133 до 13,3 кПа; ±13,3 Па в диапазоне измерений св. 13,3 до 133 кПа. ±0,01% действительного значения измеряемого давления в диапазоне измерений св. 133 до 400 кПа
10	Калибраторы-контроллеры давления РРС. Диапазон измерений от 0,002 до 140 МПа. Пределы допускаемой основной погрешности ±(от 0,008 до 0,02) %
10	Датчик мембранно-емкостный разности давлений 220DD. Диапазон измерений от 1,3 до $1,33 \cdot 10^3$ Па, Пределы допускаемой основной погрешности ±0,15 % измеряемого давления
10	Микроманометр образцовый переносной МКМ-4. Диапазон измерений от 0,1 до 4 кПа, Пределы допускаемой основной погрешности ±0,01 % верхнего предела давления
10	Калибратор давления пневматический «Метран-505 Воздух-I». Диапазон измерений давления с БОД от 5 Па до 40 кПа. Предел допускаемой основной погрешности в диапазоне от 5 до 400 Па: ±0,10 Па. Предел допускаемой основной погрешности в диапазоне от 400 Па до 2 кПа: ±0,025 % номинального давления. Предел допускаемой основной погрешности в диапазоне измерений от 2 до 40 кПа: ±0,015 % номинального давления
10	Калибратор давления пневматический «Метран-504 Воздух-II». Верхние пределы измерений от 40 до 1000 кПа, пределы допускаемой основной погрешности ±0,015 % от измеряемого давления
10	Задатчики разрежения «Метран-503 Воздух». Диапазон воспроизведения разрежения от минус 0,25 до минус 63 кПа. Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности в диапазоне измерений до минус 4 кПа: ±(0,4+10 ⁻⁴ номинального давления) Па. Пределы допускаемой основной погрешности в диапазоне измерений св. минус 4 кПа: ±0,02 % номинального давления
10	Мановакуумметр грузопоршневой МВП-2,5. Диапазон измерений давления избыточного от 0 до 0,25 МПа, отрицательного избыточного (вакуумметрического) от минус 0,095 до 0 МПа. Класс точности 0,02
10	Манометр грузопоршневой МП-60. Диапазон измерений от 0,1 до 6 МПа. Пределы допускаемой основной погрешности: ±0,01 % от измеряемого давления

Номер пункта методики поверки	Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
10	Манометр грузопоршневой МП-600. Диапазон измерений от 1,25 до 60 МПа. Пределы допускаемой основной погрешности: $\pm 0,01$ % измеряемого давления
10	Манометр грузопоршневой МП-2500 Диапазон измерений от 5 до 250 МПа. Пределы допускаемой основной погрешности: $\pm 0,01$ %, $\pm 0,02$ % измеряемой величины.
10	Барометр БРС-1М-2. Диапазон измерений абсолютного давления от 600 до 1100 гПа. Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности ± 20 Па
10	Гигрометр психометрический ВИТ-2. Диапазон измерений относительной влажности от 20 до 90%, погрешность измерений влажности не более ± 6 %. Диапазон измерений температуры от +15 до +40 °С, цена деления шкалы 0,2 °С, погрешность измерения температуры не более $\pm 0,2$ °С
10	Прибор комбинированный Testo 622. Диапазон измерений относительной влажности от 10 до 95 %, пределы допускаемой основной погрешности измерений влажности не более ± 3 %. Диапазон измерений температуры от -10 до +60 °С, пределы допускаемой основной погрешности измерений температуры не более $\pm 0,4$ °С. Диапазон измерений атмосферного давления от 30 до 120 кПа, пределы допускаемой основной погрешности измерений давления не более $\pm 0,5$ кПа.
10	Мера электрического сопротивления однозначная МС 3050М. Номинальное значение сопротивлений 250 Ом, 500 Ом. Класс точности 0,001.
10	Магазин сопротивлений Р4831. Сопротивление до 111111,1 Ом Класс точности 0,02/2.10 ⁻⁶ .
10	Мультиметр цифровой 34401А. Предел измерений напряжения постоянного тока 10 В. Пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm(0,0035\% \cdot \text{ИВ} + 0,0005\% \cdot \text{ВПИ})$. Предел измерений постоянного тока 100 мА. Пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm(0,050\% \cdot \text{ИВ} + 0,005\% \cdot \text{ВПИ})$, ИВ – измеряемое значение, ВПИ – верхний предел измерений.
10	Мультиметр 3458А. Предел измерений напряжения постоянного тока 10 В. Пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm(0,0008\% \cdot \text{ИВ} + 0,00005\% \cdot \text{ВПИ})$, ИВ – измеряемое значение, ВПИ – верхний предел измерений.
10	Блок питания Метран-602 или Метран-604 ТУ 4276-001-2160758-2004. Выходное напряжение 24В, 36 В.
10	Источник постоянного тока GPC-3060D. Выходное напряжения до 60 В.
10	HART-USB Модем. Преобразователь интерфейса HART – USB для связи преобразователя с компьютером (для преобразователей с протоколами HART и WirelessHART).
10	Коммуникатор Тгех (с базовым или расширенным модулем подключения к полевым устройствам). Устройство для связи с преобразователем по цифровому каналу и для обмена данными по протоколам HART, WirelessHART, Foundation Fieldbus
10	Fieldbus Power Hub. Распределительная коробка с блоком питания для шины Foundation Fieldbus
10	Модем USB полевой шины Fieldbus Преобразователь интерфейса Fieldbus – USB для связи преобразователя с компьютером (например, NI USB-8486)
10	Беспроводной шлюз Emerson. Устройство для беспроводной связи с преобразователем по цифровому каналу Wireless HART

Номер пункта методики поверки	Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки, обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
10	Персональный компьютер. Компьютер под управлением Windows с установленным программным комплексом AMS. Наличие USB порта

5.2 Допускается применение аналогичных средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых средств измерений с требуемой точностью, в соответствии с разделом 10.

6. Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены требования безопасности, указанные в технической документации на преобразователи, а также требования по безопасной эксплуатации применяемых средств поверки, указанные в технической документации на эти средства.

7. Внешний осмотр

При внешнем осмотре должно быть установлено:

- наличие руководства по эксплуатации;
- соответствие внешнего вида поверяемого преобразователя технической документации и отсутствие видимых дефектов, влияющих на работу преобразователя;
- наличие на корпусе преобразователя таблички с маркировкой, соответствующей паспорту или документу, его заменяющему;
- наличие таблички, определяющей конфигурацию преобразователей (для высокого или низкого давления) для преобразователей, входящих в систему ERS.

8. Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Перед проведением поверки преобразователей должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- ознакомиться с руководствами по эксплуатации на поверяемое СИ и эталоны единиц величин;
- преобразователь должен быть выдержан не менее 3 ч при температуре, указанной в 3.1, если иное не указано в технической документации на преобразователь;
- выдержка преобразователя перед началом работы не менее 1 мин после включения питания, если иное не указано в технической документации;
- преобразователь должен быть установлен в рабочее положение с соблюдением указаний технической документации;
- система (стендовое оборудование), состоящая из соединительных линий для передачи давления, эталонов и вспомогательных средств для задания и передачи измеряемой величины, должна обеспечивать герметичность в соответствии с 8.1.1 – 8.1.4.

Схемы включения преобразователей при проведении поверки приведены в приложении А.

Эталон входной величины (давления) включают в схему поверки в соответствии с их руководством по эксплуатации.

8.1.1 Проверку герметичности системы, предназначенной для поверки преобразователей с пределами измерений в области избыточного давления и разрежения, проводят при давлении равном верхнему пределу измерений избыточного давления.

Проверку герметичности системы, предназначенной для поверки преобразователей с пределом измерений разрежения 100 кПа, проводят при разрежении, равном 0,9 – 0,95 значения атмосферного давления.

Проверку герметичности системы, предназначенной для поверки преобразователей абсолютного давления с верхними пределами измерений 250 кПа и менее, проводят в соответствии с 8.1.3.

Проверку герметичности системы, предназначенной для поверки остальных преобразователей проводят при значениях давления, равных верхнему пределу измерений поверяемого преобразователя.

8.1.2 При проверке герметичности системы, предназначенной для поверки преобразователей, указанных в 8.1.1, на место поверяемого преобразователя устанавливают заведомо герметичный преобразователь или любое другое средство измерений с погрешностью измерений не более 2,5 % от значений давления, соответствующих требованиям 8.1.1, и позволяющее зафиксировать изменение давления на величину 0,5 % от заданного значения давления. Далее в системе создают давление, установившееся значение которого соответствует требованиям 8.1.1, после чего отключают источник давления. Если в качестве эталона применяют грузопоршневой манометр, то его колонку и пресс также отключают.

Систему считают герметичной, если после 3-х мин выдержки под давлением, равным или близким верхнему пределу измерений преобразователей, не наблюдают падения давления в течение последующих 2 мин. При необходимости время выдержки под давлением может быть увеличено.

Проверку герметичности системы допускается совмещать с определением основной погрешности поверяемого преобразователя. Систему считают герметичной, если за 30 с спад давления не превышает 0,3 % верхнего предела измерений поверяемого преобразователя.

8.1.3 Проверку герметичности системы, предназначенной для поверки преобразователей абсолютного давления с верхними пределами измерений 250 кПа и менее, проводят следующим образом, если иное не указано в технической документации.

Устанавливают в системе заведомо герметичный преобразователь или любое другое средство измерений абсолютного давления, отвечающее требованиям к СИ в соответствии с п. 8.1.2. Создают в системе абсолютное давление не более 0,07 кПа, и поддерживают его в течение 2 – 3 мин, после чего отключают устройство, создающее абсолютное давление, и эталон при необходимости (например, отключают колонки грузопоршневого манометра).

После выдержки системы в течение 1 мин изменение давления не должно превышать 0,5 % верхнего предела измерений поверяемого преобразователя.

8.1.4 Если система предназначена для поверки преобразователей с разными верхними пределами измерений, проверку герметичности рекомендуется проводить при давлении, соответствующего наибольшему из этих значений.

8.2 При опробовании проверяют герметичность и работоспособность преобразователя

8.2.1 Работоспособность преобразователя проверяют, изменяя измеряемую величину от нижнего до верхнего предела измерений. При этом должно наблюдаться изменение выходного сигнала и показаний на цифровом индикаторе (при наличии).

Для преобразователей с пределами измерений в области избыточного давления и разрежения работоспособность проверяют только при избыточном давлении, для преобразователей с пределом измерений разрежения 100 кПа работоспособность проверяют при изменении разрежения до значения 0,9 атмосферного давления.

Работоспособность преобразователей, входящих в систему ERS, проверяют поочередно, изменяя измеряемую величину от нижнего до верхнего предела измерений для каждого преобразователя.

Проверку работоспособности допускается совмещать с проверкой основной погрешности.

8.2.2 Проверку герметичности преобразователя рекомендуется совмещать с операцией определения основной погрешности.

Проверку проводят при значениях давления, равных верхнему пределу измерений поверяемого преобразователя, течение не менее 30 с. Допускаемый спад давления не должен превышать 0,5 % от верхнего предела измерений поверяемого преобразователя.

В случае обнаружения негерметичности системы с установленным поверяемым преобразователем следует отдельно проверить герметичность системы и преобразователя.

9 Проверка программного обеспечения

9.1 Методика проверки идентификационных данных программного обеспечения (далее – ПО) преобразователя заключается в установлении версии ПО прибора, которую можно увидеть при помощи приёмного устройства, поддерживающего соответствующий цифровой коммуникационный протокол для считывания информации.

Для считывания информации по цифровому сигналу к выходу преобразователя подключают коммутатор Trex (протоколы HART, WirelessHART, Foundation Fieldbus), или HART-модем (протоколы HART, WirelessHART), или преобразователь интерфейса Fieldbus – USB с программным обеспечением для связи с персональным компьютером и считывания информации с цифрового выхода преобразователя. Могут использоваться другие устройства для считывания информации, в соответствии с требованиями технической документации на преобразователь.

Подробное меню преобразователя с указанием пункта об идентификационном номере ПО представлено в Руководстве по эксплуатации.

Подключение коммутатора или HART-модема к беспроводному преобразователю на базе протокола WirelessHART производится через com-клеммы преобразователя.

9.2 Преобразователи считаются прошедшими поверку с положительным результатом, если номер версии ПО соответствует значению, указанному в описании типа на преобразователь.

10 Определение метрологических характеристик средства измерений

10.1 Определение основной погрешности

10.1.1 Основную погрешность преобразователя определяют следующим способом:

По эталону на входе преобразователя устанавливают значения входной измеряемой величины (давления), а по другому эталону измеряют соответствующие значения аналогового выходного сигнала.

Поверка преобразователей с несколькими выходными сигналами, соответствующими одной и той же входной измеряемой величине, производится по всем выходным сигналам (аналоговому и цифровому). Допускается проводить поверку преобразователя с несколькими выходными сигналами, соответствующими одной и той же входной измеряемой величине, только по одному выходному сигналу в соответствии с заявлением владельца СИ.

При поверке преобразователя по его цифровому сигналу к выходу подключают приёмное устройство, поддерживающее соответствующий цифровой коммуникационный протокол для считывания информации при установленных номинальных значениях входной измеряемой величины (см п.9.1).

Примечание - При определении основной погрешности преобразователя с цифровым выходным сигналом значения выходного параметра могут считываться с цифрового индикатора.

При поверке преобразователей с пределом измерений в области разрежения, равным 100 кПа, допускается устанавливать максимальное значение разрежения в пределах 0,90 – 0,95 от атмосферного давления P_0 .

При поверке преобразователей абсолютного давления в качестве первой проверяемой точки принимают значение давления не более 15 % диапазона измерений, но не превышающее текущего значения атмосферного давления.

10.1.2 Устанавливают следующие критерии достоверности поверки:

Допускаемые значения критериев достоверности принимают равными: $\{P_{bam}\}_p = 0,20$;
 $\{(\delta_m)_{ba}\}_p = 1,25$.

P_{bam} – наибольшая вероятность ошибочного признания годным любого в действительности дефектного экземпляра преобразователя;

$(\delta_m)_{ba}$ – отношение наибольшего возможного модуля основной погрешности экземпляра преобразователя, который может быть ошибочно признан годным, к пределу допускаемой основной погрешности.

10.1.3. Устанавливают следующие параметры поверки:

m – число поверяемых точек от нижнего до верхнего предела измерений, $m \geq 5$; в обоснованных случаях и при отсутствии эталонов с необходимой дискретностью воспроизведения измеряемой величины, допускается уменьшать число поверяемых точек до 4 или 3;

n – число наблюдений при экспериментальном определении значений погрешности в каждой из поверяемых точек при изменениях входной измеряемой величины от меньших значений к большим (прямой ход) и от больших значений к меньшим (обратный ход), $n = 1$. Допускается увеличивать число наблюдений в поверяемых точках до 3 или 5, принимая при этом среднеарифметическое значение результатов наблюдений за достоверное значение в данной точке;

γ_k – абсолютное значение отношения контрольного допуска к пределу допускаемой основной погрешности;

α_p – отношение предела допускаемого значения погрешности эталонов, применяемых при поверке, к пределу допускаемого значения основной погрешности поверяемого преобразователя.

Значения γ_k и α_p выбирают по таблице–3 (10.1.4) в соответствии с принятыми критериями достоверности поверки.

10.1.4 Выбор эталонов для определения основной погрешности поверяемых преобразователей осуществляют, исходя из технических возможностей и технико-экономических предпосылок с учётом критериев достоверности поверки (10.1.2) и в соответствии с таблицей-3.

Таблица 3 – Параметры и критерии достоверности поверки

α_p	0,2	0,25	0,33	0,4	0,5
γ_k	0,94	0,93	0,91	0,82	0,70
P_{bam}	0,20	0,20	0,20	0,10	0,05
$(\delta_m)_{ba}$	1,14	1,18	1,24	1,22	1,20

Примечание – Таблица составлена в соответствии с критериями достоверности поверки по 5.4.3 и согласно МИ 187-86 «ГСИ. Критерии достоверности и параметры методик поверки» и МИ 188-86 «ГСИ. Установление значений параметров методик поверки».

10.1.5. При выборе эталонов для определения погрешности поверяемого преобразователя для каждой поверяемой точки должны быть соблюдены следующие условия:

1) При поверке преобразователей (кроме преобразователей Ultra for Flow) и определении значений выходного сигнала в мА:

$$\left(\frac{\Delta_p}{P_m - P_n} + \frac{\Delta_i}{I_m - I_o} \right) \cdot 100 \leq \alpha_p \cdot \gamma, \quad (1)$$

где Δ_p – предел допускаемой абсолютной погрешности эталона, контролирующего входной параметр (давление), кПа, МПа;

P_m – верхний предел измерений поверяемого преобразователя, кПа, МПа;

P_n – нижний предел измерений поверяемого преобразователя, кПа, МПа; для преобразователей, настроенных в диапазоне от избыточного давления до разрежения, значение P_n в области разрежения подставляется в формулу (1) со знаком минус;

Δ_i – предел допускаемой абсолютной погрешности эталона, контролирующего электрический выходной сигнал преобразователя, мА;

I_o, I_m – соответственно нижнее и верхнее предельные значения выходного сигнала преобразователя, мА;

α_p – то же, что в 10.1.3;

γ – предел допускаемой основной приведённой погрешности поверяемого преобразователя, % диапазона измерений.

При поверке преобразователей Ultra for Flow и определении значений выходного сигнала в мА:

$$\left(\frac{\Delta_p}{P - P_n} + \frac{\Delta_i}{I - I_o} \right) \cdot 100 \leq \alpha_p \cdot \delta, \quad (2)$$

где Δ_p, Δ_i – то же, что и в формуле (1),

P – номинальное значение измеряемого давления, кПа, МПа;

I_p – расчетное значение аналогового выходного сигнала постоянного тока для заданного номинального значения измеряемого давления, мА;

δ – предел допускаемой основной относительной погрешности поверяемого преобразователя, % от измеряемого значения давления.

2) При поверке преобразователей (кроме преобразователей Ultra for Flow) и определении значений выходного сигнала в мВ или В по падению напряжения на эталонном сопротивлении

$$\left(\frac{\Delta_p}{P_m - P_n} + \frac{\Delta_u}{U_m - U_o} + \frac{\Delta_R}{R_{ЭТ}} \right) \cdot 100 \leq \alpha_p \cdot \gamma \quad (3)$$

где Δ_p, P_m, P_n – то же, что в формуле (1);

Δ_u – предел допускаемой абсолютной погрешности эталона, контролирующего выходной сигнал преобразователя по падению напряжения на эталонном сопротивлении, мВ или В;

Δ_R – предел допускаемой абсолютной погрешности эталонного сопротивления, Ом;

$R_{ЭТ}$ – значение эталонного сопротивления, Ом;

U_m, U_o – соответственно верхнее и нижнее предельные значения напряжений (мВ или В) на эталонном сопротивлении, определяемые по следующим формулам:

$$U_m = I_m \cdot R_{ЭТ} \quad \text{и} \quad U_o = I_o \cdot R_{ЭТ}$$

При поверке преобразователей Ultra for Flow и определении значений выходного сигнала в мВ или В по падению напряжения на эталонном сопротивлении

$$\left(\frac{\Delta_p}{P - P_n} + \frac{\Delta_u}{U_p - U_o} + \frac{\Delta_R}{R_{ЭТ}} \right) \cdot 100 \leq \alpha_p \cdot \delta \quad (4)$$

где $\Delta_p, \Delta_u, \Delta_R, R_{ЭТ}, U_o$ – то же, что в формуле (3);

δ, P, P_n – то же, что в формуле (2);

U_p – расчетное значение падения напряжения (мВ или В) на эталонном сопротивлении при измеряемом давлении, $U_p = I_p \cdot R_{ЭТ}$

3) При поверке преобразователей с цифровым выходным сигналом (кроме преобразователей Ultra for Flow)

$$\left(\frac{\Delta_p}{P_m - P_n}\right) \cdot 100 \leq \alpha_p \cdot \gamma, \quad (5)$$

где все обозначения те же, что и в формулах (1) и (3).

При поверке преобразователей Ultra for Flow с цифровым выходным сигналом

$$\left(\frac{\Delta_p}{P - P_n}\right) \cdot 100 \leq \alpha_p \cdot \delta \quad (6)$$

где все обозначения те же, что и в формулах (2) и (4)

10.1.6. Расчётные значения аналогового выходного сигнала постоянного тока поверяемого преобразователя для заданного значения входной измеряемой величины определяют по формуле:

$$I_p = I_o + \frac{I_m - I_o}{P_m - P_n} (P - P_n), \quad (7)$$

где I_p – расчётное значение выходного сигнала постоянного тока (мА);

P – значение измеряемого давления, кПа, МПа; для преобразователей, настроенных в диапазоне от избыточного давления до разрежения, значение P в области разрежения подставляется в формулу (7) со знаком минус;

I_m, I_o, P_m, P_n – то же, что и в формуле (1).

Расчётные значения выходного сигнала, выраженные в напряжении постоянного тока, определяют по формуле

$$U_p = R_{эм} \cdot I_p, \quad (8)$$

где U_p – расчётное значение падения напряжения на эталонном сопротивлении, мВ, В;

I_p – то же, что и формуле (7).

Для преобразователей с цифровым выходным сигналом расчётные значения выходного сигнала соответствуют номинальным значениям входной измеряемой величины.

10.1.7 Поверку преобразователей следует проводить при программной установке линейной зависимости выходного сигнала (10.1.6). После выполнения поверки преобразователь может быть перепрограммирован в соответствии с требуемой функцией преобразования входной измеряемой величины.

Перед определением основной погрешности должны быть соблюдены требования 8.1 и, в случае необходимости, откорректировано значение выходного сигнала, соответствующее нижнему предельному значению измеряемого параметра. Эта корректировка проводится после подачи и сброса измеряемого параметра.

При периодической поверке в случае совмещения проверки герметичности с подачей давления перед корректировкой выходного сигнала выдержка проводится при давлении в соответствии с 8.1.1, 8.1.2.

10.1.8 Основную погрешность преобразователя (преобразователей системы ERS) определяют при m значениях измеряемой величины (10.1.3.), достаточно равномерно распределённых от нижнего до верхнего предела измерений, в том числе при значениях измеряемой величины, соответствующих нижнему и верхнему предельным значениям выходного сигнала.

Интервал между значениями измеряемой величины не должен превышать: 30 % диапазона измерений при $m = 5$ (основной вариант поверки); 40 % диапазона измерений при $m = 4$ и 60 % диапазона измерений при $m = 3$.

Основную погрешность определяют при значении измеряемой величины, полученном при приближении к нему как со стороны меньших значений (при прямом ходе), так и со стороны больших значений (при обратном ходе).

При периодической поверке основную погрешность определяют в два цикла: до корректировки верхнего предельного значения выходного сигнала и после корректировки верхнего предельного значения выходного сигнала. Второй цикл допускается не проводить, если основная погрешность $|\gamma_{\partial}| \leq \gamma_k \cdot |\gamma|$, $|\delta_{\partial}| \leq \gamma_k \cdot |\delta|$.

При поверке преобразователей абсолютного давления основную погрешность допускается определять по методике, изложенной в 10.1.9 с соблюдением условий, изложенных в 10.1.7, 10.1.8.

10.1.9. Определение основной погрешности преобразователей абсолютного давления допускается проводить с использованием эталонов разрежения и избыточного давления.

В этом случае поверку преобразователя выполняют при подаче избыточного давления и разрежения, расчётные значения которых определяют с учётом действительного значения атмосферного давления в помещении, где проводят поверку.

Расчётные значения избыточного давления и разрежения вычисляют по формулам

$$P_{(+)} = P_a - P_{\delta}, \quad (9)$$

$$P_{(-)} = P_{\delta} - P_a, \quad (10)$$

где P_a – измеряемое значение абсолютного давления, МПа;

P_{δ} – атмосферное давление в помещении, где проводят поверку, МПа;

$P_{(+)}$ – избыточное давление, подаваемое в преобразователь, МПа;

$P_{(-)}$ – разрежение, создаваемое в преобразователе, МПа

Расчётные значения аналогового выходного сигнала преобразователя при задании разрежения определяют по формуле

$$I_p = I_o + (I_m - I_o) \frac{P_{\delta} - P_{(-)}}{P_{m(a)}} \quad (11)$$

Расчётные значения аналогового выходного сигнала преобразователя при задании избыточного давления определяют по формуле

$$I_p = I_o + (I_m - I_o) \frac{P_{\delta} + P_{(+)}}{P_{m(a)}} \quad (12)$$

где I_p, I_o, I_m , – то же что в формуле (7);

P_{δ} – то же что в формулах (9) и (10);

$P_{m(a)}$ – верхний предел измерений преобразователя абсолютного давления, МПа;

$P_{(+)}, P_{(-)}$ – то же что в формулах (9) и (10)

Расчётные значения аналогового выходного сигнала при атмосферном давлении на входе преобразователя абсолютного давления определяют по формуле

$$I_p = I_o + (I_m - I_o) \frac{P_{\delta}}{P_{m(a)}} \quad (13)$$

где обозначения – см. формулы (7), (11) и (12).

При поверке преобразователей с верхними пределами измерений $P_{m(a)} \leq 2,5$ МПа значение атмосферного давления P_{δ} определяют с погрешностью не более, чем

$$\Delta_{\delta} \leq \alpha_p \cdot \gamma \frac{P_{m(a)}}{100}, \quad (14)$$

где Δ_{δ} – абсолютная погрешность, МПа;

α_p, γ – то же, что в 10.1.4, 10.1.6;

$P_{m(a)}$ – верхний предел измерений поверяемого преобразователя.

В зависимости от верхних пределов измерений поверяемых преобразователей их основную погрешность определяют при m значениях измеряемой величины в соответствии с таблицей 4 и с учётом требований 10.1.8

Таблица 4

Верхние пределы измерений, МПа	Число поверяемых точек, m	
	В области $P_a \leq P_b$	В области $P_a \geq P_b$
0,1	5	–
0,16	3	2
0,25	2	3
От 0,4 до 2,5	1	4
Свыше 2,5	–	5

10.1.11 Для преобразователей, кроме преобразователей Ultra for Flow, основную погрешность γ_∂ в % нормирующего значения (10.1.5) вычисляют по приведённым ниже формулам:

$$\gamma_\partial = \frac{I - I_p}{I_m - I_o} \cdot 100, \quad (15)$$

$$\gamma_\partial = \frac{U - U_p}{U_m - U_o} \cdot 100, \quad (16)$$

$$\gamma_\partial = \frac{N - P}{P_m - P_n} \cdot 100 \quad (17)$$

где I – значение аналогового выходного сигнала постоянного тока, полученное экспериментально при значении измеряемой величины I_p соответствующем заданному значению входной измеряемой величины (давления), мА;

U – значение падения напряжения на эталонном сопротивлении, полученное экспериментально при измерении выходного сигнала U_p соответствующем заданному значению входной измеряемой величины (давления), мВ или В;

N – значение цифрового выходного сигнала преобразователя, полученное экспериментально, кПа, МПа.

P_m, P_n – соответственно верхнее и нижнее предельные значения цифрового выходного сигнала, кПа, МПа;

P – измеряемое значение давления, установленное по эталону, кПа, МПа.

Остальные обозначения те же, что в формулах (1), (3).

Вычисления γ_∂ выполняют с точностью до третьего знака после запятой.

10.1.12 Для преобразователей Ultra for Flow основную относительную погрешность в % от измеряемого значения вычисляют по формулам:

$$\delta_\partial = \frac{I - I_p}{I_p - I_o} \cdot 100, \quad (18)$$

$$\delta_\partial = \frac{U - U_p}{U_p - U_o} \cdot 100, \quad (19)$$

$$\delta_\partial = \frac{N - P}{P} \cdot 100, \quad (20)$$

Обозначения те же, что в формулах (3), (7), (15), (16); (17).

П р и м е ч а н и е – Для измеряемых значений давления ниже $P_{max}/200$ основную погрешность рассчитывают в % от значения выходного сигнала, соответствующего $P_{max}/200$.

Вычисления δ_a выполняют с точностью до третьего знака после запятой.

10.1.13 Определение основной погрешности системы ERS

Основную погрешность системы ERS определяют следующим способом:

Преобразователи включают по схеме, приведенной в приложении А (рисунок А.11, А.12, А.13-А.16). Проводят поверку основной погрешности цифрового выходного сигнала в соответствии с 10.1.1:

- первичного преобразователя,
- вторичного преобразователя.

Допускаемая основная приведенная погрешность системы ERS, γ_a , выраженная в % диапазона измерений разности давлений, вычисляется по формуле:

$$\gamma_a = \pm \left[\sqrt{\left(\frac{|\Delta_{\max}^H|}{DP} \right)^2 + \left(\frac{|\Delta_{\max}^L|}{DP} \right)^2} \cdot 100 \right], \quad (21)$$

где Δ_{\max}^H – максимальная основная абсолютная погрешность первичного преобразователя, кПа, МПа;

Δ_{\max}^L – максимальная основная абсолютная погрешность вторичного преобразователя, кПа, МПа;

DP – диапазон измерений разности давлений, кПа, МПа.

Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, выраженной в процентах от диапазона измерений, численно равны пределам основной приведенной погрешности, выраженной в процентах от диапазона изменений выходного сигнала.

11 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

11.1 Результаты поверки преобразователей и системы ERS.

11.1.1 Преобразователь (систему ERS) признают годным при первичной поверке, если на всех поверяемых точках модуль основной погрешности $|\gamma_a| \leq \gamma_k \cdot |\gamma|$, $|\delta_a| \leq \gamma_k \cdot |\delta|$.

11.1.2 Преобразователь (систему ERS) признают негодным при первичной поверке, если хотя бы в одной поверяемой точке $|\gamma_a| > \gamma_k \cdot |\gamma|$, $|\delta_a| > \gamma_k$.

11.1.3 Преобразователь (систему ERS) признают годным при периодической поверке, если на всех поверяемых точках при первом или втором цикле поверки выполняется условие, изложенное в п.11.1.1.

11.1.4 Преобразователь (систему ERS) признают негодным при периодической поверке:

- если при первом цикле поверки хотя бы в одной поверяемой точке модуль основной погрешности преобразователя $|\gamma_a| > \{(\delta_m)_{ba}\}_p \cdot |\gamma|$, $|\delta_a| > \{(\delta_m)_{ba}\}_p \cdot |\delta|$;
- если при втором цикле поверки хотя бы в одной поверяемой точке модуль основной погрешности $|\gamma_a| > \gamma_k \cdot |\gamma|$, $|\delta_a| > \gamma_k$;

Обозначения: $\{(\delta_m)_{ba}\}_p$ – по п.10.1.2; γ_k – по п.10.1.3; γ – по п.10.1.5.

11.1.5 Допускается вместо вычислений по экспериментальным данным значений основной погрешности γ_a , δ_a контролировать их соответствие предельно допускаемым значениям.

12 Оформление результатов поверки

12.1 Результаты измерений заносят в протокол поверки произвольной формы.

12.2 В случае положительных результатов первичной или периодической поверки преобразователей сведения о результатах поверки передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. По заявлению владельца средств измерений вносится запись в паспорт, заверенная подписью поверителя и оттиском клейма, и (или) выдаются свидетельства о поверке в установленной форме в соответствии с приказом Минпромторга России от 31 июля 2020 г. № 2510.

12.3 При отрицательных результатах первичной или периодической поверки средство измерений к дальнейшему применению не допускают, сведения о результатах поверки передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. По заявлению владельца средств измерений выдают извещение о непригодности в соответствии с Приказом Минпромторга России от 31 июля 2020 г. № 2510 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

ПРИЛОЖЕНИЕ А: Схемы включения преобразователей при поверке

Зам. начальника отдела 202

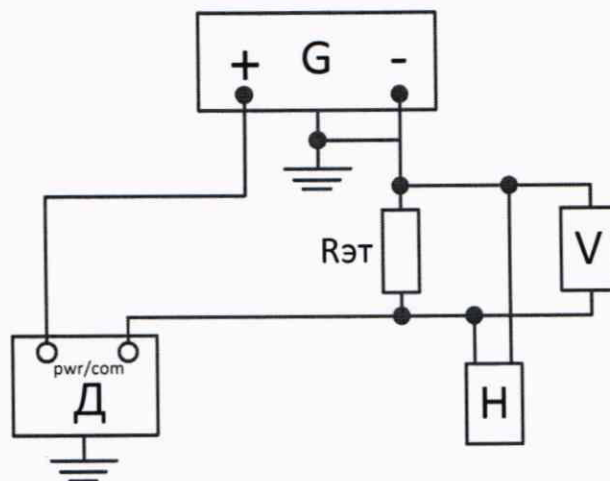


Р. В. Кузьменков

Приложение А (обязательное)

Схемы включения преобразователей при поверке

- 1) Схемы включения преобразователя с аналоговым выходным сигналом постоянного тока 4-20 мА и с цифровым сигналом на базе HART-протокола



Д – поверяемый преобразователь;

Г – источник питания постоянного тока (см. п. 5.1);

Рэт – эталонное сопротивление;

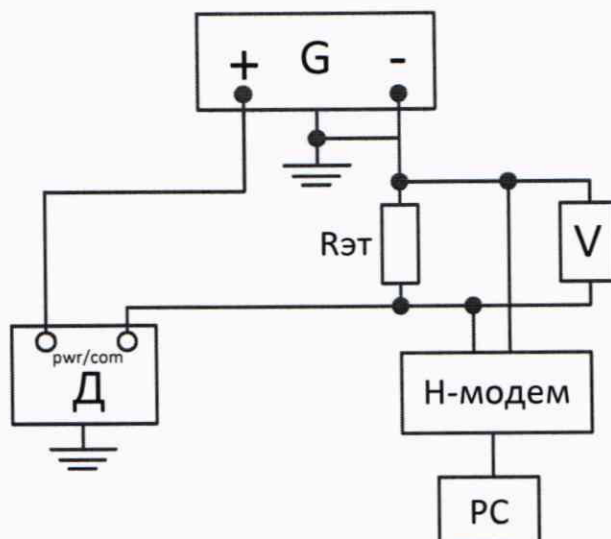
V – цифровой вольтметр (см. п. 5.1),

Н – коммуникатор Тгех, указанный в таблице 2 или другое цифровое устройство, поддерживающее коммуникационный протокол.

Примечания:

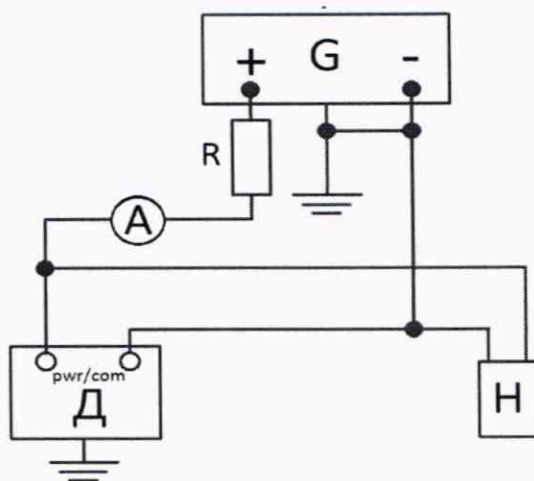
- Заземление корпуса преобразователя, клемма «-» и клемма заземления источника питания подключены совместно.
- Для считывания цифрового сигнала Rэт должно быть не менее 250 Ом.

Рисунок А.1 – Схема включения преобразователя с аналоговым выходным сигналом постоянного тока при изменении выходного сигнала по падению напряжения на эталонном сопротивлении и выходного сигнала на базе HART-протокола при считывании информации по цифровому каналу с помощью коммуникатора.



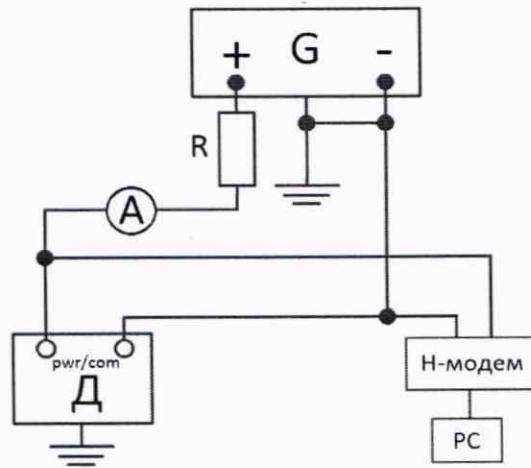
H-модем – HART–USB модем для связи преобразователя с компьютером;
 PC – персональный компьютер с установленным программным комплексом AMS;
 Остальные обозначения приведены на рисунке А.1.

Рисунок А.2 – Схема включения преобразователя с аналоговым выходным сигналом постоянного тока при изменении выходного сигнала по падению напряжения на эталонном сопротивлении и выходного сигнала на базе HART-протокола при считывании информации по цифровому каналу с помощью устройства связи (HART–USB модем) с персональным компьютером.



A – цифровой миллиамперметр (см. п. 5.1);
 R – нагрузочное сопротивление (значение сопротивления в соответствии с условиями поверки п. 3.1);
 Остальные обозначения приведены на рисунке А.1.

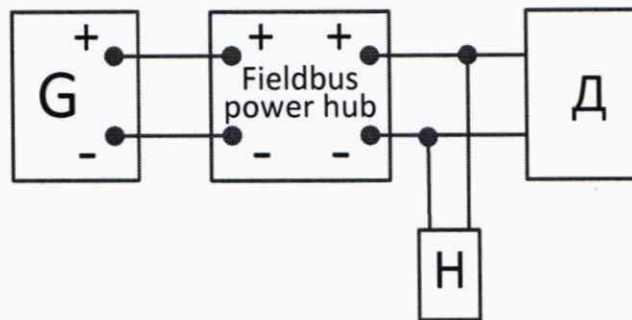
Рисунок А.3 – Схема включения преобразователя с аналоговым выходным сигналом постоянного тока при измерении токового выходного сигнала и выходного сигнала на базе HART-протокола при считывании информации по цифровому каналу с помощью коммуникатора



Обозначения приведены на рисунке А.2 и А.3.

Рисунок А.4 – Схема включения преобразователя с аналоговым выходным сигналом постоянного тока при измерении токового выходного сигнала и выходного сигнала на базе HART-протокола при считывании информации по цифровому каналу с помощью устройства

2) Схемы включения преобразователя с цифровым выходным сигналом на базе протокола Foundation Fieldbus

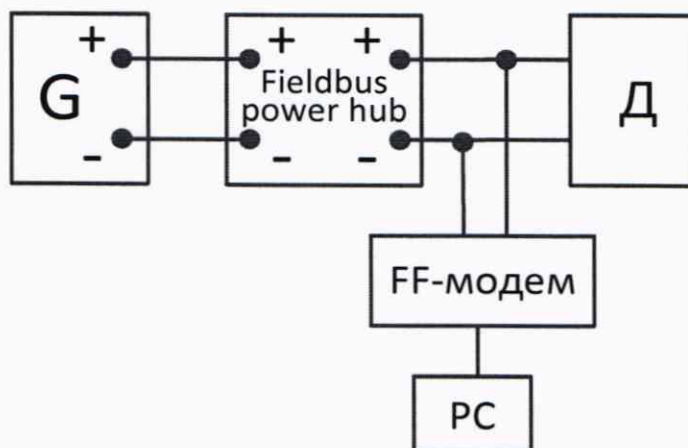


Fieldbus power hub – Распределительная коробка для сегмента шины Foundation Fieldbus;

G – блок питания постоянного тока из комплекта для Fieldbus Power Hub

Остальные обозначения приведены на рисунке А.1.

Рисунок А.5 – Схема включения преобразователя с цифровым выходным сигналом на базе протокола Foundation Fieldbus и считывании информации по цифровому каналу при помощи коммуникатора.

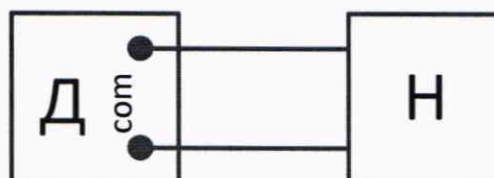


FF-модем – Преобразователь интерфейса Fieldbus – USB для связи преобразователя с компьютером;

Остальные обозначения приведены на рисунках А.1, А.2, А.5.

Рисунок А.6 – Схема включения преобразователя с цифровым выходным сигналом на базе протокола Foundation Fieldbus и считывании информации по цифровому каналу при помощи устройства связи (преобразователь интерфейса Fieldbus – USB) с персональным компьютером.

3) Схемы включения беспроводного преобразователя с цифровым выходным сигналом на базе протокола WirelessHART



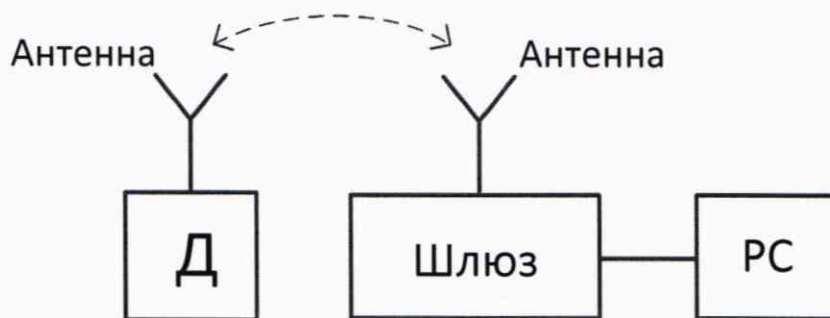
Обозначения приведены на рисунке А.1.

Рисунок А.7 – Схема включения беспроводного преобразователя с цифровым выходным сигналом на базе протокола WirelessHART и считывании информации по цифровому каналу при помощи коммуникатора (подключение через com-клеммы преобразователя).



Обозначения приведены на рисунке А.1 и А.2.

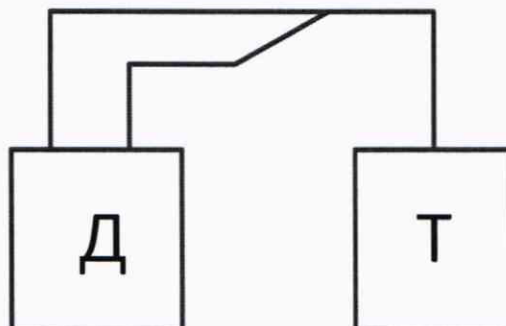
Рисунок А.8 - Схема включения беспроводного преобразователя с цифровым выходным сигналом на базе протокола WirelessHART и считывании информации по цифровому каналу с помощью устройства (USB-HART Модем) связи с персональным компьютером (подключение через com-клеммы преобразователя).



Шлюз – Устройство для беспроводной связи с преобразователем по цифровому каналу WirelessHART (см. п. 5.1);

Остальные обозначения приведены на рисунке А.1 и А.2.

Рисунок А.9 – Схема включения беспроводного преобразователя с цифровым выходным сигналом на базе протокола WirelessHART и считывании информации по цифровому каналу с помощью беспроводного устройства (беспроводной шлюз) связи с персональным компьютером

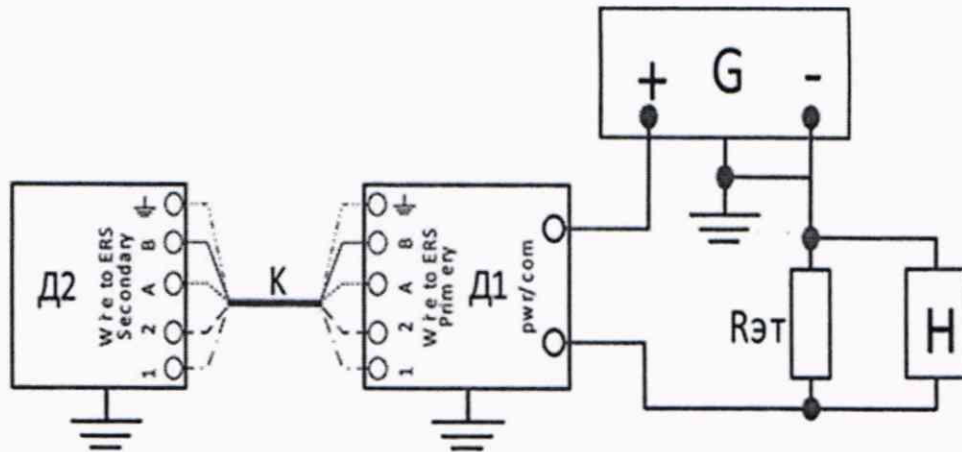


Т – коммуникатор Tтех для связи с преобразователем по цифровому каналу и для обмена данными по протоколам HART, Foundation Fieldbus, WirelessHART.

Остальные обозначения приведены на рисунке А.1.

Рисунок А.10 - Схема включения преобразователя с цифровым выходным сигналом на базе протоколов HART, WirelessHART и Foundation Fieldbus при считывании информации по цифровому каналу с помощью коммуникатора Tтех

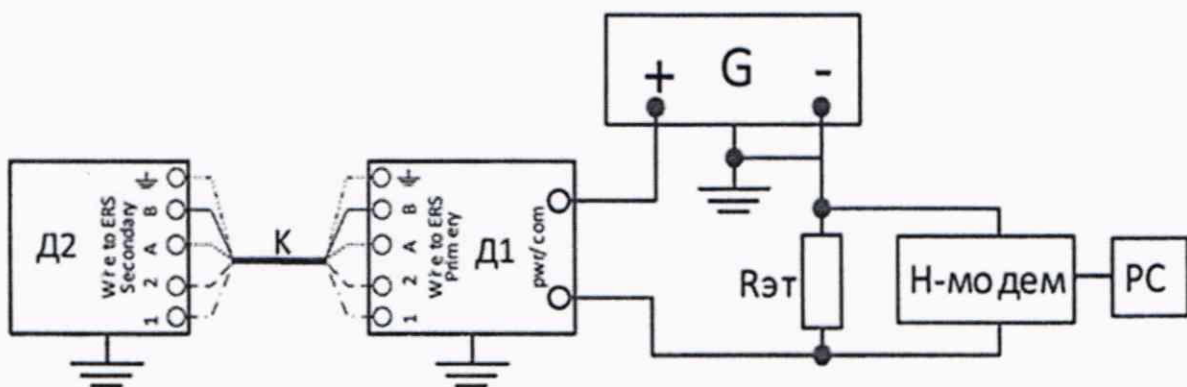
4) Схема включения преобразователей, входящих в систему ERS (базовое исполнение)



Обозначение провода	Цвет	Клемма
— · — · — · — · — · — · — · — ·	Красный	1
— — — — — — — — — — — — — —	Чёрный	2
— · — · — · — · — · — · — · — ·	Белый	A
— — — — — — — — — — — — — —	Синий	B
— · — · — · — · — · — · — · — ·	Экран	⊥

Д1 – первичный преобразователь системы ERS;
 Д2 – вторичный преобразователь системы ERS;
 К – коммуникационный кабель системы ERS;
 Остальные обозначения приведены на рисунке А.1.

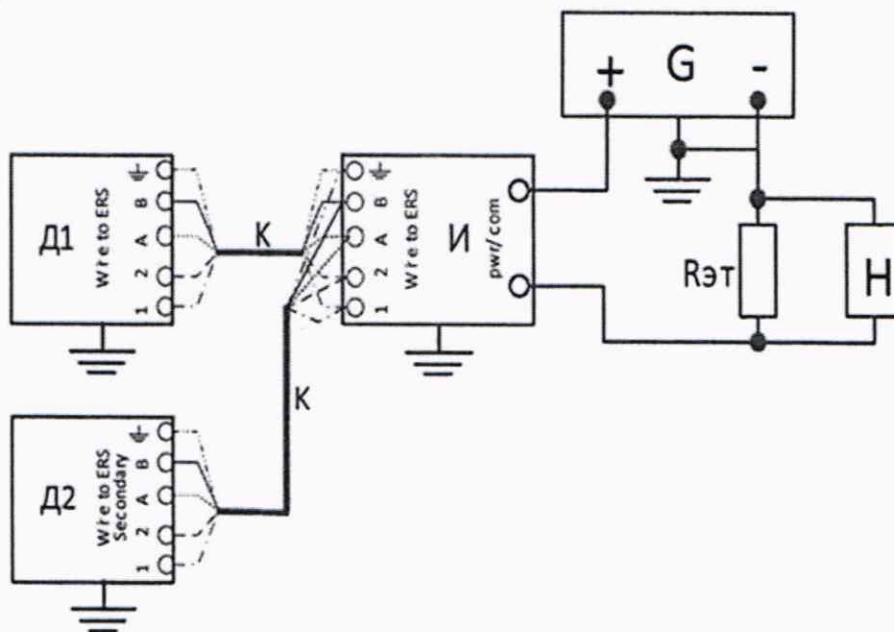
Рисунок А.11 – Схема включения преобразователей, объединённых в систему ERS при считывании информации по цифровому каналу с помощью коммуникатора.



Обозначения приведены на рисунках А.1, А.2 и А.11.

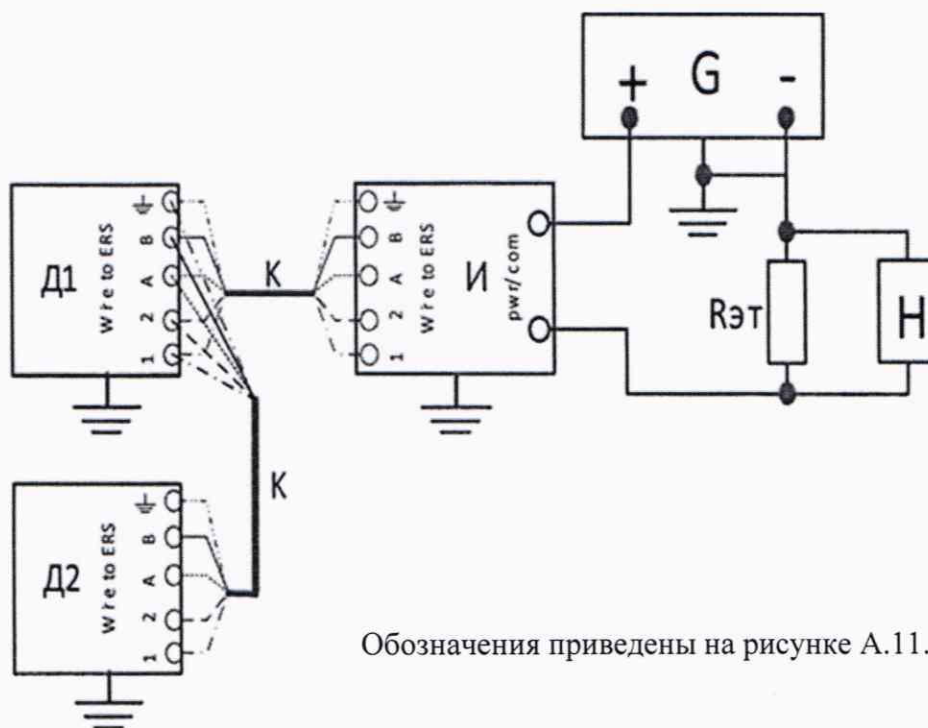
Рисунок А.12 - Схема включения преобразователей, объединённых в систему ERS при считывании информации по цифровому каналу с помощью устройства связи (HART–USB модем) с персональным компьютером.

5) Схема включения преобразователей, входящих в систему ERS (исполнение с выносным индикатором)



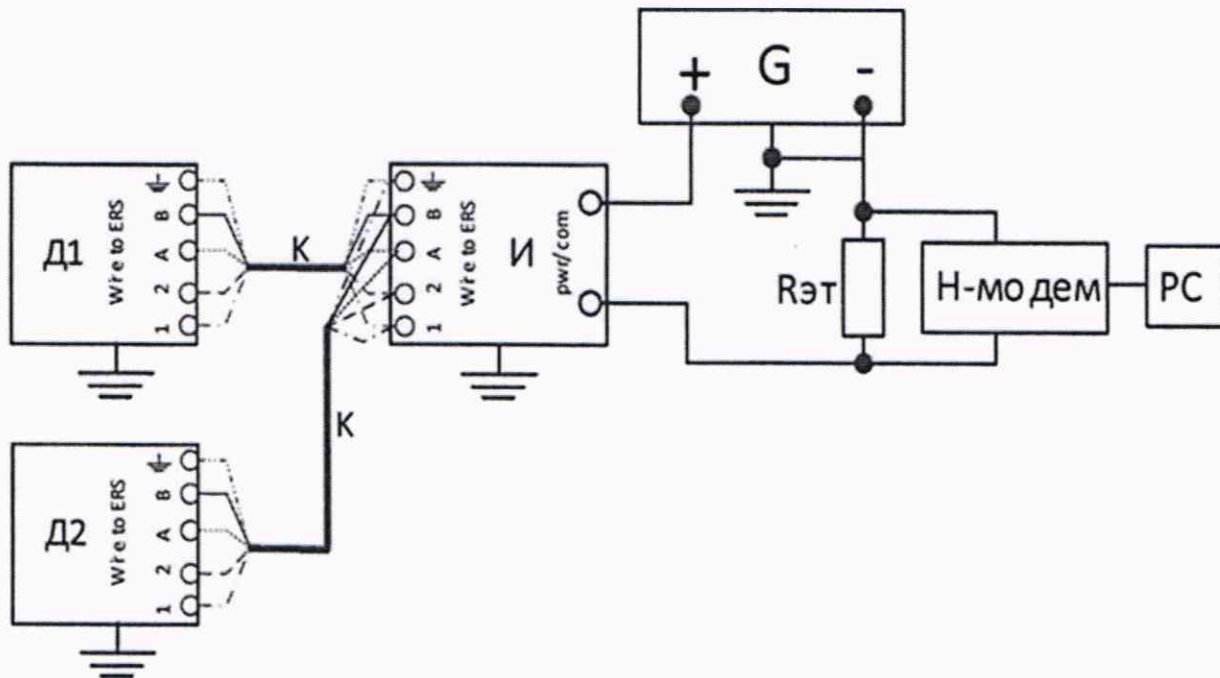
Д1 – первичный преобразователь системы ERS;
 Д2 – вторичный преобразователь системы ERS;
 И – выносной индикатор;
 К – коммуникационный кабель системы ERS;
 Остальные обозначения приведены на рисунке А.1, А.11.

Рисунок А.13 – Схема включения преобразователей, объединённых в систему ERS с выносным индикатором в конфигурации типа «дерево» при считывании информации по цифровому каналу с помощью коммуникатора.



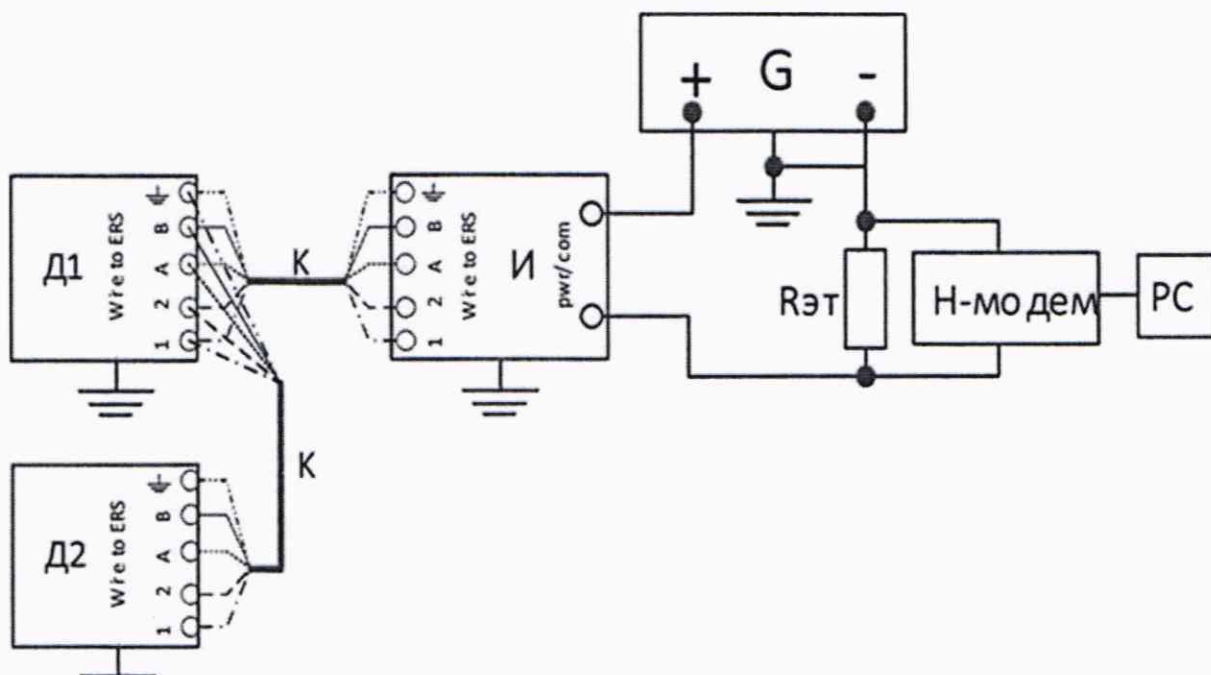
Обозначения приведены на рисунке А.11.

Рисунок А.14 – Схема включения преобразователей, объединённых в систему ERS с выносным индикатором в конфигурации типа «гирлянда» при считывании информации по цифровому каналу с помощью коммуникатора.



Обозначения приведены на рисунке А.11.

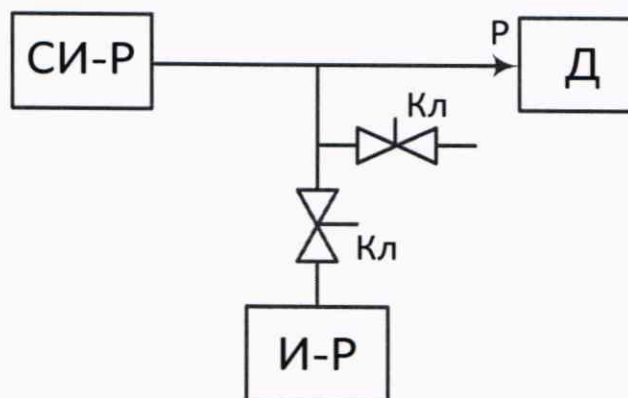
Рисунок А.15 – Схема включения преобразователей, объединённых в систему ERS с выносным индикатором в конфигурации типа «дерево» при считывании информации по цифровому каналу с помощью устройства связи (HART–USB модем) с персональным компьютером.



Обозначения приведены на рисунке А.11.

Рисунок 16 - Схема включения преобразователей, объединённых в систему ERS с выносным индикатором в конфигурации типа «гирлянда» при считывании информации по цифровому каналу с помощью устройства связи (HART–USB модем) с персональным компьютером.

б) Схемы подключения к поверяемому преобразователю эталонов давления.



Д – поверяемый преобразователь;

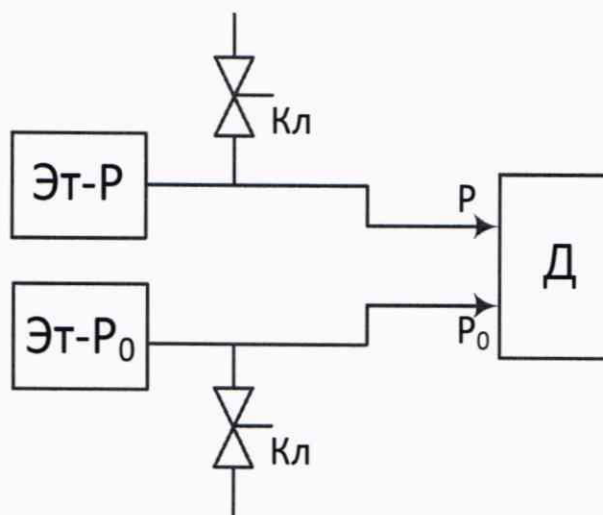
СИ-Р – эталон для измерения давления или разрежения (см. п. 5.1);

И-Р – источник давления или разрежения;

Кл – клапаны запорные;

Р – давление или разрежение на входе преобразователя.

Рисунок А.17 – Схема подключения к поверяемому преобразователю эталона давления



Эт-Р – эталонный задатчик входной величины Р (см. п. 5.1);

Эт-Р₀ – эталонный задатчик опорного давления Р₀ или блок опорного давления основного задатчика Эт-Р;

Остальные обозначения приведены на рисунке А.9.

Рисунок А.18 – Схема подключения к поверяемому преобразователю эталонных задатчиков давления