

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров
по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ»

Кафедра «Метрология и энергетика»

ПОВЕРКА СРЕДСТВ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Часть 2

ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ

Учебно-методическое пособие для руководителей и специалистов метрологических служб предприятий и организаций, слушателей курсов повышения квалификации и студентов технических ВУЗов

Под редакцией О.П. Реута, В.Л. Гуревича

Электронный учебный материал

Минск, 2017

УДК 006. 91

ББК 30.10

Р44

Авторы

О.П. Реут, В.Л. Гуревич, К.В. Сачук, А.А. Новиков

Под редакцией О.П. Реута, В.Л. Гуревича

Рецензент

Д.В. Василевский, заместитель начальника Испытательного центра БелГИСС

В учебно-методическом пособии подробно рассмотрены вопросы проведения поверки приборов общего применения, получивших наиболее широкое распространение в теплотехнических измерениях: изучение технических нормативных правовых актов, регламентирующих поверку средств измерений давления, температуры, расход и практических основ проведения поверки средств измерений давления, температуры, расхода. Данное учебно-методическое пособие представляет интерес для руководителей и специалистов метрологических служб предприятий и организаций.

**Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь**

Тел.(017)292-77-52 факс (017)292-91-37

E-mail: kme-ipk@mail.ru

<http://www.bntu.by/>

Регистрационный № БНТУ/ИПКиПК-19.2017

© БНТУ, 2017

© Реут О.П., Гуревич В.Л. 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ЧАСТЬ 2. ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ	5
2.1 Основные технические нормативные правовые акты и другие документы СОЕИ, применяемые при поверке СИ давления	5
2.2 Основные понятия, термины и определения, единицы давления	7
2.3 Поверка грузопоршневых манометров	9
2.3.1 Дополнительные погрешности, которые могут быть вызваны внешними факторами	14
2.3.2 Методы и средства поверки	18
2.3.3 Подготовка и условия поверки	18
2.3.4 Операции поверки	19
2.4 Дифференциальные манометры (дифманометры)	23
2.4.1 Поплавковые дифманометры	24
2.4.2 Мембранные дифманометры	25
2.4.3 Сильфонные дифманометры	25
2.4.4 Методы и средства поверки	26
2.4.5 Операции поверки	27
2.5 Манометры с упругими чувствительными элементами технические и эталонные	28
2.5.1 Деформационные манометры	28
2.5.2 Манометры с одновитковой трубкой	29
2.5.3 Виды чувствительных элементов манометров с упругими чувствительными элементами	31
2.5.4 Поверка манометров с упругими чувствительными элементами технических	32
2.5.5 Поверка манометров с упругими чувствительными элементами эталонных с условной шкалой	35
2.6 Жидкостные манометры	38
2.6.1 Микроманометр с наклонной трубкой	39
2.6.2 Компенсационный микроманометр	40
2.6.3 Поверка жидкостных манометров	41
2.6.4 Подготовка и условия поверки	41
2.6.5 Операции поверки	41
2.7 Дополнительные указания по поверке манометров с сигнальными устройствами (с электроконтактами), изготавливаемых по ГОСТ.2405-88	42

2.8 Преобразователи давления.....	43
2.8.1 Подготовка и условия поверки.....	46
2.8.2 Операции поверки.....	49
2.9 Средства неинвазивного измерения кровяного давления (тонометры)	51
2.9.1 Методы регистрации артериального давления	52
2.9.2 Виды тонометров	52
2.9.3 Методы и средства поверки	54
2.9.4 Подготовка и условия поверки	55
2.9.5 Операции поверки.....	55
2.10 Мониторы медицинские.....	59
2.10.1 Виды мониторов	59
2.10.2 Методы и средства поверки	60
2.10.3 Подготовка и условия поверки	60
2.10.4 Операции поверки.....	61
2.11 Калибраторы давления	64
2.11.1 Методы и средства поверки	65
2.11.2 Подготовка и условия поверки	66
2.11.3 Операции поверки.....	67
2.12 Контроллеры давления.....	70
2.12.1 Методы и средства поверки	72
2.12.2 Подготовка и условия поверки	72
2.12.3 Операции поверки.....	73
Список рекомендуемой литературы	77

ЧАСТЬ 2. ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ

2.1 Основные технические нормативные правовые акты и другие документы СОЕИ, применяемые при поверке СИ давления

Основные требования к передаче размера единиц, установлены в:

- МР МОЗМ №110 "Международная рекомендация. Грузопоршневые манометры";
- ТР 2007/003/ВУ "Единицы измерений, допущенные к применению на территории Республики Беларусь";
- ТКП 8.003-2011 "Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Поверка средств измерений. Правила проведения работ";
- ГОСТ 8.017-79 "Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений избыточного давления до 250 МПа";
- ГОСТ 8.096-82 "Государственная система обеспечения единства измерений. Микроманометры образцовые 1-го разряда типа МКМ. Методы и средства поверки";
- ГОСТ 8.111-74 "Государственная система обеспечения единства измерений. Мановауумметры грузопоршневые типа МВП-2,5. Методы и средства поверки";
- ГОСТ 8.146-75 "Государственная система обеспечения единства измерений. Манометры дифференциальные показывающие и самопишущие с интеграторами ГСП. Методы и средства поверки";
- ГОСТ 8.187-76 "Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений разности давлений до $4 \cdot 10^4$ Па";
- ГОСТ 8.223-76 "Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений абсолютного давления в диапазоне $2,7 \cdot 10^2 - 4000 \cdot 10^2$ Па";
- ГОСТ 8.302-78 "Государственная система обеспечения единства измерений. Микроманометры жидкостные компенсационные с микрометрическим винтом типа МКВ-250. Методы и средства поверки";
- ГОСТ 8.479-82 "Государственная система обеспечения единства измерений. Манометры избыточного давления грузопоршневые. Методы и средства поверки";
- ГОСТ 2405-88 "Государственная система обеспечения единства измерений. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры";
- ГОСТ 8291-83 "Государственная система обеспечения единства измерений. Манометры избыточного давления грузопоршневые. Общие технические требования";

- ГОСТ 18140-84 "Государственный стандарт союза ССР. Манометры дифференциальные ГСП. Общие технические условия";
- СТБ 8056-2015 "Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры показывающие и самопишущие. Методика поверки";
- СТБ 8057-2015 "Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Манометры и вакуумметры деформационные эталонные с условными шкалами. Методика поверки";
- РДРБ 50.8103-93 "Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Методики поверки средств измерений. Построение и содержание";
- МИ 333-83 "Преобразователи измерительные "Сапфир-22". Методические указания по поверке";
- МИ 1997-89 "Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Преобразователи давления измерительные. Методика поверки";
- МИ 4212-012-2001 "Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики (измерительные преобразователи) давления типа "МЕТРАН". Методика поверки"
- Рекомендация ВНИИМС "Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Преобразователи давления измерительные DMP, DMK, DS, DMD, LMP, LMK, HMP, ХАСТ і, ХАСТ сі, LD. Методика поверки;
- МКДС.406141.000-01 МП "Методика поверки. Манометры избыточного давления грузопоршневые МП-2,5; МП-6; МП-60; МП-2,5; МП-250; МП-600; МП-2500. Класс точности 0,01".

2.2 Основные понятия, термины и определения, единицы давления

Давление – физическая величина, характеризующая интенсивность нормальных (перпендикулярных к поверхности) сил, с которыми одно тело действует на поверхность другого. Если силы распределены вдоль поверхности равномерно, то давление (p) на любую поверхность равно:

$$P = \frac{F}{S}, \quad (2.1)$$

где F – сумма нормальных сил, действующих на поверхность;
 S – площадь этой поверхности.

Понятие давления как физической величины во всех его проявлениях едино. Вместе с тем во многих естественных природных явлениях, а также в различных технических устройствах и процессах определяющим является не само давление, а его значение относительно другого. Особенно актуально это для изучения физических процессов в жидкостях и газах.

При сравнении значений двух давлений одно из них принимается за начало отсчета их разности. По этому признаку различают следующие виды давлений:

Абсолютное давление – давление, значение которого при измерении отсчитывается от давления, равного нулю.

Абсолютное давление воздушной оболочки Земли на ее поверхность называется атмосферным давлением. Оно изменяется в зависимости от метеоусловий, широты места и высоты над уровнем моря.

Давление, равное нулю, характеризует состояние вещества, обусловленное различными физическими причинами, при котором в нем отсутствуют напряжения сжатия. Давление газа равно нулю, если его концентрация настолько мала, что молекулы газа практически не взаимодействуют друг с другом, или если равна нулю абсолютная температура газа. В естественных условиях указанное состояние – сверхглубокий вакуум – наблюдается в отдаленных областях космического пространства. Равенство нулю давления жидкости имеет место, если отсутствуют действующие на нее внешние силы. В нормальных земных условиях давление жидкости может быть равно нулю только в ее верхнем поверхностном слое.

Во всех других случаях измеряемое давление сравнивается с давлением, значение которого не равно нулю. Данные виды давления, в отличие от абсолютного давления, являются относительными. Здесь следует выделить разность давлений и избыточное давление.

Разность давлений – разность двух произвольных давлений, значение одного из которых принято за начало отсчета. В этом случае основное значение имеет разность давлений, а не абсолютные значения каждого из них.

Избыточное давление – разность давлений, одно из которых, принятое за начало отсчета, является абсолютным давлением окружающей среды. В

большинстве случаев абсолютное давление окружающей среды – это атмосферное давление в месте измерений.

Для газовых смесей применяется специальный термин – парциальное давление – абсолютное давление одного из компонентов газовой смеси. Под этим понимается абсолютное давление данного компонента при условии, что он займет весь объем, в котором находится газовая смесь. Сумма парциальных давлений всех компонентов равна абсолютному давлению смеси газов.

Разрежение – разность между атмосферным давлением и абсолютным, когда абсолютное давление меньше атмосферного.

Вакуум – состояние среды, абсолютное давление которой существенно меньше атмосферного давления.

С учетом специфики каждого из видов давления при измерениях применяются специальные средства измерений – манометры, измерительные преобразователи давления, калибраторы, контроллеры, задатчики давления и т.п.

Манометр – измерительный прибор или измерительная установка для измерения давления или разности давлений с непосредственным отсчетом их значения (ВПИ больше 60 кПа).

Измерительный преобразователь давления (датчик) – первичный измерительный преобразователь, воспринимающий непосредственно измеряемое давление и преобразующий его в другую физическую величину.

В соответствии с видами измеряемого давления применяют следующие виды средств измерения давления:

- манометр абсолютного давления – манометр для измерения абсолютного давления, отсчитываемого от абсолютного нуля;

- барометр – манометр абсолютного давления для измерения давления околоземной атмосферы;

- манометр избыточного давления – манометр для измерения разности между абсолютным давлением, большим абсолютного давления окружающей среды, и абсолютным давлением окружающей среды;

- вакуумметр – манометр для измерения давления разреженного газа;

- мановакуумметр – манометр для измерения избыточного давления и давления разреженного газа;

- дифференциальный манометр – манометр для измерения разности двух давлений, каждое из которых отличается от атмосферного давления;

- микроманометр – дифференциальный манометр для измерения малых разностей двух давлений, каждое из которых существенно больше их разности (ВПИ меньше 40 кПа).

Единицей давления называют такое давление, при котором на принятую единицу площади действует сила, равная принятой единице силы. В Международной системе единиц СИ единицей давления является паскаль, представляющий собой давление, при котором на 1 м^2 площади действует сила, равная 1Н.

Размер единицы давления Па очень мал, его значение соответствует давлению столба воды высотой 0,1 мм. Поэтому на практике применяются единицы давления, кратные 1 Па, которые образуются добавлением к наименованию паскаль приставок, узаконенных СИ: килопаскаль (кПа), мегапаскаль (МПа) и гигапаскаль (ГПа).

В технически обоснованных случаях допускается также применение других кратных единиц, которые образованы добавлением приставок предусмотренных СИ: декапаскаль (даПа) и гектопаскаль (гПа). Наиболее близка к СИ единица давления бар (бар), размер которой очень удобен для практики.

Наряду с единицами давления СИ во многих отраслях народного хозяйства нашей страны, а также в зарубежных странах в настоящее время применяются единицы давления, которые должны быть изъяты по мере перехода на СИ (килограмм-сила на квадратный сантиметр ($\text{кгс}/\text{см}^2$) и килограмм-сила на квадратный метр ($\text{кгс}/\text{м}^2$) миллиметр и метр водяного столба (мм вод.ст. и м вод.ст.) и миллиметр ртутного столба (мм рт.ст.), а в странах с дюймовыми системами – дюйм и фут водяного столба (in H₂O и ft H₂O), дюйм ртутного столба (in Hg). Применение данных единиц давления на территории РБ регламентируется ТР.2007/003/ВУ или разрешениями Госстандарта РБ. Применяемая в странах Западной Европы единица давления торр практически равна мм рт.ст. В англоязычных странах широко распространена также единица давления фунт-сила на квадратный дюйм (psi).

2.3 Поверка грузопоршневых манометров.

Характерной особенностью грузопоршневых манометров является их высокая точность в широком интервале давлений, которая обусловлена возможностью определить, как площадь поршня, так и массу грузов с высокой достоверностью. Благодаря этому такие манометры применяют в качестве эталонных для сличений, поверки, калибровки, испытаний и аттестации самых различных средств измерений давления, работающих на основе других принципов. В то же время при высокой точности измерения грузопоршневые манометры позволяют выполнять измерения в широком интервале значений: от достаточно больших разрежений до избыточных давлений в несколько тысяч МПа. Современные грузопоршневые манометры работают в комплекте с терминалом или ПК, позволяющими учитывать в режиме реального времени практически все влияющие величины при измерении (воспроизведении) давления (например, от встроенных платиновых термометров сопротивления учитывать изменение температуры поршневой пары и т.п.).

Сила, с которой грузы действуют на поршень, пропорциональна ускорению свободного падения. Воспроизводимое давление, зависит от места применения грузопоршневого манометра, и для точного определения значений воспроизводимых давлений необходимо знать местное ускорение свободного падения. Наличие на грузах маркировки, например, 20 кПа, свидетельствует о том, что при добавлении этого груза на поршень увеличивает

давление на эту величину с погрешностью, соответствующей классу точности грузопоршневого манометра, только в случае размещения его в местности с заданным ускорением свободного падения. Значение ускорения свободного падения изменяется от экватора к полюсу, а в пределах Республики Беларусь для северных районов $g = 9,8150$ м/с, для южных районов $g = 9,8120$ м/с. Значение ускорения свободного падения зависит и от высоты над уровнем моря.

На рисунке 2.1 дана схема наиболее распространенного манометра с простым поршнем. Собственно, манометр состоит из цилиндра 2, поршня 3 с грузоприемной тарелкой и грузов 4. Поршень вместе с цилиндром получил название "колонки манометра" или измерительной поршневой системы (ИПС). Остальные агрегаты, с которыми соединена колонка манометра, необходимы для его нормального функционирования: поршневой пресс 1 — для поддержания поршня манометра в рабочем положении при постепенном вытекании жидкости (7) через зазор между поршнем и цилиндром, штуцер 6 — для подключения поверяемых манометров, уровень 5 — для установки основания манометра в горизонтальное положение и сосуд (на рисунке не показан) — для заполнения системы манометра рабочей жидкостью.

Поршень и цилиндр манометра тщательно притирают друг к другу при их изготовлении, так как точность изменения давления зависит от качества изготовления пары поршень—цилиндр. Зазор между поршнем и цилиндром у новых манометров составляет 0,2—5 мкм.

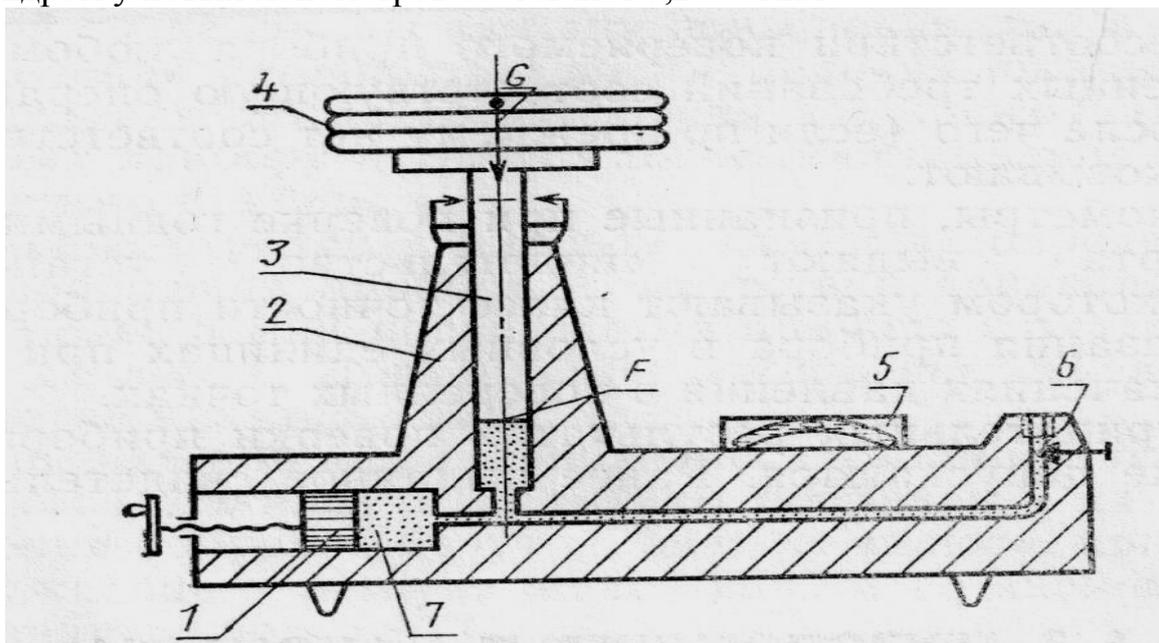


Рисунок 2.1

Грузоприемное устройство может быть выполнено в виде тарелки либо другой специальной конструкции. Грузы представляют собой стальные цилиндрические диски, различные по массе, для создания различных давлений.

Давление в системе под поршнем манометра может быть определено как

$$P = \frac{G}{F}, \quad (2.2)$$

где G — вес грузов с поршнем и грузоприемной тарелкой;
 F — приведенная площадь поршня.

Правильная работа грузопоршневого манометра может быть обеспечена только в том случае, если между поршнем и цилиндром отсутствует сухое трение. Всякое появление сухого трения резко снижает точность манометра и делает непригодным для использования. Поэтому рабочая жидкость, проникающая в зазор между поршнем и цилиндром, одновременно должна являться смазывающим веществом. Чтобы при работе манометра не появилось сухое трение, необходимо, чтобы жидкость была равномерно распределена по всему зазору. Это обеспечивается вращением поршня в цилиндре со скоростью 30—120 об/мин.

Кроме этого требования существует и другое, которое также необходимо соблюдать при работе с грузопоршневым манометром. Его поршень при работе должен быть погружен в цилиндр на определенную глубину, исключая возможность перекоса поршня в цилиндре. Для контроля глубины погружения поршня на нем может наноситься "рабочая отметка"; во время измерений ее следует устанавливать против специального указателя на поршне или корпусе цилиндра. Недостаточное погружение поршня в цилиндр может легко привести к перекосу поршня в цилиндре и возникновению сухого трения между ними.

Манометр грузопоршневой работает следующим образом. С помощью ручного насоса масло перекачивается из стакана через фильтр в основной блок и стойки с установленными средствами измерений. Ручной насос необходим для предварительного сжатия воздуха, находящегося в присоединенном СИ с целью уменьшения его объема. Время и величина ручного накачивания зависит от установленного СИ и не должна превышать 3 МПа. Далее, с помощью вращения штурвала по часовой стрелке и винтадвигающего штока, плавно создается необходимое давление. Величина создаваемого давления определяется суммой грузов, установленных на грузоприемное устройство ИПС с учётом давления создаваемым самим грузоприёмным устройством. Равновесное положение ИПС определяется по риску, нанесенной на нижнюю часть корпуса ИПС (на ИПС для МП-6 риска может быть нанесена на нижней части грузоприёмного устройства).

ВНИМАНИЕ!

Не устанавливайте и не снимайте грузы во время их вращения во избежание повреждения ИПС. Устанавливайте и снимайте грузы только при снижении давления в системе на величину большую снимаемого груза, для предотвращения самопроизвольного поднятия поршня и выхода из строя ИПС.

Экспериментально установлено, что поршневые пары при работе с чистыми и не агрессивными средами и при соблюдении требований руководства по эксплуатации имеют длительную и стабильную воспроизводимость

давления в течение эксплуатации до последующих сличений (поверок).

ВНИМАНИЕ!

При установке грузов на ИПС, в первую очередь установите более тяжелые грузы, а затем более легкие, при необходимости снимите более легкие, установите более тяжелые и снова установите более легкие.

Полезная информация: Не допускайте загрязнение грузов и грузоприемного устройства (может ухудшить МХ манометра).

Полезная информация: В случае, если при помощи грузов входящих в комплект прибора невозможно установить необходимую величину тестового давления допускается устанавливать на грузоприёмную тарелку гири образцовые по ГОСТ 7328-2001 класса точности F2 или F1. При этом величина создаваемого давления будет рассчитываться по формуле, указанной в руководстве по эксплуатации манометра грузопоршневого.

ВНИМАНИЕ!

При использовании гирь образцовых устанавливайте их по возможности симметрично и ближе к оси вращения ИПС. Суммарная масса используемых образцовых гирь не должна превышать массы минимального груза из комплекта грузов данного манометра грузопоршневого.

Типы манометров с простым поршнем, выпускаемые в соответствии с ГОСТ 8291—83, указаны в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Тип манометра	Верхний предел измерения, МПа	Номинальная площадь поршня, см ²	Рабочая жидкость
МП-2,5	0,25	1	50% керосин + 50% трансф. масло
МП-6	0,6	1	трансформаторное масло
МП-60	6,0	0,5	то же
МП-250	25,0	0,2	то же
МП-600	60,0	0,05	касторовое масло
МП-2500	250,0	0,05	то же

Манометры предназначены для работы при температуре окружающего воздуха от 10 °С до 30 °С и относительной влажности до 80 %.

Пределы допускаемой основной погрешности выпускаемых манометров указаны в таблице 2.2.

Манометры с простым поршнем изготавливают для измерения давления не более 250 МПа, так как при больших давлениях возможна деформация поршня под воздействием большой массы грузов.

Для измерения более высоких давлений применяют мультипликатор – гидравлический усилитель.

Относительная погрешность современных манометров с мультипликаторами составляет 0,01 – 0,2 %.

Таблица 2.2

Класс точности	Пределы основной погрешности при давлении	
	10 — 100 % верхнего предела измерения	до 10 % верхнего предела измерения
0,01	$\pm 0,01$ % действительного значения измеряемого давления	$\pm 0,01$ % от 0,1 верхнего предела измерения давления
0,02	$\pm 0,02$ % действительного значения измеряемого давления	$\pm 0,02$ % от 0,1 верхнего предела измерения давления
0,05	$\pm 0,05$ % действительного значения измеряемого давления	$\pm 0,05$ % от 0,1 верхнего предела измерения давления

Мановакуумметр является одним из приборов, в котором применена система двух взаимно уравновешенных поршней. На рисунке 1.2 показана принципиальная схема мановакуумметра типа МВП-2,5.

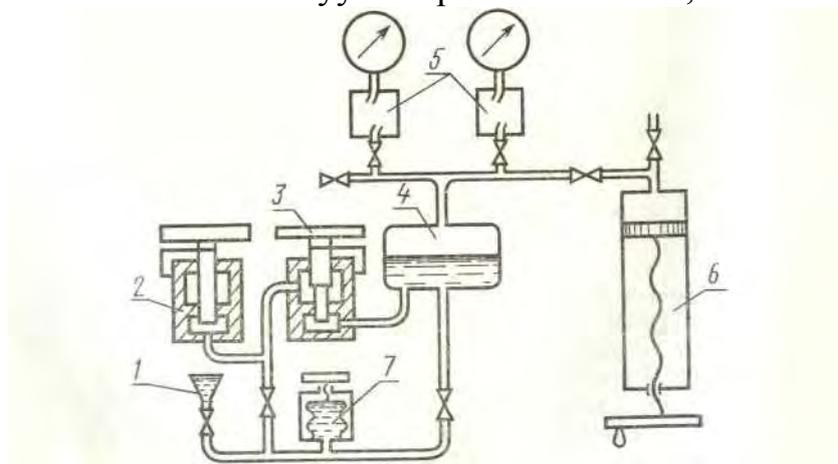


Рисунок 2.2

Он состоит из двух соединенных между собой поршневых колонок (одна из них с простым 2, а другая с дифференциальным 3 поршнем); разделительного сосуда 4; сильфонного масляного пресса 7 и сосуд для заполнения системы манометра рабочей жидкостью 1, на основании смонтированы также два штуцера 5 для присоединения поверяемых приборов и воздушный пресс 6. Мановакуумметр заполняют приборным маслом МВП. Массу поршней и грузоприемных устройств подбирают так, чтобы при сообщении разделительного сосуда 4 с атмосферой поршни располагались на одном уровне и в нулевом положении.

При создании в разделительном сосуде 4 избыточного давления (например, с помощью воздушного пресса 6 равновесие поршней нарушается. Для восстановления первоначального положения поршней на грузоприемное устройство дифференциального поршня следует наложить некоторое количество грузов. Измеряемое давление

$$P_u = \frac{G}{F_i}, \quad (2.3)$$

где F_i — приведенная площадь дифференциального поршня (его части меньшего диаметра).

Если в разделительном сосуде создать разрежение, то поднимется простой поршень. В этом случае для восстановления равновесия поршней потребуется наложить грузы G на диск простого поршня. Измеряемое разрежение

$$P_p = \frac{G}{F_1} \cdot \frac{F_2 - F_1}{F_3}, \quad (2.4)$$

где F_1 и F_2 — приведенные площади дифференциального поршня;
 F_3 — приведенная площадь простого поршня.

Мановакуумметры МВП-2,5 выпускают классов точности 0,02 и 0,05. Пределы измерения избыточного давления (0 – 0,25) МПа. Пределы измерения разрежения (0 – 0,1) МПа. Номинальные значения приведенных площадей поршня: $F_1 = 0,5 \text{ см}^2$; $F_2 = 1 \text{ см}^2$; $F_3 = 1 \text{ см}^2$.

2.3.1 Дополнительные погрешности, которые могут быть вызваны внешними факторами

При проведении поверки грузопоршневых манометров необходимо учитывать следующие дополнительные погрешности, которые могут быть вызваны внешними факторами:

➤ Изменение температуры

Изменение температуры оказывает влияние на результаты измерений ввиду теплового расширения поршня и цилиндра ИПС при нагревании/охлаждении от окружающей среды. Благодаря использованию сплавов карбида вольфрама (карбид вольфрама – хрупкий материал) при изготовлении поршня и цилиндра ИПС, температурный коэффициент расширения которого в 4 раза меньше, чем у стали, данное влияние значительно снижается. Для манометра грузопоршневого класса точности 0,01 отсутствует необходимость вносить корректировки в результаты измерений в диапазоне $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ против $20^\circ\text{C} \pm 0,25^\circ\text{C}$ для приборов с ИПС из стали, для манометра грузопоршневого класса точности 0,02 отсутствует необходимость вносить корректировки в результаты измерений в диапазоне $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ против $20^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$ для приборов с ИПС из стали, для манометра грузопоршневого класса точности 0,05 отсутствует необходимость вносить корректировки в результаты измерений в диапазоне $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ против $20^\circ\text{C} \pm 1,25^\circ\text{C}$ для манометра грузопоршневого с ИПС из стали. Данные диапазоны измерения являются рекомендуемыми.

При изменении температуры окружающей среды относительно рекомендуемого более чем на 1°C , для определения значения измеряемого давле-

ния (для ИПС из сплавов карбида вольфрама) необходимо вносить поправку к величине номинального значения давления, указанного на грузах, рассчитываемую по формуле:

$$\Delta = 8 \cdot 10^{-6} \cdot (20 - t) \cdot P \quad (2.5)$$

где: Δ — величина поправки;

$8 \cdot 10^{-6}$ (от $8 \cdot 10^{-6}$ до $9,5 \cdot 10^{-6}$) — температурный коэффициент расширения материала пары "поршень — цилиндр" ИПС (для ИПС из стали температурный коэффициент расширения материала — от $10 \cdot 10^{-6}$ до $12 \cdot 10^{-6}$);

t — температура окружающей среды, °С;

P — номинальное значение давления, указанное на грузе (суммарное на стопке грузов, установленных на грузоприёмное устройство ИПС).

➤ **Изменение атмосферного (барометрического) давления, изменение влажности**

При изменении атмосферного давления и изменении относительной влажности происходит изменение плотности окружающего воздуха и, как следствие, выталкивающей силы, действующей на грузы. Однако ввиду незначительности значений этих погрешностей, на практике ими пренебрегают (учитывают для кл.т. 0,005 и более точных эталонов).

➤ **Дополнительная погрешность, вызванная разностью между уровнями нижнего среза поршня ИПС и штуцером поверяемого прибора**

Погрешность обусловлена наличием столба рабочей жидкости между уровнями нижнего среза поршня ИПС и штуцером поверяемого прибора и оказывающего гидростатическое давление.

При различии уровней необходимо вносить поправку, рассчитываемую в общем случае по формуле

$$\Delta = \rho \cdot g_m \cdot H \quad (2.6)$$

где: Δ — величина поправки, Па;

ρ — плотность рабочей жидкости, кг/м³;

g_m — местное ускорение свободного падения, м/с²;

H — разница уровней, м.

Для практических расчетов наиболее удобна следующая упрощенная формула

$$\Delta = H \cdot g_m \cdot K \quad (2.7)$$

где: Δ — величина поправки;

K — коэффициент, учитывающий плотность трансформаторного масла и множитель для перевода в различные единицы измерения;

g_m — местное ускорение свободного падения, м/с²;

H — разница уровней, см.

Значение коэффициента K для различных единиц измерения приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3.

Единица измерений	Величина коэффициента K
МПа	$8,95 \times 10^{-6}$
бар	$8,95 \times 10^{-5}$

Подставляя значение K для требуемых единиц измерения, значение местного ускорения свободного падения и разницу уровней в формулу (7), получаем величину поправки в данных единицах измерения давления. Дополнительную поправку необходимо отнимать от давления создаваемого грузами, в случае если штуцер поверяемого прибора расположен выше нижнего среза поршня ИПС и наоборот.

➤ **Поправка на ускорение свободного падения**

Если масса грузов, приведённых к номинальному значению давления ($p_{\text{ном}}$), подогнана под ускорение свободного падения (g_H), указанное в свидетельстве о поверке, отличается от местного ускорения (g_M), то давление создаваемое грузами определяется по формуле

$$P = p_{\text{ном}} \cdot \frac{g_M}{g_H}, \quad (2.8)$$

➤ **Приведенная (эффективная) площадь поршня**

Работа манометра грузопоршневого основана на принципе неуплотненного поршня и заключается в уравнивании измеряемого давления, действующего на нижний торец поршня, суммарным весом поршня, грузоприемного устройства и установленных на нем грузов.

Поршень грузопоршневого манометра (рисунок 2.3) под воздействием веса грузов G всегда опускается с некоторой скоростью вследствие того, что жидкость, находящаяся под поршнем, медленно поднимается в зазоре между поршнем и цилиндром. В этом случае возникает сила вязкостного трения T , действующая на поршень и направленная против движения поршня. Теоретически

$$T = \pi \cdot P \cdot r_n \cdot \delta, \quad (2.9)$$

где P — измеряемое давление;

r_n — радиус поршня;

$\delta = r_c - r_n$ — зазор между поршнем и цилиндром;

r_c — радиус цилиндра.

С учетом силы трения уравнение измерения давления грузопоршневым манометром

$$P = \frac{G - T}{F}, \quad \text{где} \quad (2.10)$$

$$F = \pi r_n^2, \quad (2.11)$$

Подставим в уравнение выражение для силы трения T

$$P = \frac{G - \pi r_n \delta}{F}, \quad (2.12)$$

Решая это уравнение относительно P , получим

$$P = \frac{G}{F + \pi r_n \delta}, \quad (2.13)$$

Величину, стоящую в знаменателе, обозначают F_{np} и называют приве-

денной (эффективной) площадью поршня

$$F_{np} = F + \pi r_n \delta \quad (2.14)$$

Практически можно считать, что величина $\pi r_n \delta$ представляет собой половину площади зазора между цилиндром и поршнем, поэтому приведенной площадью поршня называют сумму геометрической площади поперечного сечения поршня и половины площади зазора между цилиндром и поршнем.

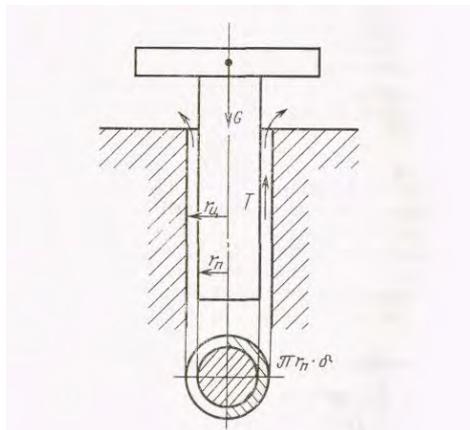


Рисунок 2.3

Уравнение измерения в этом случае принимает вид

$$P = \frac{G}{F_{np}}, \quad (2.15)$$

Таким образом, используя понятие приведенной площади поршня, мы учитываем силу вязкостного трения в колонке манометра. Если бы при измерении давления использовали значение геометрической площади поршня (F), то в показания прибора пришлось бы вводить поправку на трение, а в нашем случае эта поправка введена путем эквивалентного увеличения площади поршня.

Для определения приведенной площади поршня разработаны несколько методов. Наибольшее распространение получил метод гидростатического уравнивания поршней поверяемого и эталонного приборов. Ниже этот метод будет рассмотрен при описании процесса поверки, так как определение приведенной площади является одной из операций поверки грузопоршневых манометров.

2.3.2 Методы и средства поверки

Методы и средства поверки манометров избыточного давления до 250 МПа определены ГОСТ 8.479-82 и МКДС.406141. 000-01 МП для класса точности 0,01.

При проведении поверки применяют следующие средства:

- эталонный грузопоршневой манометр на разряд выше поверяемого (для поверки манометров 1-го разряда — рабочий эталон);
- устройство для создания давления с приспособлением для наблюдения за взаимным уравниванием поршней;
- уровень с ценой деления 30" или 1';
- образцовые веса 2-го или 3-го разряда в зависимости от разряда поверяемого манометра;
- образцовые гири 2-го или 3-го разряда (класса точности F2 или F1);
- индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм;
- секундомер;
- штангенциркуль.

2.3.3 Подготовка и условия поверки

Устройство для создания давления должно быть установлено на горизонтальном основании, исключающем тряску и вибрацию, влияющие на точность измерений. Схема установки для поверки дана на рисунке 2.4.

- 1 – эталонный прибор;
- 2 – поверяемый прибор;
- 3 – сосуд для рабочей жидкости;
- 4 – пресс.

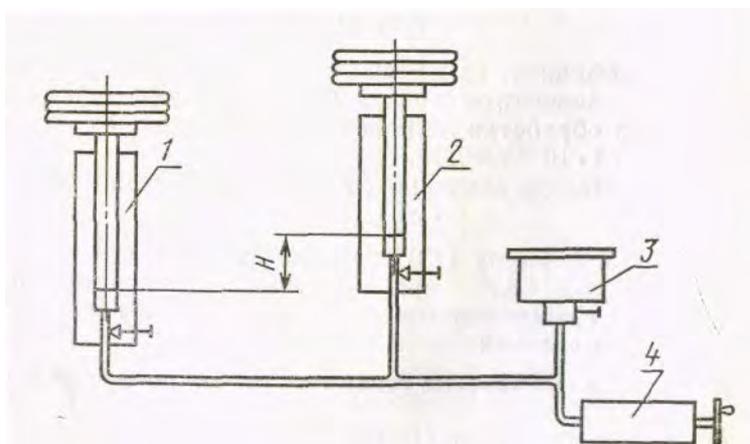


Рисунок 2.4

Температура поверяемого прибора и окружающего воздуха должна быть $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ для первого разряда; $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ для второго и $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$ для третьего разряда. Манометр перед поверкой должен находиться в помещении лаборатории не менее 10 ч, что необходимо для принятия им той же температуры, что и у эталонных приборов.

Перед поверкой измерительную колонку грузопоршневого манометра следует разобрать и все детали тщательно промыть чистым авиационным бензином или керосином (допускается этиловым или изопропиловым спиртом). Для промывки цилиндров и поршней, работающих на касторовом масле, следует применять чистый спирт. Бязью, смоченной в чистом этиловом спирте, хорошо протереть рабочие поверхности поршня и цилиндра, а затем вытереть насухо с усилием чистой бязью. Просмотреть поверхность канала цилиндра и поршня, в нём не должно оставаться ворса от ткани, при необходимости убрать её при помощи тампона из ваты. При вводе поршня в цилиндр не прилагать усилий, поршень должен свободно скользить в цилиндре без малейших признаков трения. Если нет лёгкости хода поршня по цилиндру, необходимо повторить промывку поршневой пары сначала.

ВНИМАНИЕ!

Не прикладываете усилие к поршню для введения его в цилиндр, т.к. масло в канале цилиндра препятствует этому. Необходимо штурвалом, понемногу, понижать уровень в канале цилиндра, одновременно опуская поршень, при этом наблюдая, чтобы не произошел подсос воздуха.

Манометры всех типов, за исключением МП-0,4 и некоторых типов манометров иностранного производства (у которых не предусмотрена возможность поверки ИПС без устройств для создания давления), представляют на поверку без устройств для создания давления. Допускается представление грузопоршневых манометров в поверку без грузов в тех случаях, когда предприятия имеют право поверки образцовых гирь и могут осуществлять поверку грузов в соответствии с требованиями ТНПА.

2.3.4 Операции поверки

➤ **Внешний осмотр.** Поршень должен свободно, без затираний вращаться и перемещаться вдоль оси цилиндра. Грузопоршневой манометр не должен иметь очагов коррозии и повреждений, препятствующих правильной работе манометра.

Грузы одинаковой массы должны быть одинаковыми по форме и размерам, легко накладываться один на другой и сниматься. Допускаются на поверхности грузов забои и вмятины, если это не нарушает параллельности их опорных плоскостей при наложении одного груза на другой. Грузы должны быть очищены от смазки загрязнений.

Грузы должны иметь форму дисков с центральными отверстиями и концентрическими выступами и углублениями для исключения возможности радиального перемещения их при наложении. Углубления в грузоприемном устройстве и грузах должны быть больше выступов грузов. Грузы не должны заклиниваться при наложении их друг на друга и на грузоприемное устройство.

Торцовые опорные плоскости грузов должны быть параллельны меж-

ду собой, а допускаемое отклонение от параллельности не должно превышать 0,5 мм.

На грузоприемном устройстве и на каждом грузе должны быть нанесены порядковый номер манометра и давление, производимое поршнем с грузоприемным устройством или грузом, в Па (кПа; МПа) или бар.

К станине устройства для создания давления должна быть прикреплена металлическая табличка, на которой нанесены:

- а) наименование или товарный знак предприятия-изготовителя;
- б) порядковый номер манометра по системе нумерации предприятия-изготовителя;
- в) год выпуска;
- г) предельное рабочее давление, создаваемое устройствам, в Па (кПа; МПа) или бар.

➤ **Определение массы поршня с грузоприемным устройством**

Выполняют на образцовых весах 2-го или 3-го разряда с применением гирь 2-го или 3-го разряда (класса точности F2 или F1) в зависимости от разряда поверяемого манометра.

➤ **Проверка перпендикулярности опорной плоскости грузоприемного устройства к оси поршня**

Перед началом проведения данной операции поршень устанавливают в вертикальном положении с помощью регулировочных винтов и уровня. Уровень помещают на грузоприемную тарелку. Положение поршня считается вертикальным, если при каждом из четырех его положений (после его последовательных поворотов на угол 90°) пузырек уровня перемещается не более чем на одно деление.

Проверку перпендикулярности опорной плоскости грузоприемного устройства к оси поршня проводят одним из двух способов:

1) на опорную плоскость грузоприемного устройства манометра устанавливают уровень в двух взаимно перпендикулярных положениях, не приводя поршень во вращение; разность показаний уровня не должна превышать 5';

2) манометр отключают вентилем от устройства для создания давления.

Наконечник индикатора приводят в соприкосновение с опорной плоскостью грузоприемного устройства. Затем грузоприемное устройство медленно поворачивают рукой не менее чем на один оборот и наблюдают за перемещением стрелки индикатора.

Угол $\Delta\varphi$, определяющий отклонение от перпендикулярности опорной плоскости к оси поршня, вычисляют в угловых минутах по формуле

$$\Delta\varphi = \left(\frac{b}{2a} \cdot \frac{180 \cdot 60}{\pi} \right), \quad (2.16)$$

где a — расстояние точки контакта наконечника индикатора с опорной плоскостью от центра опорной плоскости, мм;

b — изменение показаний индикатора при повороте поршня на один оборот, мм.

Значение $\Delta\varphi$, для всех типов приборов не должно превышать 5'.

➤ **Проверка продолжительности свободного вращения поршня**

За продолжительность вращения поршня принимают интервал времени его свободного вращения от момента, соответствующего начальной угловой скорости поршня (120±10) об/мин, до полной его остановки. Начальную угловую скорость определяют подсчетом числа оборотов за 10 с.

Во все время проверки рабочее положение манометра следует обязательно сохранять.

Продолжительность вращения поршня проверяют при нагрузке, соответствующей 20 % верхнего предела измерения. Продолжительность вращения поршня должна соответствовать требованиям ГОСТ 8291-83. Манометры иностранного производства поверяются при других нагрузках и должны соответствовать требованиям МР МОЗМ №110 или утвержденных методик поверки.

Так, например, для манометров типа МП-6 при диаметре грузов 130 мм и МП-60 при диаметре грузов 220 мм продолжительность свободного вращения должна быть не менее 2 мин для класса точности 0,05 и не менее 3 мин для класса точности 0,02.

➤ **Проверка скорости опускания поршня**

При проверке скорости опускания поршня на грузоприемное устройство накладывают грузы в количестве, необходимом для создания под поршнем давления, равного верхнему пределу измерения поверяемого манометра. По достижении требуемого давления перекрывают вентиль. Путь, пройденный поршнем за некоторое время, измеряют индикатором часового типа или измерительным микроскопом, а время – секундомером.

Скорость опускания поршня измеряют три раза. Путь, пройденный поршнем, должен быть не менее 1 мм. За действительную скорость опускания поршня принимают среднеарифметическую из трех найденных значений. Для манометров, находящихся в эксплуатации, она не должна превышать значений, указанных в ГОСТ 8291-83. Так, например, для манометров типа МП-6 класса точности 0,02 – не более 0,5 мм/мин; класса точности 0,05 – не более 0,8 мм/мин; класса точности 0,2 – не более 1 мм/мин; типа МП-60 класса точности 0,05 – не более 0,5 мм/мин.

Для манометров иностранного производства она не должна превышать значений, указанных МР МОЗМ №110 или утвержденных методик поверки.

➤ **Проверка порога чувствительности**

Под порогом чувствительности следует понимать наименьшее изменение давления, вызывающее заметное на глаз изменение состояния равновесия поршней при сличении манометров.

Порог чувствительности проверяют при давлении, равном верхнему пределу измерения поверяемого манометра. Для проверки уравнивают поршни сличаемых манометров, затем накладывают на грузоприемное

устройство поверяемого манометра грузы, масса которых указана в ГОСТ.8291-83. Так, например, для манометров типа МП-6 класса точности 0,02 масса добавочного груза 0,060 г, класса 0,05 – 0,120 г, а класса 0,2 – 0,600 г. Для манометров, типа МП-60 класса точности 0,05 – 0,600 г, а класса точности 0,2 – 3,000 г.

После наложения добавочного груза равновесие поршней должно нарушиться. Если добавление груза не вызывает нарушения равновесия, то поверяемый манометр признается негодным.

➤ **Определение приведенной площади поршня**

Операцию выполняют сличением поверяемого манометра с эталонным более высокого класса точности методом гидростатического уравнивания.

На грузоприемное устройство сличаемых манометров накладывают грузы, создающие одно и то же номинальное давление, после чего поршни приводят во вращение. Если при этом обнаружится, что один из поршней поднимается, а другой опускается, то к грузам на грузоприемном устройстве поднимающегося поршня добавляют гири до достижения равновесия. При равновесии оба поршня должны опускаться с одинаковой скоростью.

Приведенную площадь поршня манометров классов точности 0,05 и 0,2 (в см²) определяют при давлениях, соответствующих 25 %; 50 %; 75 % и 100 % верхнего предела измерения, по формуле

$$F_{np_i} = F_{обр} \frac{m_{нов}}{m_{обр} \pm \rho F_{обр} H}, \quad (2.17)$$

где $F_{обр}$ — значение приведенной площади поршня эталонного манометра, взятое из свидетельства, см²;

$m_{нов}$; $m_{обр}$ — соответственно массы грузов и поршня с грузоприемным устройством поверяемого и образцового манометров, г;

ρ — плотность рабочей жидкости, заполняющей прибор, г/см³;

H — расстояние (по вертикали) между уровнями расположения нижних торцов поршней сличаемых приборов, см; $H > 0$ в том случае, когда торец образцового прибора расположен выше торца поверяемого прибора, в противном случае $H < 0$.

Среднее значение приведенной площади поршня (в см²) определяют по формуле

$$\bar{F}_{np} = F_{обр} \frac{\sum_1^k m_{нов}}{\sum_1^k (m_{обр} \pm \rho F_{обр} H)}, \quad (2.18)$$

где k — число уравниваний поршней.

Результат определения приведенной площади поршня признается удовлетворительным, если наибольшие отклонения отдельных значений F_{np_i} от их среднего значения \bar{F}_{np} не превысят $\pm 0,015$ % для манометров класса точности 0,05 и $\pm 0,08$ % для манометров класса точности 0,2.

При поверке манометров 1-го разряда класса точности 0,02 приведенную площадь поршня определяют по результатам 10 уравниваний

поршней поверяемого манометра и рабочего эталона в соответствии с ГОСТ.8.479-82.

➤ **Определение расчетного значения массы грузов и поршня с грузоприемным устройством и проверка соответствия действительных значений расчетным**

Массы грузов и поршня с грузоприемным устройством определяют расчетом с учетом приведенной площади поршня, местного ускорения свободного падения тел и поправки на потерю веса в воздухе, а для манометров с верхним пределом измерения более 6,0 МПа с учетом деформации поршня под действием давления.

Расчетное значение массы грузов и массы поршня с грузоприемным устройством m (в кг) определяют (без учета деформации поршня от давления) по формуле

$$m = \frac{Fp}{g} \left(1 + \frac{\rho_g}{\rho_m} \right), \quad (2.19)$$

где g — ускорение свободного падения тел в месте эксплуатации манометра, м/с²;

ρ_v ; ρ_m — соответственно плотность воздуха и условная плотность материала грузов ($\rho_v = 1,2 \cdot 10^{-3}$ г/см³; $\rho_m = 8,0$ г/см³);

$F_{пр}$ — среднее значение приведенной площади поршня, см²;

P — давление, создаваемое наложением данного груза, Па.

Действительное значение массы каждого груза и массы поршня с грузоприемным устройством не должно отличаться от расчетного значения более чем на $\pm 0,005$ % для манометров класса точности 0,02; на $\pm 0,012$ % для манометров класса точности 0,05 и на $\pm 0,05$ % для манометров класса точности 0,2.

При несоответствии поверяемого прибора требованиям хотя бы одной из рассмотренных выше операций поверки эту операцию повторяют. Если и после этого рассматриваемые отклонения выходят за допускаемые пределы, то манометр класса точности 0,2 бракуется. Манометр класса точности 0,05 в таком случае может быть переведен в класс точности 0,2, а манометр класса точности 0,02 – в класс 0,05.

На манометры, прошедшие поверку и удовлетворяющие всем требованиям ТНПА, выдается свидетельство установленной формы.

Если грузы поверяют сами владельцы манометра, то на грузы выдается дополнительное свидетельство.

2.4 Дифференциальные манометры (дифманометры)

Дифференциальные манометры (дифманометры) предназначены для измерения разностей (перепадов) давлений ΔP в двух каких-либо точках. По принципу действия манометры подразделяются на жидкостные (поплавковые, колокольные, кольцевые) и деформационные (мембранные, сильфонные), а по назначению выпускаются как расходомеры или как пере-

падомеры.

В соответствии с ГОСТ 18140–84 промышленные дифманометры изготавливают классов точности 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0. Они предназначены для работы при температуре окружающего воздуха от 5° до 50°С и его относительной влажности не более 80 %. Предельный номинальный перепад давления ΔP , т. е. перепад давления, соответствующий верхнему пределу измерений дифманометра, следует выбирать из ряда 0,010; 0,016; 0,025; 0,040; 0,063; 0,10; 0,16; 0,25; 0,40; 0,63; 1; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25 кПа; 0,04; 0,063; 0,10; 0,16; 0,25; 0,40; 0,63 МПа.

Верхний предел измерения по расходу (для дифманометров-расходомеров) выбирают из ряда $A = a \cdot 10^n$, где a — одно из чисел ряда 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; n — целое (положительное или отрицательное) число или нуль.

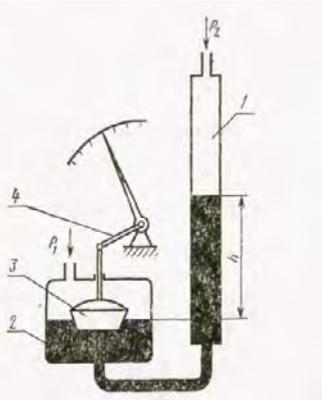
Нижний предел измерения дифманометра-расходомера должен составлять не более 30 % верхнего предела измерения. Предельно допускаемое рабочее избыточное давление, т. е. максимальное давление, при котором дифманометр остается работоспособным в течение срока службы, составляет от 0,025 до 100 МПа.

По способу выдачи информации дифманометры изготавливают показывающие, самопишущие и измерительные преобразователи. Изготавливают также дифманометры с дополнительными устройствами для сигнализации, регулирования и интегрирования, а также с преобразователями для телеметрической передачи пневматических или электрических сигналов.

2.4.1 Поплавковые дифманометры

Поплавковый дифманометр является одним из наиболее распространенных типов жидкостных дифманометров (рисунок 2.5).

Как и однотрубный жидкостный манометр, он имеет широкий сосуд 2 сечением F и узкий сосуд сечением f . В широком сосуде размещается поплавок 3, связанный с рычагом 4, от которого идет передача к показывающей стрелке. В этом случае дифманометр является показывающим. По ходу поплавка судят о высоте столба жидкости h , а следовательно, и об



измеряемой разности давлений ΔP . Ход поплавка можно и менять, меняя соотношение сечений сосудов F и f . Движение поплавка может передаваться непосредственно стрелке прибора или через телеметрическую передачу на расстояние. В этом случае отсчет измеряемой разности давлений снимают со вторичного прибора. Поплавковые дифманометры могут быть заполнены как ртутью (в последнее время практически не применяется), так и другими жидкостями.

Рисунок 2.5

2.4.2 Мембранные дифманометры

По принципу действия приборы относятся к деформационным манометрам (рисунок 2.6). Упругие мембраны 1 и 2 выполнены в виде коробок с гофрированными стенками. Внутренние полости мембранных коробок заполнены жидкостью, соединены центральной трубкой и расположены в полостях А и Б корпуса дифманометра, изолированных друг от друга. В нижнюю полость подается большее давление P_1 а в верхнюю – меньшее P_2 . Разность давлений $P_1 - P_2 = \Delta P$ уравновешивается упругими силами мембранных коробок. Расширение верхней мембранной коробки 2 из-за перетекания в нее части жидкости из нижней коробки 1 приводит к перемещению сердечника 3 в обмотке 4 электрической телеметрической системы.

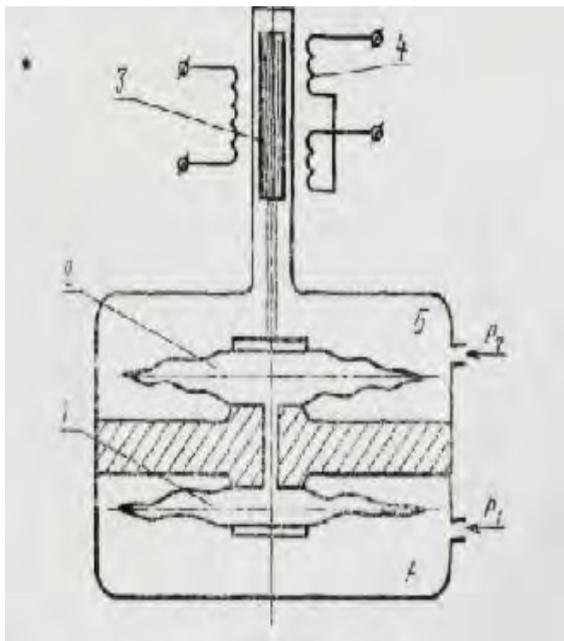


Рисунок 2.6

2.4.3 Сильфонные дифманометры

В качестве чувствительного элемента дифманометры могут иметь один или два сильфона (гармониковые мембраны). На рисунке 2.7 показана схема дифманометра с двумя сильфонами.

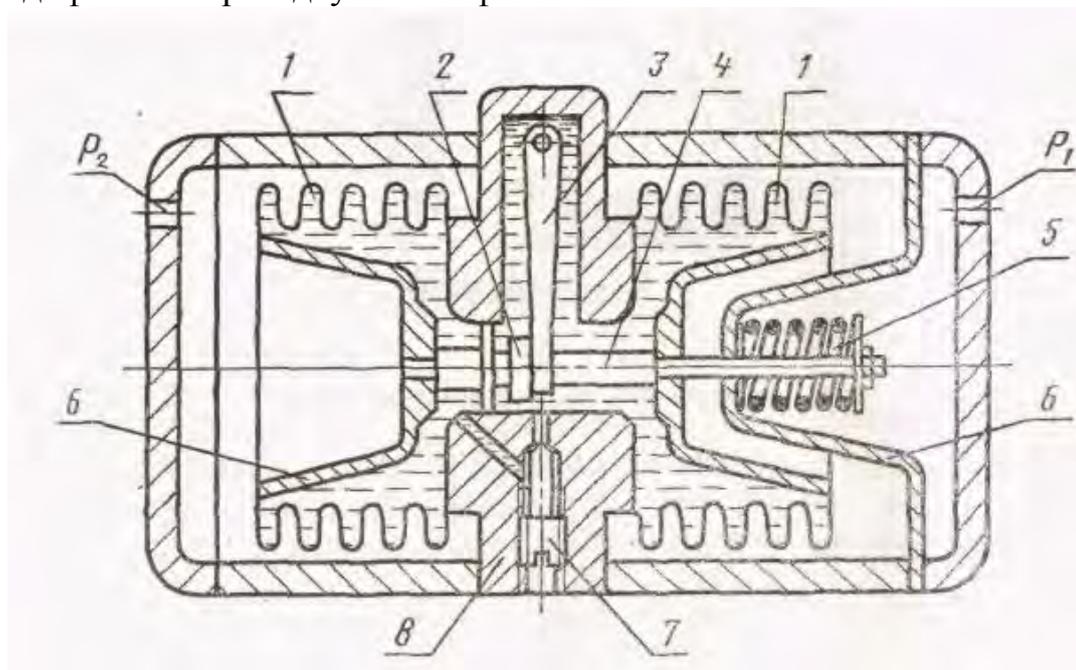


Рисунок 2.7

Сильфоны 1 расположены в изолированных перегородкой 8 полостях корпуса дифманометра.

Правый сильфон воспринимает давление P_1 , а левый — P_2 . Одной стороной сильфоны закреплены на перегородке, а другой — связаны со стаканами 6. Стаканы укреплены на общем стержне 4, на который действует пружина 5. Внутренние полости сильфонов заполнены водоглицериновой смесью и соединены друг с другом игольчатым клапаном 7.

Если давление P_1 возрастает, правый сильфон сжимается жидкость из него перегоняется в левый сильфон, вследствие чего он расширяется. Перепад давления $P_1—P_2$ воспринимается упругими силами сильфонов и пружины 5. Деформация сильфонов вызывает перемещение стержня 4, который поворачивает рычаг 3, всегда прижатый к диску 2. Поворотом оси рычага движение передается показывающему устройству прибора.

Сильфонные дифманометры могут быть как показывающими, так и иметь систему передачи показаний на расстояние.

2.4.4 Методы и средства поверки

Поверку осуществляют в соответствии с ГОСТ 8.146—75.

В качестве эталонного манометра могут быть использованы: грузопоршневые манометры МП-6 и МП-2,5, образцовые пружинные манометры МО; компенсационные микроманометры типа МКМ или МКВ, микроманометр с наклонной трубкой типа ММН и др. При выборе эталонного прибора необходимо соблюдать условие

$$\Delta_{обр} \leq \frac{1}{4} \Delta_{пов}, \quad (2.20)$$

где $\Delta_{обр}$; $\Delta_{пов}$ — пределы допускаемой основной погрешности эталонного и поверяемого манометров.

Лишь с разрешения органов Госстандарта допускается

$$\Delta_{обр} = \frac{1}{3} \Delta_{пов}, \quad (2.21)$$

Схема установки для поверки дифманометров показана на рисунке 1.8. Средой, передающей давление, может быть только воздух или нейтральный газ, а для создания перепада давления применяют воздушный пресс 3. При использовании в качестве эталонного 1 грузопоршневого манометра МП-6 между ним и поверяемым дифманометром 2 должно быть установлено разделительное устройство, предохраняющее поверяемый прибор от попадания в него масла.

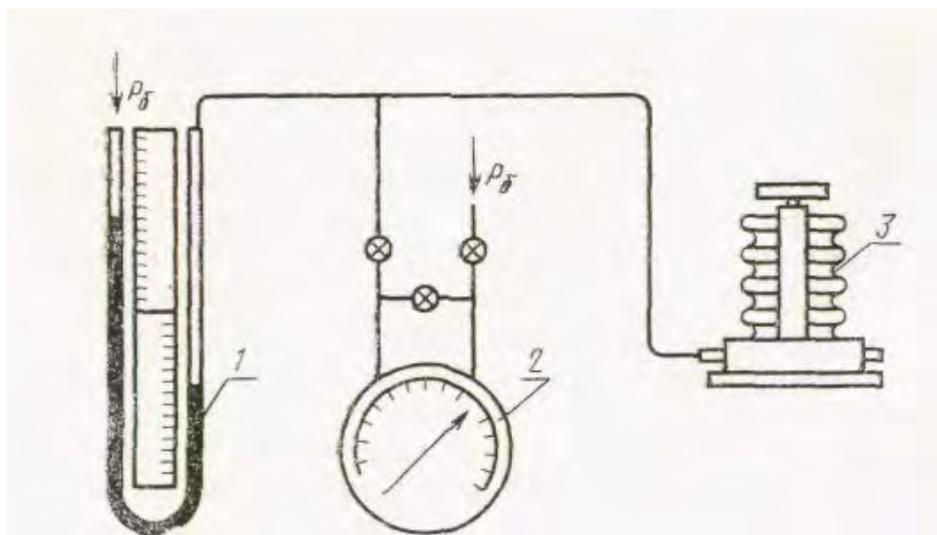


Рисунок 2.8

Перед проведением поверки дифманометр следует выдержать не менее 6ч при температуре окружающего воздуха $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ для приборов классов точности 0,6 и 1 и $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ для приборов классов точности 1,5; 2,5; 4.

2.4.5 Операции поверки

➤ Внешний осмотр

При внешнем осмотре должно быть установлено, что прибор не имеет повреждений и дефектов, наличие которых препятствует его применению.

➤ Опробование

Стрелку (перо) дифманометра перед началом поверки устанавливают на нулевую отметку. Между плюсовой и минусовой камерами измерительного блока проверяют герметичность. Когда минусовая камера сообщается с атмосферой, в плюсовой камере дифманометра создают избыточное давление, равное предельному номинальному перепаду давления. При этом давлении прибор выдерживают в течение 10 мин. Затем отключают прибор от устройства, создающего давление, и выдерживают еще 15 мин.

Прибор считают герметичным, если в течение последних 15 мин изменение давления (с учетом изменения температуры окружающей среды) не превышает значений, указанных в ГОСТ 8.146-75.

➤ Определение основной погрешности измерения давления

Основную погрешность определяют сравнением действительного перепада давления, соответствующего поверяемой отметке, с показаниями поверяемого прибора. Расчетное значение перепада давления ΔP для любой поверяемой отметки дифманометров-расходомеров определяют по формуле:

$$\Delta P = \Delta P_n \left(\frac{Q}{Q_n} \right)^2, \quad (2.22)$$

где Q_n – верхний предел измерения дифманометра-расходомера;
 Q – показание по шкале дифманометра на поверяемой отметке.

Основную погрешность дифманометров следует определять не менее чем при пяти значениях перепада давления (в пяти точках по шкале), равномерно распределенных в диапазоне измерений, в том числе на отметках, соответствующих 30 % и 100 % предельного перепада давления. Приборы поверяют вначале при плавно возрастающем, а затем при плавно убывающем перепаде давления.

В любой из поверяемых отметок основная погрешность дифманометра не должна превышать значений указанных в таблице 2.3

Таблица 2.3

Класс точности	Приведенная погрешность
0,6	$\pm 0,6$ % нормируемого значения
1,0	$\pm 1,0$ % нормируемого значения
1,5	$\pm 1,5$ % нормируемого значения
2,5	$\pm 2,5$ % нормируемого значения
4,0	$\pm 4,0$ % нормируемого значения

За нормируемое значение принимают:

1) верхний предел измерений по расходу – для дифманометров-расходомеров с равномерной по расходу шкалой либо с прямо пропорциональным расходу выходным сигналом;

2) предельный номинальный перепад давления – для дифманометров-расходомеров с неравномерной по расходу шкалой или выходным сигналом, пропорциональным перепаду давления, а также для дифманометров-уравнемеров, у которых номинальный перепад давления может принимать только положительное значение.

Вариация показаний в каждой поверяемой точке шкалы не должна превышать абсолютного значения предела допускаемой основной погрешности.

На дифманометры, прошедшие поверку и удовлетворяющие всем требованиям ТНПА, выдается свидетельство установленной формы.

2.5 Манометры с упругими чувствительными элементами технические и эталонные

2.5.1 Деформационные манометры

Деформационные (пружинные) манометры получили наиболее широкое распространение для измерения давления во всех отраслях промышленности. Они обеспечивают достаточно высокую для технических целей точность измерений в широком диапазоне давлений и разрежений: от 40 кПа до 4000 МПа. Кроме того, эти манометры характеризуются портативностью, простотой конструкции и применения, а также неприхотливостью и надежностью в эксплуатации.

2.5.2 Манометры с одновитковой трубкой

Принцип работы манометра основан на уравнивании усилия, возникающего под действием измеряемого давления, силой упругости чувствительного элемента прибора. Чувствительные элементы приборов могут быть различных типов. Простейшим и наиболее распространенным является одновитковая пружина (одновитковая трубка). Схема одновиткового чувствительного элемента показана на рисунке 2.9.

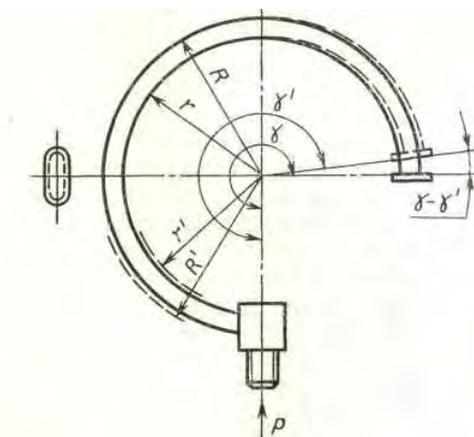


Рисунок 22.9

Трубка изогнута на некоторый угол $\gamma = 180\text{--}300^\circ$. Один конец ее запаян, а другой соединен со штуцером, с помощью которого внутренняя полость трубки сообщается с областью, где измеряется давление. Под воздействием избыточного давления, подведенного к внутренней полости, трубка распрямляется, а перемещение ее свободного конца вызывает перемещение стрелки прибора, соответствующее измеряемому давлению. Распрямление трубки ($\gamma\text{--}\gamma'$) происходит обычно на угол не более 15° . Сечение трубки овальное, меньшая ось овала направлена по радиусу изгиба. Овальность сечения является причиной того, что она стремится распрямиться при повышении давления внутри нее.

Трубка манометра как чувствительный элемент прибора при работе то распрямляется, когда давление повышается, то принимает свое первоначальное положение, когда давление снимается. Деформация трубки должна быть упругой. Остаточная деформация недопустима, так как стрелка прибора в этом случае не вернется на нулевую отметку.

Упругие свойства трубки манометра зависят от многих факторов и прежде всего от физических свойств материала и рабочего давления, назначаемого трубке. При конструировании манометров рабочее давление (верхний предел измерения манометра) назначают с учетом предела пропорциональности материала трубки. Известно, что деформация трубки будет прямо пропорциональна измеряемому давлению только до определенного предела, называемого пределом пропорциональности, а дальнейшее повышение давления приведет к появлению остаточной деформации трубки.

Практикой применения манометрических трубок установлено, что для

надежной работы прибора в соответствии с классом его точности необходимо, чтобы верхний предел измеряемого давления был менее предела пропорциональности: для технических манометров в 1,5–2 раза, а для образцовых в 3–4 раза. При этом учитывают также и запас прочности, который нужно дать трубке, принимая во внимание возможную "усталость" материала трубки от многократного ее сгибания и разгибания в процессе длительной работы прибора. Этими факторами обусловлены рекомендации по подбору манометров для эксплуатации во 2/3 шкалы (от 25 % до 75 %).

Кроме того, всякий материал при снятии действующей на него нагрузки имеет так называемое упругое последствие, выражающееся в том, что деформация материала исчезает не сразу, а спустя некоторое время. Это время для различных трубок манометров может составлять от нескольких минут до нескольких часов. И стрелка прибора может возвратиться на нуль не сразу же после снятия давления, а лишь через некоторое время. Это явление называют также гистерезисом.

При изготовлении трубок манометров учитывают наличие упругого последствия. У манометров, рассчитанных на высокие давления, нулевую отметку шкалы смещают в сторону большего давления и рядом с ней устанавливают упор, не позволяющий стрелке дойти до истинного нуля. На технических манометрах при снятии давления стрелка прибора может не доходить до упора на расстояние, равное допускаемой погрешности, а у приборов без упора – на расстояние, не превышающее допускаемой погрешности выше или ниже нулевой отметки.

Учитывая сказанное выше о работе и конструировании манометров, следует особо подчеркнуть требования ГОСТ 2405–88 к выбору манометра для данного рабочего места, включенные в указанный ТНПА в целях обеспечения большей точности измерений.

Механизмы передачи от чувствительного элемента к стрелке прибора бывают двух типов: секторный (рисунок 2.10, б) и рычажный (рисунок 2.10, а).

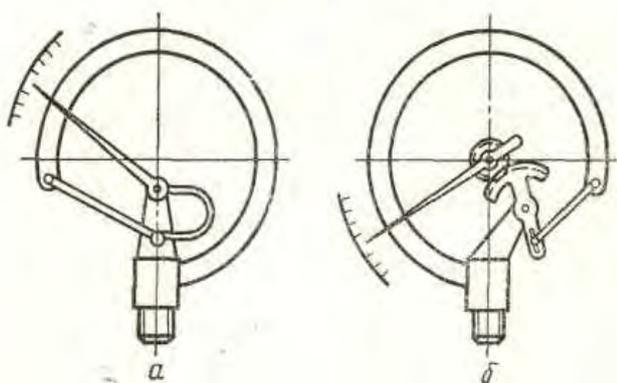


Рисунок 1.10

Секторный механизм получил большее распространение, так как он применим в манометрах всех классов точности. Шкала прибора с таким механизмом обычно круговая (270–300)°. В хвостовой части зубчатого сектора имеется паз; перемещением в нем конца тяги можно регулировать ход стрел-

ки манометра.

Приборы с рычажным механизмом выпускают более низких классов точности (1,5; 2,5; 4). Шкала такого прибора составляет лишь $(90-100)^\circ$. Ход стрелки регулируется изгибанием рычага. Приборы с рычажным механизмом имеют свои преимущества: для них характерны простота конструкции и регулировки, меньшая чувствительность прибора к вибрации по сравнению с приборами с секторным механизмом передачи, небольшая стоимость прибора. В связи с меньшей чувствительностью к вибрации такие манометры получили распространение на транспортных установках.

Манометры, вакуумметры и мановакуумметры с чувствительным элементом в виде одновитковой трубки изготавливают в соответствии с ГОСТ 2405-88.

По устойчивости к воздействию температуры при относительной влажности окружающего воздуха от 30 % до 80 % приборы изготавливают для эксплуатации в условиях: I группа – от -50°C до $+60^\circ\text{C}$; II группа – от -30°C до $+50^\circ\text{C}$; III группа – от $+5^\circ\text{C}$ до $+50^\circ\text{C}$; IV группа – от $+10^\circ\text{C}$ до $+35^\circ\text{C}$.

Эталонные приборы предназначены для работы при температуре окружающего воздуха от 10°C до 35°C и относительной влажности не более 80 %.

2.5.3 Виды чувствительных элементов манометров с упругими чувствительными элементами

Чувствительные элементы манометров могут представлять собой не только рассмотренную выше одновитковую трубку.

Многовитковая трубка (рисунок 1.11) в качестве чувствительного элемента позволяет во многих случаях обеспечить большее перемещение ее свободного конца под воздействием давления, а значит, и увеличить ход стрелки и повысить точность показаний прибора.

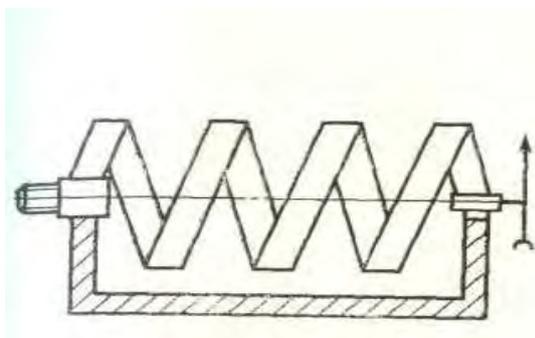


Рисунок 2.11



Рисунок 2.12

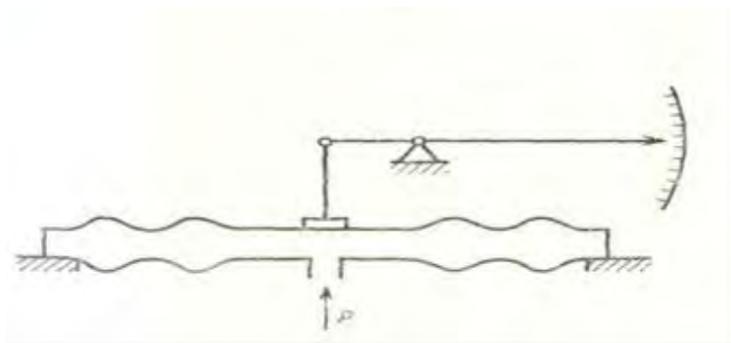


Рисунок 2.13



Рисунок 2.14

Довольно часто в качестве чувствительного элемента используют мембраны. На рисунок 2.12 дана схема мембранного манометра, а на рисунке 2.13 – схема тягонапоромера с коробчатой мембраной.

Мембранные манометры в основном изготавливают для измерения избыточного давления не более (2,5–4,0) МПа. Перегрузка этих приборов, даже относительно небольшая, может привести к порче или разрушению мембраны. Классы точности выпускаемых мембранных приборов: 1,5; 2,5; 4. Эти приборы удобны для измерения давлений в жидкостях с большой вязкостью, поэтому в штуцере прибора имеется довольно широкое входное отверстие. Мембранные приборы часто применяют также для измерения давления химически агрессивных жидкостей, так как внутреннюю полость такого манометра легко покрыть антикоррозийным слоем.

Сильфон при измерении давления деформируется больше, чем мембрана, поэтому угол поворота указательной стрелки прибора с сильфоном (рисунок 1.14) больше. Верхние пределы измерения приборов с сильфонами чаще 0,6-1,0 МПа, классы точности 1,5; 2,5; 4.

2.5.4 Поверка манометров с упругими чувствительными элементами технических

2.5.4.1 Подготовка и условия поверки

Температура поверяемого прибора и окружающего воздуха должна быть равна 20 °С или 23 °С СТБ 8056-2015 устанавливает допустимые отклонения температуры от 20 °С ± 2 °С для приборов класса точности 0,4 и 0,6, 1; ± 5 °С для приборов класса точности 1,5; 2,5; 4. Относительная влажность окружающего воздуха должна быть не более 80 %.

Перед поверкой прибор следует выдерживать в нерабочем состоянии не менее 12 ч при указанной выше температуре окружающей среды в лаборатории, при разнице температур воздуха более 10 °С (в лаборатории и местом, откуда внесли прибор); 1 ч - от 1 °С до 10 °С; при разнице менее 1 °С – выдержка не требуется.

При поверке прибор должен быть присоединен к устройству для созда-

ния давления и находиться в рабочем положении в соответствии с имеющимся на нем обозначением. При отсутствии обозначения прибор следует поверять в положении, при котором плоскость его циферблата располагается вертикально (допускаемое отклонение 5° , если иное не оговаривается в рекомендациях завода-изготовителя).

Устройство для создания давления должно обеспечивать возможность плавного повышения и понижения давления, а также постоянство его значения при отсчете показаний и выдержке приборов под давлением, равным верхнему пределу измерений.

Торец штуцера поверяемого прибора и торец штуцера образцового пружинного прибора (или нижний торец поршня грузопоршневого прибора) должны находиться в одной горизонтальной плоскости либо должно быть учтено давление, создаваемое столбом рабочей среды.

Приборы с обозначением на шкале знака ! ("Внимание") следует поверять только по представлению с прибором технической документации, сопровождающей прибор. При отсутствии документов приборы на поверку не принимают.

При поверке сличают показания поверяемого прибора и эталонного. В качестве эталонного может быть использован грузопоршневой манометр, образцовый деформационный (пружинный) манометр, эталонный цифровой манометр.

При выборе эталонного прибора необходимо соблюдать следующие требования:

а) верхний предел измерений эталонного прибора должен быть не меньше верхнего предела измерений поверяемого прибора;

б) предел допускаемой основной абсолютной погрешности эталонного прибора должен быть не более $1/4$ предела допускаемой основной абсолютной погрешности поверяемого прибора.

1.5.4.2 Методы и средства поверки

На рисунке 1.15 дана схема установки для поверки технического деформационного манометра 3 в случае, когда в качестве эталона взят грузопоршневой манометр 1 (на рисунок 2.15: 2 – сосуд для рабочей жидкости; 4 – пресс).

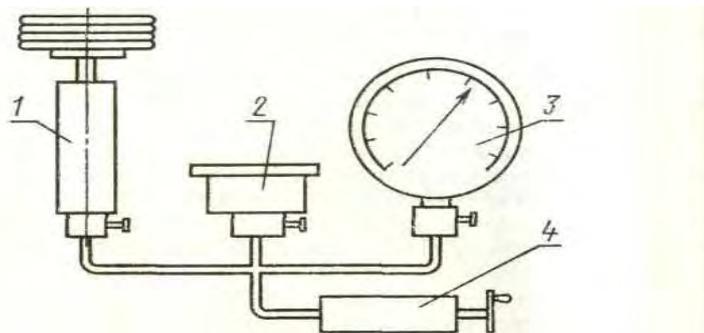


Рисунок 2.15

2.5.4.3 Операции поверки

➤ **Внешний осмотр.** Поверяемый прибор должен быть в исправном состоянии и не иметь очагов коррозии, повреждений и загрязнений корпуса, штуцера, стекла, циферблата и стрелки.

Защитное покрытие деталей прибора не должно быть повреждено. Соединение корпуса с держателем должно быть прочным, не допускающим качания корпуса. Стекло и шкала не должны иметь дефектов, препятствующих правильному отсчету показаний. Стрелка должна перекрывать самые короткие деления шкалы.

Приборы, забракованные при внешнем осмотре, дальнейшей поверке не подлежат.

➤ **Определение погрешности и вариации.** При поверке используют один из двух способов:

- заданное действительное давление устанавливают по эталонному прибору, а показание отсчитывают по поверяемому прибору;
- стрелку поверяемого прибора устанавливают на поверяемую отметку шкалы, а действительное значение давления отсчитывают по эталонному прибору.

Отсчеты показаний приборов при поверке округляют до 0,1 (допустимо 0,25 при невозможности отсчета до 0,1) цены деления шкалы. Вибрация не должна вызывать размах колебаний стрелки или пера, превышающий 0,1 цены деления шкалы.

Для устранения параллакса при отсчете показаний глаз наблюдателя должен находиться на линии, проходящей через указательный конец стрелки перпендикулярно к поверхности циферблата. Если стрелка имеет ножевой указательный конец, линия, на которой находится глаз наблюдателя, должна лежать в плоскости лезвия ножа.

Отсчеты показаний приборов (СТБ 8056-2015) класса точности 0,6 следует снимать не менее чем при восьми значениях давления; для класса точности 0,4 – рекомендуется отсчеты на всех оцифрованных значениях давления; классов точности 1; 1,5; 2,5; 4 – не менее чем при пяти значениях давления (включая нулевое значение при атмосферном давлении и при давлении, равном верхнему пределу измерения). Эти значения давления (поверяемые отметки) должны быть распределены равномерно в пределах всей шкалы.

При поверке прибора давление плавно повышают и снимают отсчет показаний, затем прибор выдерживают в течение 5 мин под давлением, равным верхнему пределу измерений. После этого продолжают поверку прибора, плавно понижая давление, отсчитывая показания при тех же значениях.

Выдерживать манометр в течение 5 мин при давлении, равном верхнему пределу измерений, необходимо для выявления упругого последствия чувствительного элемента прибора.

Движение стрелки при ее прямом и обратном ходе в пределах всей шкалы должно происходить плавно, без заеданий и скачков. Стрелка при своем передвижении не должна касаться циферблата и стекла прибора. Указательный конец стрелки прибора на протяжении всей шкалы должен перекрывать самые короткие отметки шкалы на величину, установленную в стандарте на поверяемый прибор.

Основную абсолютную погрешность приборов следует определять, как разность между показанием прибора и действительным значением измеряемого давления, определяемым по эталонному прибору.

Полученные значения основных абсолютных погрешностей поверяемого прибора на любой отметке шкалы как при прямом, так и при обратном ходе стрелки не должны превышать:

- для приборов, находящихся в эксплуатации, предела допускаемой основной абсолютной погрешности Δ ;

- для приборов, выпускаемых из ремонта, $0,8\Delta$.

Вариация показаний поверяемого прибора (разность показаний при прямом и обратном ходе) для каждой поверяемой отметки шкалы не должна превышать:

- для приборов, находящихся в эксплуатации, Δ ;

- для приборов, выпускаемых из ремонта, $-0,8\Delta$.

При снижении давления до нуля после поверки прибора (в том числе приборов, имеющих корректор нуля) стрелка должна находиться на нулевой отметке шкалы – допускаемое отклонение установлено в стандарте на поверяемый прибор.

Положение стрелки у нулевой отметки определяют после того, как прибор снят с устройства для создания давления и при нахождении прибора в рабочем положении.

При положительных результатах поверки на прибор наносят поверительное клеймо.

При отрицательных результатах поверки прибор изымают из эксплуатации и выписывают извещение о его непригодности установленного образца. Прежнее поверительное клеймо на приборе следует погасить.

2.5.5 Поверка манометров с упругими чувствительными элементами эталонных с условной шкалой

2.5.5.1 Подготовка и условия поверки

Температура окружающего воздуха при поверке должна быть 20 ± 2 °С для манометров класса точности 0,15; 0,25 и 20 ± 5 °С для манометров класса точности 0,4.

Температура окружающего воздуха при поверке или градуировании (при отсутствии паспорта) должна быть от 20 °С до 23 °С.

Относительная влажность – не более 80 %.

Прибор необходимо предварительно выдержать в нерабочем положении (без давления) не менее 24 ч, в том числе при температуре окружающей среды, требуемой для поверки, не менее 12 ч при разнице температур воздуха в помещении для поверки и местом, откуда вносится прибор более 10 °С и 1 час при разнице температур воздуха в помещении для поверки и местом, откуда вносится прибор от 1 °С до 10 °С.

2.5.5.2 Методы и средства поверки

Нормативно-техническим документом, определяющим порядок поверки, является СТБ 8057-2015.

Для работы необходимы следующие средства поверки:

- эталонный грузопоршневой манометр класса точности 0,02 или 0,05;
- термометр, обеспечивающий измерение температуры от 15 до 25 °С, погрешность которого не более $\pm 0,2$ °С (при применении гигрометра М19);

- термогигрометр ИВА-6В2 или др. с верхним пределом относительной влажности 98 или 100 %.

При выборе грузопоршневого манометра для проведения поверки необходимо соблюдать следующие требования

$$P_{\text{обр}} \geq P_{\text{пов}} \text{ и } |\Delta_{\text{обр}}| \leq 0,25|\Delta_{\text{пов}}|, \quad (2.23)$$

где $P_{\text{обр}}$; $P_{\text{пов}}$ – верхние пределы измерений соответственно эталонного прибора и поверяемого;

$\Delta_{\text{обр}}$; $\Delta_{\text{пов}}$ – пределы допускаемой основной абсолютной погрешности соответственно эталонного и поверяемого приборов.

Допускается, как исключение по согласованию с органами Госстандарта применять для поверки приборов класса точности 0,15 грузопоршневые манометры класса точности 0,05,

Схема установки для поверки образцового деформационного манометра показана выше на рисунке 2.15.

2.5.5.3 Операции поверки

➤ **Внешний осмотр.** Прибор, представляемый на поверку, должен быть в исправном состоянии, не иметь повреждений корпуса, присоединительного штуцера, стрелки и стекла, затрудняющих нормальную эксплуатацию прибора.

Защитное покрытие циферблата не должно иметь трещин или отслаиваний, а также дефектов, препятствующих правильному отсчету показаний. Поверяемый прибор должен иметь маркировку в соответствии с тем стандартом, по которому он выпущен. Стекло или другой прозрачный материал, предохраняющий отсчетное устройство, не должен иметь цветной окраски, загрязнений и дефектов.

Прибор не должен иметь ограничителя, препятствующего перемещению стрелки на нулевую отметку шкалы.

➤ **Опробование.** При проведении опробования должно быть установлено соответствие прибора следующим требованиям:

– соединение корпуса с держателем должно быть прочным, не допускающим качания корпуса;

– корректор нуля должен обеспечивать перемещение стрелки не менее чем на 2 условные единицы шкалы в каждую сторону от нулевой отметки шкалы и 4 условные единицы шкалы в каждую сторону после изготовления или ремонта (данное требование -"4 условные единицы шкалы..."- отсутствует в СТБ 8057-2015).

➤ **Определение метрологических характеристик.** Метрологические параметры приборов, представляемых на градуирование, определяют при проведении двух серий наблюдений; на периодическую поверку, определяют при проведении одной серии наблюдений.

Проверяемые точки шкалы должны полностью соответствовать точкам предыдущей поверки или градуирования.

Наблюдения проводят без перерыва между сериями.

Метрологические параметры эталонных приборов классов точности 0,15; 0,25 и 0,4 необходимо определять не менее чем при восьми значениях давления, равномерно распределенных в пределах всей шкалы поверяемого прибора. Рекомендуемое число точек поверки для приборов с различными верхними пределами измерения:

– манометры на давление 0,6 или 6,0 МПа рекомендуется поверять в 13 точках, а манометры на давление 1,6 и 16 МПа – в 9 точках.

Перед началом наблюдений стрелку необходимо установить корректором на нулевую отметку. Заданные значения давления устанавливаются по грузопоршневому прибору при плавном повышении давления, затем поверяемый прибор выдерживают не менее 5 мин. (если это время не оговорено в свидетельстве о предыдущей поверке) под давлением, равным его верхнему пределу измерения, и плавно понижают давление, устанавливая те же заданные его значения. Продолжительность нахождения поверяемого прибора под давлением в процессе одного цикла его повышения или понижения не должна превышать 1 ч, в том числе под давлением свыше 70 % верхнего предела измерения — должна составлять не более 30 мин.

Смещение стрелки, вызванное легким однократным постукиванием пальцем по боковой поверхности прибора в направлении, параллельном плоскости шкалы в каждой поверяемой точке, определяют как разность показаний прибора до и после постукивания. При этом не менее 85 % полученных разностей не должны превышать значений, указанных в табл.2 и 4 СТБ 8057-2015.

При повышении и понижении давления стрелка в пределах всей шкалы должна перемещаться без заеданий и без скачков, превышающих 0,5 предела основной допускаемой погрешности.

Показания поверяемого прибора отсчитывают в каждой поверяемой

точке шкалы как при повышении, так и при понижении давления с точностью до 0,1 деления шкалы. Показания отсчитывают после установления заданного давления по эталонному прибору.

При поверке приборов, снабженных таблицей температурных поправок, должны быть учтены поправки к их показаниям. Значения поправок берут со знаком "плюс", при температуре окружающего воздуха менее 20 °С и со знаком "минус" при температуре более 20 °С.

Положение стрелки прибора при давлении, соответствующем верхнему пределу измерения, не должно выходить за допускаемые пределы (см. таблицу 4 СТБ 8057-2015). Положение стрелки следует определять после введения в показания поверяемого прибора температурной поправки.

Размах показаний прибора для каждой точки шкалы определяют как разность между наибольшим и наименьшим показаниями из всех проведенных серий наблюдений при повышении и отдельно при понижении давления.

Основную погрешность прибора определяют как разность между средними значениями показаний и значениями давления в условных единицах, указанными в свидетельстве о последней поверке прибора. Основная погрешность прибора не должна превышать предела допускаемой основной погрешности (см. таблицу 2 СТБ 8057-2015).

Вариацию показаний для каждой точки шкалы определяют как разность между средними значениями, полученными при повышении давления и отдельно при понижении давления.

Значения интервалов давления в условных единицах определяют как разность между средними значениями наказаний в двух соседних поверяемых точках шкалы. Разность значений двух любых соседних интервалов не должна превышать 10 % наибольшего значения интервала.

Результаты наблюдений при поверке заносят в протокол, форма которого утверждена СТБ 8057-2015.

По результатам наблюдений приборам присваивают класс точности, но не выше класса точности, указанного в свидетельстве о последней поверке (градуировки) прибора.

При несоответствии поверяемого прибора любому из выше изложенных требований соответствующую операцию повторяют, после чего (если по-прежнему нет соответствия) прибор забраковывают.

На манометры, признанные при поверке годными, органы Госстандарта выдают свидетельство установленной формы, в котором указывают класс точности прибора и приводят показания прибора в условных единицах при действительных значениях давления в поверенных точках.

При отрицательных результатах поверки приборы к применению не допускаются. Ранее выданное свидетельство аннулируют.

2.6 Жидкостные манометры

Впервые начали измерять давление и разрежение жидкостными при-

борами. В основе их работы лежит простой и надежный гидростатический принцип: сила измеряемого давления уравнивается весом столба жидкости соответствующей высоты. Простота конструкции и достаточно высокая точность измерений обеспечивают широкое применение жидкостным приборам и в настоящее время.

2.6.1 Микроманометр с наклонной трубкой

Для большей точности измерения малых давлений и разрежений применяют специальные приборы – микроманометры.

Микроманометр с наклонной трубкой типа ММН является разновидностью однотрубного манометра с трубкой, наклоненной к горизонту под углом α (рисунок 2.16). Шкала расположена вдоль наклонной трубки.

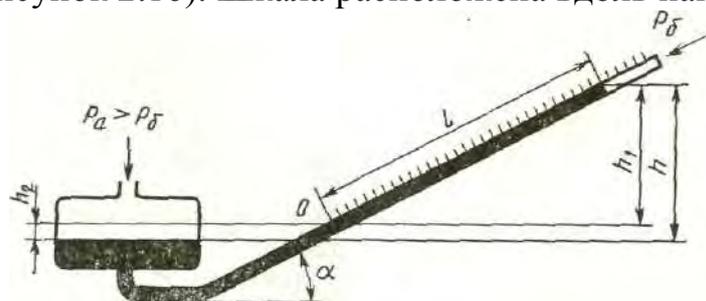


Рисунок 2.16

Применение наклонной трубки повышает точность измерения высоты столба жидкости, а значит, и точность измерения давления (или разрежения). Действительно, $h_1 = l \sin \alpha$, а поэтому погрешность измерения h_1 в $l/\sin \alpha$ раз меньше погрешности, получаемой при измерении l по шкале прибора. Причем, чем больше наклон трубки (меньше угол α), тем точнее, измеряет прибор. Однако при очень больших наклонах мениск жидкости растягивается за счет сил сцепления со стеклом, и погрешность измерения может возрасти. Считается предельным $\sin \alpha = 0,1$ ($\alpha \approx 6^\circ$).

Уравнение измерения для микроманометра

$$P = l\gamma(\sin \alpha + \frac{1}{m}) \quad \text{или} \quad (2.24)$$

$$P = l\rho g(\sin \alpha + \frac{1}{m}) \quad (2.25)$$

Отношение $1/m$, как и в уравнении измерения для однотрубного манометра, учитывает погрешность измерения из-за понижения уровня жидкости в сосуде на h_2 .

Если обозначить

$$k = \gamma(\sin \alpha + \frac{1}{m}), \quad \text{то} \quad (2.26)$$

$$P = kl. \quad (2.27)$$

Величину k называют постоянной наклона, а в маркировочной таблице прибора указывается удельный вес γ жидкости, заливаемой в прибор.

У микроманометров типа ММН можно устанавливать различный угол

наклона трубки. Трубка такого манометра соединяется резиновым шлангом с сосудом, а на основании манометра имеется установочная дуга, по которой устанавливают необходимый угол наклона α . Обычно на установочной дуге отмечено пять точек для различных углов наклона. Возле каждой точки указано значение постоянной наклона.

Точность измерения микроманометром с наклонной трубкой зависит от точности установки угла наклона по отношению к горизонту, поэтому при работе необходимо основание прибора установить в строго горизонтальное положение. Для этого микроманометры всегда снабжены одним или несколькими уровнями.

Микроманометры с наклонной трубкой выпускают классов точности 0,6 и 1,0.

2.6.2 Компенсационный микроманометр

Микроманометр типа МКВ (рисунок 2.17) имеет подвижный и неподвижный 5 сосуда, заполненные водой и соединенные между собой шлангом 7 из вакуумной резины. Подвижный сосуд можно устанавливать на различной высоте с помощью микрометрического винта 2. Высоту подъема сосуда измеряют по шкале 4, расположенной вдоль винта, а более точный отсчет (до 0,01 мм) выполняют с помощью измерительной головки 3 винта. Неподвижный сосуд представляет собой горизонтально расположенный цилиндр, торцевые стенки которого прозрачны. Для наблюдения за уровнем жидкости в нем имеется оптическая система. Внутри сосуда установлен полуконус 6, острием направленный к уровню жидкости.

Перед измерением прибор устанавливают на нуль. После подключения намеряемого давления подвижный сосуд поднимают до тех пор, пока уровень жидкости в неподвижном сосуде не возвратится снова на нуль. Высота подъема подвижного сосуда соответствует измеряемому давлению.

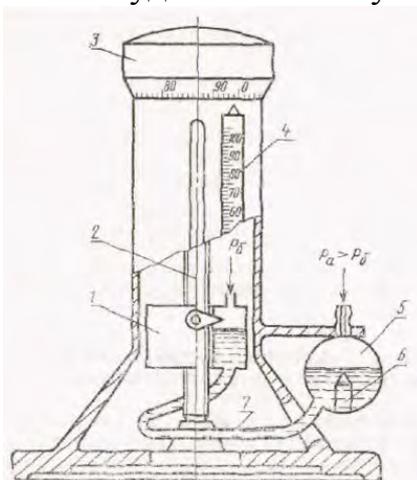


Рисунок 2.17

Приборы типа МКВ выпускают классов точности 0,01; 0,02 и 0,1 (ГОСТ.8.302-78).

2.6.3 Поверка жидкостных манометров

Под термином "поверка" подразумевается весь комплекс операций, которые необходимо проделать для установления соответствия прибора требованиям нормативной документации (ТНПА), определения погрешности его показаний, а также пригодности для целей измерения.

2.6.4 Подготовка и условия поверки

Прибор поверяют при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, а колебания температуры в процессе поверки не должны превышать $(0,5—1)^\circ\text{C}$ (в зависимости от класса точности прибора). Перед поверкой следует убедиться, что измерительная трубка не загрязнена и прибор заполнен соответствующей рабочей жидкостью.

2.6.5 Операции поверки

➤ **Внешний осмотр.** Его цель – обнаружить явно выраженные видимые дефекты прибора. В рабочем состоянии измерительная трубка должна быть прозрачной и без пороков, мешающих отсчету показаний, на металлических частях прибора нет следов коррозии, подвижные части прибора перемещаются плавно, без заеданий, резиновые соединения в хорошем состоянии, прибор снабжен уровнями для установки его в рабочее положение и заводской маркировочной таблицей.

➤ **Герметичность.** Проверяют путем создания в приборе давления, равного верхнему пределу его измерения. Если в течение 5 мин показания прибора не изменяются, прибор считается герметичным.

➤ **Соответствие цены деления уровня требуемой точности показаний прибора (для микроманометров с наклонной трубкой).** Определяют сравнением показаний прибора при среднем положении пузырька уровня и при смещении пузырька уровня вправо или влево на одно деление. При этом в приборе должно быть создано давление, близкое к верхнему пределу измерения, а трубка должна быть установлена в положение, соответствующее наименьшему углу наклона. Разность показаний прибора не должна превышать 0,1 % верхнего предела измерения.

Шкалу прибора поверяют с помощью штрихового метра 2-го разряда и отсчетного микроскопа. Поверке подлежат миллиметровые и сантиметровые деления (по 5 делений), а также длина от любой отметки до более удаленного конца шкалы (выполняют 10 замеров). Погрешность нанесения делений не должна превышать допусковых значений, указанных в инструкции по поверке.

Поверку показаний прибора выполняют путем сравнения его показаний с действительным давлением, устанавливаемым по образцовому прибору. В качестве образцового может быть использован прибор, погрешность показа-

ний которого в четыре раза меньше, чем у поверяемого

$$\Delta_{обр} \leq \frac{1}{4} \Delta_{пов}, \quad (2.28)$$

где $\Delta_{обр}$; $\Delta_{пов}$ — соответственно основная абсолютная допускаемая погрешность эталонного и поверяемого приборов.

Показания сравнивают не менее чем в пяти точках (не считая нуля), равномерно расположенных по всей шкале прибора, при плавном повышении давления и в тех же точках при понижении давления. Отсчеты показаний записывают в протокол, форма которого дана в инструкции 7 - 63.

Микроманометры с наклонной трубкой поверяют при всех значениях постоянной наклона. Перед началом поверки мениск жидкости поверяемого прибора следует установить на нуль шкалы.

Погрешность показаний поверяемого прибора, найденная как разность показаний поверяемого и эталонного приборов, ни в одной из поверяемых точек как при прямом, так и при обратном ходе не должна превышать допускаемой погрешности ($\Delta_{пов}$), найденной по классу точности прибора.

Приборы, удовлетворяющие требованиям инструкции по всем операциям поверки, признаются годными.

2.7 Дополнительные указания по поверке манометров с сигнальными устройствами (с электроконтактами), изготавливаемых по ГОСТ.2405-88

Такие приборы изготавливают с замыкающими и размыкающими контактами сигнального устройства, которые устанавливают на срабатывание при верхнем и нижнем заданных значениях давления.

Погрешность и вариацию показаний таких манометров определяют одним из способов, описанных выше, при отведенных сигнальных стрелках за пределы шкалы.

Кроме того, необходимо определять погрешность и вариацию срабатывания сигнального устройства.

Минимальный регулируемый диапазон установки между заданными значениями давления, при которых срабатывает сигнальное устройство, должен быть не более трехкратного значения основной допускаемой погрешности прибора.

Погрешность срабатывания сигнального устройства, определяемая как разность между показанием сигнальной стрелки и действительным значением давления, при котором происходит срабатывание, не должна превышать $\pm 1,6$ % верхнего предела измерения для класса точности 1; $\pm 2,5$ % для класса 1,6 и ± 4 % для класса 2,5, если иное не оговаривается в рекомендациях завода-изготовителя.

Вариация срабатывания сигнального устройства не должна превышать абсолютной величины основной допускаемой погрешности срабатывания.

Контактная система сигнального устройства должна быть рассчитана на рабочее напряжение 230 В постоянного или переменного тока.

Сигнальное устройство проверяют следующим образом.

Проводники, идущие от контактов сигнального устройства прибора, присоединяют к источнику тока и к сигнальным лампочкам (или мультиметру). Сигнальную стрелку нижнего предела выводят за начальную отметку шкалы, а сигнальную стрелку верхнего предела устанавливают на одной из числовых отметок в первой трети шкалы. После этого плавно повышают давление до появления светового сигнала, фиксируя давление по эталонному прибору и положение стрелки прибора по шкале. Затем давление повышают на величину, соответствующую трем делениям шкалы проверяемого прибора, и плавно снижают его до исчезновения светового сигнала. В момент исчезновения светового сигнала по образцовому прибору фиксируют давление и положение стрелки по шкале прибора.

Аналогичные операции повторяют в средней части шкалы и на одной из числовых отметок в последней трети шкалы прибора.

Погрешность срабатывания сигнального устройства определяют как разность между давлением, на которое установлена сигнальная стрелка, и действительным давлением, при котором произошло срабатывание сигнального устройства (появление или исчезновение светового сигнала).

Таким же образом проверяют сигнальное устройство нижнего предела, при этом сигнальную стрелку верхнего предела предварительно выводят за конечную отметку шкалы.

Вариацию срабатывания сигнального устройства определяют как разность давлений по эталонному прибору при замыкании и при размыкании электрической цепи.

Прочность электрической изоляции прибора проверяют на специальной установке мощностью не менее 0,25 кВ·А на стороне высокого напряжения. Испытательное напряжение следует включать между выходными зажимами испытуемой цепи и корпусом прибора.

Сопротивление изоляции прибора проверяют мегомметром номинальным напряжением 500 В.

2.8 Преобразователи давления

Развитие измерительной техники за последние десятилетия убедительно показало, что наиболее удобным является такое преобразование различных измеряемых величин, результат которого представлен не в виде механического перемещения, а в виде электрической величины. Тогда для всех последующих операций, будь то передача, регистрация, математическая обработка или управление, может быть использована стандартная электрическая аппаратура, обладающая целым рядом существенных преимуществ.



Рисунок 2.18

Прогресс в электротехнике и грандиозные успехи электроники привели к тому, что в настоящее время фактически все измерения проводятся "в электрической области". Для измерения неэлектрических величин применяют различные преобразователи, осуществляющие их преобразование в электрический сигнал. Электрический сигнал - это переменная составляющая тока или напряжения, которая несет информацию, связанную с измеряемой величиной. Амплитуда и частота сигнала должны быть

непосредственно связаны с амплитудой или частотой измеряемой величины.

Основными преимуществами электрических методов измерительного преобразования разнообразных величин являются следующие:

- возможность высокоточных измерительных преобразований при сравнительно простых и дешевых электронных устройствах;
- высокая чувствительность и простота регулировки электрических сигналов в электронных средствах измерения (СИ), что обеспечивает измерение физических величин в широком диапазоне значений измеряемой величины;
- малая инерционность электрических цепей и устройств, их широкополосность, позволяющие производить преобразование как очень медленных, так и достаточно быстрых процессов;
- возможность бесконтактных и дистанционных измерительных преобразований на значительном расстоянии от оператора и при большом количестве разнородных по физической природе и разнесенных в пространстве объектов с передачей информации по проводным и радиоканалам связи;
- относительная простота преобразования и возможность представления информации в аналоговой или цифровой форме, позволяющая автоматизировать процесс измерения и управлять им. Полученные данные можно использовать для управления контролируемым процессом, для дальнейшей обработки и автоматической регистрации результатов, т.е. возможно решение комплексных задач измерения, контроля и управления путем создания различных систем, в том числе с использованием электронно-вычислительных машин и ПК;
- возможность комплектования измерительных и управляемых ими автоматических устройств из блоков однотипной электрической аппаратуры, что имеет важнейшее значение как для научного, так и для промышленного оборудования;
- сведение к минимуму количества механических, гидравлических и т.п. элементов повышает надежность и технологичность изготовления СИ;
- минимальные габариты и вес при большой плотности элементов;
- широкие возможности для унификации, стандартизации и агрегатирования СИ.



Рисунок 2.19

Измерительный преобразователь (ИП) - это средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Другими словами, измерительный преобразователь - это техническое устройство, построенное на определенном физическом принципе или эффекте, выполняющее одно частное измерительное преобразование.

В общем случае по виду входных и выходных физических величин ИП можно подразделить на преобразователи неэлектрических величин в неэлектрические, неэлектрических величин в электрические, электрических величин в электрические, электрических величин в неэлектрические.

По месту расположения в измерительной цепи различают первичные, промежуточные и передающие преобразователи. Выделяют также масштабные измерительные преобразователи.

Первичный измерительный преобразователь - измерительный преобразователь, на который непосредственно воздействует измеряемая физическая величина, т.е. первый преобразователь в измерительной цепи измерительного прибора.

Датчик – конструктивно обособленный первичный измерительный преобразователь, от которого поступают сигналы измерительной информации.

Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от средства измерения, принимающего его сигналы.

Различие между генераторными и параметрическими преобразователями обусловлено их эквивалентными электрическими схемами, отражающими фундаментальные отличия в природе используемых в преобразователях физических явлений. Генераторный преобразователь является источником непосредственно выдаваемого электрического сигнала, а измерение изменений параметров параметрического преобразователя производится косвенно, по изменению тока или напряжения в результате его обязательного включения в схему с внешним источником питания. Электрическая схема, непосредственно связанная с параметрическим преобразователем, формирует его сигнал. Таким образом, совокупность параметрического преобразователя и электрической схемы является источником электрического сигнала.



Рисунок 2.20

2.8.1 Подготовка и условия поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха (20 или 23 ± 2) °С, если иные требования не оговариваются ТНПА;
- относительная влажность окружающего воздуха от 30% до 80 %;
- давление в помещении, где проводят поверку (далее – атмосферное давление) от 84 до 106,7 кПа;

Колебания давления окружающего воздуха, влияющие на результаты сравнения выходного сигнала поверяемого преобразователя и соединенного с ним эталонного СИ, должны отсутствовать; в случаях, когда это позволяет конструкция поверяемого преобразователя и эталонного СИ (например, для преобразователей разности давления), влияние этих колебаний может быть существенно уменьшено, для чего камеры поверяемого преобразователя и эталонного СИ, соединяющие с атмосферой, следует соединить между собой. Импульсную линию, через которую подают измеряемое давление, допускается соединять с дополнительными емкостями, вместимость каждой из которых должна находиться в пределах от 1 до 50 литров. Влияние колебаний давления окружающего воздуха может быть также снижено при использовании образцовых задатчиков с опорным давлением;

Вибрация, тряска, удары, наклоны и магнитные поля, кроме земного, влияющие на работу преобразователя, должны отсутствовать;

Напряжение питания постоянного тока ($36 \pm 0,72$) В;

Пульсация напряжения не должна превышать $\pm 0,5$ % значения напряжения питания;

Сопротивление нагрузки:

(500 ± 50) Ом - при поверке преобразователей с предельными значения-

ми выходного сигнала 0 и 20 или 4 и 20 мА;

(1200±50) Ом - при поверке преобразователей с предельными значениями выходного сигнала 0 и 5 мА;

Рабочая среда для преобразователей с верхними пределами до 2,5 МПа включительно - воздух или нейтральный газ, более 2,5 МПа - жидкость.

Примечание. Допускается использовать жидкость при поверке преобразователей с верхними пределами измерений от 0,4 до 2,5 МПа при условии обеспечения тщательного заполнения системы жидкостью; воздух – при поверке преобразователей с верхними пределами измерений более 2,5 до 60 МПа.

При поверке преобразователей разности давлений значение измеряемого параметра устанавливают при сообщении минусовой камеры с атмосферой и подаче соответствующего избыточного давления в плюсовую камеру преобразователей разности давлений. При использовании в качестве образцовых СИ датчиков с опорным давлением следует подавать в минусовую камеру опорное давление.

Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:



Рисунок 2.21

– преобразователи должны быть выдержаны при температуре, указанной выше, не менее трех часов, если время выдержки не указано в техническом описании и инструкции по эксплуатации;

– выдержка преобразователя перед началом испытаний после включения питания должна быть не менее 0,5 часа (если время выдержки не указано в техническом описании и инструкции по эксплуатации);

– преобразователи должны быть установлены в рабочее положение с соблюдением указаний технического описания и инструкции по эксплуатации;

– система, состоящая из соединительных линий, эталонных СИ и вспомогательных средств для задания и передачи измеряемого параметра при необходимости должна быть проверена на герметичность.

Проверка герметичности системы для поверки преобразователей давления, разности давлений, разрежения с верхними пределами измерений менее 95 кПа, абсолютного давления с верхними пределами измерения более 0,25 МПа проводится при значениях давления или разрежения, равных верхнему пределу измерений поверяемого преобразователя.

Проверку герметичности системы для поверки преобразователей давления-разрежения проводят при давлении, равном верхнему пределу измерений избыточного давления.

Проверку герметичности системы для поверки преобразователей разрежения с верхним пределом измерений 100 кПа проводят при разрежении, рав-

ном 0,9-0,95 значения атмосферного давления.

При проверке герметичности системы на место поверяемого преобразователя устанавливают преобразователь, герметичность которого проведена, или любое другое средство измерений, имеющее погрешность не более 2,5 % и позволяющее заметить изменение давления 0,5 % заданного значения давления.

Создают давление и отключают источник давления. Если в качестве эталонного СИ применяют грузопоршневой манометр, его колонку и пресс также отключают.

Систему считают герметичной, если после трехминутной выдержки под давлением, равным верхнему пределу измерений, в течение последующих двух минут в ней не наблюдают падение давления (разрежения).

Допускается изменение давления (разрежения), обусловленное изменением температуры окружающего воздуха и изменением температуры измеряемой среды, которое не должно превышать значений, указанных в таблице 2.4. Суммарное время выдержки под давлением может быть увеличено до 15 мин, а изменение давления за последние 5 мин также не должно превышать значений, указанных в таблице 2.4.

Примечание. При меньшем изменении температуры допускаемое изменение давления пропорционально уменьшается.

Таблица 2.4

Верхний предел измерений		Допустимое изменение температуры в процессе проверки, °С	Допустимое изменение давления при проверке, % верхнего предела измерения	
кПа	МПа		Пневматическое давление	Гидравлическое давление
От 0,06 до 0,25		±0,5	±60	-
От 0,4 до 0,63			±30	
От 1,0 до 1,6			±18	
От 2,5 до 4,0			±8	
От 6,3 до 10			±3,5	
От 16 до 25			±1,2	
	От 0,03 до 0,5	±1,0	±0,6	-
	От 0,6 до 2,5			±10
	От 4 до 6			
	От 10 и более			±5

Проверку герметичности системы, предназначенной для проверки преобразователей абсолютного давления с верхними пределами измерений 0,25 МПа и менее, осуществляют следующим образом.

В системе с вакуумметром для измерения малых абсолютных давлений создают давление не более 0,07 кПа. Предварительно на место подключаемого преобразователя устанавливают средство измерения, отвечающее тем же требованиям, что и при проверке герметичности системы. Поддерживают указанное давление в течение 2-3 мин. Отключают устройство, создающее абсолютное давление, и, при необходимости, эталонное СИ (колонки грузопоршневого манометра). После выдержки системы в течение 3 мин изменение давления не должно превышать 0,5 % верхнего предела измерений поверяемого преобразователя.

зователя.

Если система предназначена для поверки преобразователей с разными значениями верхних пределов измерений, проверку герметичности рекомендуют проводить при давлении (разрежении), соответствующем наибольшему из этих значений.

2.8.2 Операции поверки

➤ **Внешний осмотр.** При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие преобразователей следующим требованиям:

– преобразователь должен иметь паспорт или документ его заменяющий; при периодической поверке допускается вместо паспорта представлять документ с указанием предела измерения, предельных значений выходного сигнала, требуемого предела допускаемой основной погрешности и номера, присвоенного предприятием-изготовителем. Справка должна быть подписана метрологической службой предприятия, эксплуатирующего преобразователь;

– на преобразователе должна быть табличка с маркировкой, соответствующей паспорту или документу его заменяющему;

– должна быть обеспечена возможность снятия крышки, закрывающей устройство регулировки нуля, клеммы контроля и колодку внешних соединений;

– резьбы на присоединительных элементах не должны иметь сорванных ниток.

➤ **Опробование.** При опробовании проверяют работоспособность преобразователя, функционирование корректора нуля, герметичность преобразователя.

Работоспособность преобразователя проверяют, изменяя измеряемое давление от нижнего предельного значения до верхнего. При этом должно наблюдаться изменение выходного сигнала.

Для преобразователей давления-разрежения работоспособность проверяют только при избыточном давлении, для преобразователей разрежения с верхним пределом измерений 100 кПа - при изменении разрежения до значения, равного не менее, чем 0,9 атмосферного давления.

Функционирование корректора нуля проверяют, задав одно (любое) значение измеряемого давления. Корректор нуля поворачивают по часовой стрелке. При этом должно наблюдаться изменение выходного сигнала. Затем корректор нуля поворачивают против часовой стрелки. При этом должно наблюдаться изменение выходного сигнала в противоположную сторону.

Проверку герметичности преобразователя рекомендуется совмещать с операцией определения основной погрешности.

Методика проверки герметичности преобразователя аналогична методике проверки герметичности системы со следующими особенностями:

– изменение давления или разрежения определяют по изменению вы-

ходного сигнала поверяемого преобразователя, включенного в систему;

- в случае обнаружения не герметичности системы с поверяемым преобразователем следует проверить отдельно систему и преобразователь;
- проверку герметичности преобразователей разности давлений при поверке не проводят.

➤ **Определение основной погрешности.** Основную погрешность определяют следующими способами:

- по эталонному СИ на входе преобразователя устанавливают измеряемый параметр, равный номинальному, а по другому эталонному СИ измеряют значение выходного сигнала;
- по эталонному СИ на выходе преобразователя устанавливают расчетное значение выходного сигнала, соответствующее номинальному значению измеряемого параметра, а по другому эталонному СИ измеряют значение этого параметра на входе преобразователя;
- сравнением выходных сигналов поверяемого и эталонного преобразователей.

Схема включения преобразователей для измерения выходного сигнала при проведении поверки по способам 1 и 2 приведены в приложениях 1-4, по способу 3 - в приложениях 5-7 МИ 1997-89. Схемы включения образцовых средств измерения давления приведены в приложениях 8-10 МИ 1997-89.

При использовании автоматизированных датчиков давления или контроллеров давления в качестве эталонных СИ их включение осуществляют в соответствии с эксплуатационной документацией на эти датчики (контроллеры).

Перед определением основной погрешности должны быть соблюдены требования по герметичности системы предназначенной для поверки преобразователей, в случае необходимости, откорректировано значение выходного сигнала, соответствующее нижнему предельному значению измеряемого параметра. Эта корректировка проводится после подачи и сброса измеряемого параметра, равного:

- для преобразователей давления-разрежения - 50-100 % верхнего предела измерений избыточного давления;
- для преобразователей абсолютного давления после выдержки их в пределах от 0 % до 10 % верхнего предела измерений;
- для остальных преобразователей - 80-100 % верхнего предела измерений.

При периодической поверке, в случае совмещения проверки герметичности с подачей давления (разрежения) перед корректировкой выходного сигнала, выдержка проводится при давлении (разрежении) соответствующем проверке герметичности системы.

Установку выходного сигнала следует провести с наибольшей возможной точностью, обеспечиваемой устройством корректора и разрешающей способностью эталонных СИ. Погрешность установки (без учета по-

грешности контрольных средств) более 0,2 предела допускаемой основной погрешности поверяемого преобразователя не допускается. Основную погрешность определяют при пяти значениях измеряемой величины, достаточно равномерно распределенных в диапазоне 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.

Основную погрешность определяют при значении измеряемой величины, полученной при приближении к нему как от меньших значений к большему, так и от больших к меньшим (при прямом и обратном ходе). При поверке способом 3 значения измеряемого параметра, при которых определяют погрешности при обратном ходе, могут отличаться от значений при прямом ходе не более, чем на 5 %.

Перед поверкой при обратном ходе преобразователь выдерживают в течение одной минуты под воздействием верхнего предельного значения измеряемого параметра, соответствующего предельному значению выходного сигнала.

Допускается выдержку преобразователей давления-разрежения проводить только на верхнем пределе измерений избыточного давления.

При периодической поверке основную погрешность определяют в два цикла: до корректировки диапазона изменения выходного сигнала (калибровки) и после корректировки диапазона.

При поверке преобразователей с верхним пределом измерений разрежения 0,1 МПа, если атмосферное давление равно или менее 0,1 МПа, максимальное разрежение допускается устанавливать равным $0,90-0,95P_6$, где P_6 - атмосферное давление. P_6 следует привести к тем единицам, в которых выражено P .

Вариацию выходного сигнала преобразователей можно не определять, если предел допускаемого ее значения менее 0,5 предела допускаемой основной погрешности, если это допустимо требованиями методики поверки.

Допускается вместо определения действительного значения вариации осуществлять контроль соответствия ее предельно допускаемым значениям.

Положительные результаты государственной поверки измерительных преобразователей давления оформляют выдачей свидетельства о государственной поверке установленного образца.

При отрицательных результатах поверки измерительные преобразователи давления бракуют и выдают извещение о непригодности.

2.9 Средства неинвазивного измерения кровяного давления (тонометры)

Артериальное давление – это давление крови в крупных артериях человека. Различают два показателя артериального давления:

– систолическое (верхнее) артериальное давление – это уровень давления крови в момент максимального сокращения сердца;

– диастолическое (нижнее) артериальное давление – это уровень давления крови в момент максимального расслабления сердца.

Артериальное давление измеряется в миллиметрах ртутного столба (мм рт.ст.). Значение величины артериального давления 120/80 означает, что величина систолического давления равна 120 мм рт. ст., а величина диастолического давления равна 80 мм рт. ст.

Пульс – периодические, связанные с сокращениями сердца колебания объема сосудов, обусловленные динамикой их кровенаполнения и давление в них в течение одного сердечного цикла.

У среднестатистического здорового человека нормальный пульс в покое равняется 60-80 ударам в минуту.

2.9.1 Методы регистрации артериального давления

Артериальная гипертензия (АГ) – стабильное повышение клинического систолического АД ≥ 140 мм рт. ст. и/или диастолического АД ≥ 90 мм рт. ст. у лиц, не получающих антигипертензивную терапию.

АГ диагностируется на основании измерения артериального давления. Существуют следующие методы измерения артериального давления:

– **пальпаторный метод** (S. Riva-Rocci, 1896), при котором оценивают пальпаторные ощущения на лучевой или плечевой артериях при постепенной компрессии или декомпрессии конечности;

– **аускультативный метод** (Н. С. Коротков, 1905), при котором выслушивают звуковые явления на плечевой артерии ниже окклюзионной манжеты;

– **осциллометрический метод** (Е. Marey, 1876), регистрирующий пульсовые изменения объема артерии, находящейся под манжетой.

Измерения артериального давления проводятся при помощи измерителей артериального давления (ИАД - при прямом методе измерения) или средств неинвазивного измерения кровяного давления (НИАД - при косвенном методе измерения).

2.9.2 Виды тонометров

Основная классификация видов тонометров осуществляется по способу закачивания воздуха в манжету. Здесь различают ручные механические тонометры, автоматические тонометры и полуавтоматические тонометры. Среди ручных механических тонометров выделяют мембранные, применяемые и в настоящее время, и ртутные, практически полностью вышедшие из употребления. Тонометры различаются между собой по месту расположения манжеты во время измерения давления – на плечо или на запястье.



Рисунок 2.22

Электронные автоматические тонометры точны, удобны, просты в управлении. Могут быть с креплением манжеты во время измерения давления в области плеча или запястья. Более достоверные результаты относятся к моделям с креплением манжеты в области плеча, так как пережимается крупный сосуд, что уменьшает степень погрешности. Крепление манжеты на запястье разрабатывалось специально для активных спортивных людей. Применение такого крепления у людей с выраженным атеросклерозом сосудов не рекомендуется, так как в этой зоне сосуды меньшего диаметра и быстрее уплотняются. Как правило, в автоматических тонометрах применяются технологии, которые позволяют проводить измерения на фоне аритмии, получать более достоверное среднее значение трех последовательных измерений используя функцию равномерного нагнетания воздуха в манжету (при помощи встроенного в электронный блок компрессора). Например, технология Intellsense (интеллектуальная чувствительность), которая управляет режимами нагнетания воздуха в манжету, управляющая процессом измерения и позволяющая учитывать индивидуальные особенности давления и пульса каждого пользователя. Осциллометрический метод основан на регистрации пульса, поэтому для точного измерения давления необходимо, чтобы пульс был регулярным, равномерным, устойчивым. Нерегулярность сердечного ритма, частые внеочередные сокращения сердца во время измерения могут существенно повлиять на результат. Технология Intellsense проводит детальный анализ пульсовой волны, целью которого является выбор фрагмента с наиболее стабильной пульсацией, значительно сокращая вероятность ошибки измерений при наличии аритмии.

Полуавтоматические тонометры. Воздух накачивается в манжету и электронный блок с помощью ручного нагнетателя (груши). Как правило, по наполнению полезными сервисными функциями уступают автоматическим тонометрам, но выигрывают в цене. При измерении давления полуавтоматическими тонометрами на нагнетание вручную воздуха в манжету приходится затрачивать усилия, которые могут повлиять на результат измерений.

Механические тонометры. Воздух накачивается в манжету и манометр с помощью ручного нагнетателя (груши). Модель наиболее подходит для применения медицинскими работниками. Такие модели меньше зависят

от влияния внешних факторов, что повышает точность проводимых измерений. В тоже время они наиболее сложны в эксплуатации, связанные с использованием стетоскопа. Не предназначены для измерений артериального давления самому себе, так как на нагнетание вручную воздуха в манжету приходится затрачивать усилия, которые могут повлиять на результат измерений.

2.9.3 Методы и средства поверки

При поверке измерителей должны использоваться следующие эталоны и вспомогательные средства измерений:

- манометр цифровой ХР2i, диапазон измерений от минус 750 мм рт. ст. до плюс 750 мм рт. ст.; в диапазоне от минус 750 мм рт. ст. до 0 – пределы приведенной погрешности $\gamma = \pm 0,25$ %; в диапазоне от 0 до 150 мм рт. ст. – пределы приведенной погрешности $\gamma = \pm 0,02$ %; в диапазоне от 150 до 750 мм рт. ст. – пределы относительной $\delta = \pm 0,1$ % или манометр грузопоршневой МП-0,4, диапазон измерений от 50 мм рт. ст. до 300 мм рт. ст. – пределы относительной погрешности $\delta = \pm 0,2$ % III разряд (кл.т.0,2);

- барометр-анероид М-67, диапазон измерений от 80 до 106,3 кПа, пределы абсолютной погрешности $\Delta = \pm 0,1$ кПа;

- уровень с ценой деления 30" или 1' (при применении грузопоршневого манометра МП-0,4);

- гигрометр психрометрический;

- секундомер СДСпр, класс точности 2;

- установка для поверки каналов измерения давления и частоты пульса УПКД-2, диапазон задания (измерения) значений давления воздуха от 20 до 400 мм рт. ст., пределы абсолютной погрешности измерения давления воздуха $\Delta = \pm 0,5$ мм рт. ст.; диапазон измерений частоты пульса от 30 до 200 мин⁻¹, пределы допускаемой относительной погрешности - $\delta = \pm 0,5$ %.

- цилиндр диаметром (80±10) мм, высотой – не менее 200 мм.

Установка УПКД-2 и аналогичные позволяют провести поверку измерителей в полном объеме, но применение манометров цифровых ХР2i, или грузопоршневого манометра МП-0,4 сокращают время поверки канала измерения давления.

Средства измерений должны иметь действующие поверительные клейма и (или) свидетельства о прохождении поверки (калибровки). Допускается применять другие средства измерений, прошедшие метрологическую аттестацию или поверку в органах государственных метрологических служб и удовлетворяющие по точности требованиям методики. Нормальные условия эксплуатации выбранных эталонов и вспомогательных средств измерений должны соответствовать условиям поверки. Поверка прекращается в случае обнаружения несоответствия поверяемого измерителя хотя бы одному из требований методики поверки.

2.9.4 Подготовка и условия поверки

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха (20 ± 5) °С;
- относительная влажность воздуха от 30 % до 80 %;
- атмосферное давление от 84 до 106 кПа.

Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

– прибор предварительно выдерживают в нерабочем состоянии при температуре окружающего воздуха, указанной выше, не менее:

- 12 ч – при разнице температур воздуха более 10 °С в помещении для поверки и местом, откуда внесли поверяемый измеритель;
- 1 ч - при разнице температур воздуха от 1 °С до 10 °С в помещении для поверки и местом, откуда внесли поверяемый измеритель.

Эталоны и измеритель подготавливают к работе в соответствии с эксплуатационной документацией (ЭД) на них.

2.9.5 Операции поверки

➤ **Внешний осмотр.** При внешнем осмотре устанавливают наличие паспорта на измеритель и соответствие измерителя следующим требованиям:

- комплектность измерителя должна соответствовать указанной в ЭД на измеритель;
- на наружных поверхностях не должно быть дефектов, влияющих на эксплуатационные качества измерителя и препятствующих правильному отсчету показаний.

На измеритель должен быть нанесен номер по системе изготовителя, исполнение, производитель. Для механических измерителей при отсутствии избыточного давления стрелка должна быть установлена на нулевой отметке шкалы с отклонением, не превышающим предела допускаемой абсолютной погрешности. У измерителей с корректором нуля устанавливают стрелку на нулевую отметку.

➤ **Проверка герметичности измерителя.** Компрессионную манжету измерителя плотно оборачивают вокруг цилиндра диаметром (80 ± 10) мм, высотой – не менее 200 мм (для манжеты, надеваемой на предплечье), или вокруг цилиндра диаметром (50 ± 10) мм, высотой – не менее 200 мм (манжету надеваемую на запястье) и закрепляют ее. Отключают клапан автоматического сброса давления посредством перехода в режим "Поверки" руководствуясь указаниями ЭД (для автоматических и полуавтоматических измерителей). Самый распространенный способ перехода в режим "Поверки" это при включении прибора, одновременно вставляя элемент питания (известно более 30 процедур перехода в режим "Поверки"). На дисплее электронного блока измерителя должны появиться символы согласно ЭД, чаще всего сопровождаемые звуковой сигнализацией. Нажимают кнопку "+" УПКД-2 для

начала процесса измерения утечки: при этом установка УПКД-2 автоматически установит давление на 10 мм рт. ст. менее величины срабатывания клапана аварийной защиты и затем осуществит ступенчатый сброс давления с шагом 50 мм рт. ст. (установка УПКД-2 автоматически нагнетает давление в систему и проводит измерения утечки давления воздуха в системе прибора при пяти значениях давления: 250, 200, 150, 100, 50 мм рт. ст.). Утечка воздуха в пневматической системе прибора должна быть не более 6 мм рт. ст./мин (если иное не указано в ЭД).

После окончания каждого измерения на дисплее установки УПКД-2 выводится значение утечки давления воздуха в пневмосистеме прибора в мм рт. ст./мин.

Для механических измерителей герметичность можно определять методом: компрессионную манжету измерителя плотно оборачивают вокруг цилиндра диаметром (80 ± 10) мм, высотой – не менее 200 мм и после создания эталоном избыточного давления 260 мм рт. ст. наблюдают соответствие требованию, что если за 1 мин падение давления не превышает 3 мм рт. ст., то измеритель считается герметичным.

С помощью нагнетателя (для механических измерителей) создается давление в пневмосистеме измерителя, затем осуществляют медленную декомпрессию. Визуально, по движению стрелки измерителя, определяют плавность снижения давления.

➤ **Проверка срабатывания клапана аварийной защиты измерителя.** Присоединяют электронный блок измерителя с помощью эластичной трубки к штуцеру Ш1, а манжету на жестком цилиндре – к штуцеру Ш2 (установки УПКД-2).

Открывают кран на штуцере Ш2. Переводят установку УПКД-2 в режим 5 (см. РЭ), нажимая кнопку "М". При нажатии кнопки "-", установка УПКД-2 будет автоматически нагнетать в пневмосистему давление до величины срабатывания клапана аварийной защиты измерителя (при наличии). Значение давления, при котором сработал клапан аварийной защиты, отображается на экране цифрового дисплея в течение около 10 с.

➤ **Определение абсолютной погрешности измерения давления воздуха в манжете.** Для определения абсолютной погрешности измерения давления воздуха в манжете подключают электронный блок измерителя к эталонному манометру предварительно проводя следующие операции:

– для исполнения с размещением манжеты на запястье отсоединяют манжету от электронного блока. Для этого открывают отсек для элементов питания, достают их и отворачивают винт, удерживающий лапку корпуса манжеты (крепление может находиться на корпусе электронного блока). Снимают манжету. Включают измеритель, переходя в режим "Поверки";

– для исполнения с размещением манжеты на плече необходимо вынуть штекер из воздушного шланга и вместо него установить тестовый штекер (для некоторых моделей измерителей возможно проводить поверку с штекером, входящим в комплект измерителя - при подключении перевернуть

штекер). Тестовый штекер вставить в гнездо для подсоединения манжеты на блоке измерителя. Включают измеритель, переходя в режим "Поверки";

– для механических измерителей – отсоединяют манометр измерителя от компрессионной манжеты и нагнетателя и подсоединяют его к эталону.

Абсолютную погрешность измерения давления воздуха в манжете - определяют не менее чем на шести значениях измеряемого давления, равномерно распределенных в диапазоне измерений.

Абсолютную погрешность измерения давления воздуха в манжете определяют при значении измеряемой величины, полученной при приближении к нему от больших значений к меньшим (при обратном ходе).

Абсолютную погрешность измерения давления воздуха в манжете, ΔP , мм рт. ст., определяют, как разность между показаниями поверяемого измерителя с заданными номинальными значениями на эталонном манометре и рассчитывают по формуле

$$\Delta P = P_{\text{изм}} - P_{\text{эт}}, \quad (2.29)$$

где $P_{\text{изм}}$ – значение показания измерителя в поверяемой точке, мм рт. ст.;
 $P_{\text{эт}}$ – номинальное значение давления, задаваемое на эталонном манометре в поверяемой точке, мм рт.ст.

Абсолютная погрешность измерения давления воздуха в манжете должна находиться в пределах, указанных в ЭД.

➤ **Определение средней скорости снижения давления в манжете.** Скорость снижения давления в манжете определяют в режиме измерения давления путем считывания двух показаний p_1 и p_2 с интервалом времени 10 с, отсчитываемых секундомером.

Скорость снижения давления в манжете, V_i , мм рт. ст./с, рассчитывают по формуле

$$V_i = \frac{p_1 - p_2}{10}, \quad (2.30)$$

где p_1 – показание измерителя в момент включения секундомера, мм рт. ст.;

p_2 – показания измерителя через 10 с, мм рт. ст.

Для автоматических и полуавтоматических измерителей измерения проводят три раза в рабочем диапазоне при наличии звукового сигнала или мигающего символа.

Среднюю скорость снижения давления в манжете, V_{cp} , мм рт. ст./с, рассчитывают по формуле

$$V_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^3 V_i}{3} \quad (2.31)$$

Средняя скорость снижения давления должна находиться в пределах, указанных ЭД.

Для механических измерителей определение средней скорости снижения давления в манжете компрессионной проводят в следующей последова-

тельности.

В пневматической системе с манжетой, наложенной на цилиндр диаметром от 80 до 100 мм или неплотно свернутой в рулон и закрепленной, создают давление, равное верхнему пределу измерения и выдерживают систему в этом состоянии от 30 с до 1 мин. Затем путем плавного вращения регулятора ручного нагнетателя (груши) осуществляют медленную декомпрессию и, начиная с давления равного 0,9 верхнего предела измерения, определяют величину уменьшения давления за 10 с. Среднюю скорость снижения давления в манжете определяется по формуле 31. Получение различных значений средней скорости снижения давления в манжете осуществляется путем плавного вращения регулятора ручного нагнетателя. Измерения должны проводиться не менее трех раз.

➤ **Определение относительной погрешности частоты пульса.** Относительную погрешность измерения частоты пульса определяют в точках 40, 60, 80, 120, 160, 180, 200 мин⁻¹.

Для этого применяют установку УПКД-2. Общий вид установки и обозначение кнопок приведены в РЭ на прибор.

Для определения частоты пульса проводят следующие операции:

– переводят измеритель в режим измерения (меняют калибровочный штуцер на штуцер для измерений давления);

– присоединяют электронный блок поверяемого измерителя с помощью эластичной трубки к штуцеру Ш1, а манжету на жестком цилиндре - к штуцеру Ш2 установки УПКД-2;

– переводят установку УПКД-2 в режим 1, нажимая кнопку "М". Устанавливают необходимое значение систолического и диастолического давления (например: 120 на 80; для установки систолического давления нажимают кнопку "+", для установки диастолического давления нажимают кнопку "-");

– нажимают кнопку "М" и переводят установку УПКД-2 в режим 2, устанавливая необходимое значение частоты пульса; для установки используют кнопки "+ " и " - ";

– включают поверяемый измеритель, процесс измерения проходит автоматически. Дожидаются окончания процесса измерения, сравнивают значение величины пульса на дисплеях УПКД-2 и измерителя.

Относительную погрешность измерения частоты пульса измерителя, δS_f , %, вычисляют по формуле

$$\delta S_f = \frac{f_{изм} - f_{уст}}{f_{уст}} \times 100 \quad (2.32)$$

где $f_{изм}$ – измеренное значение показаний частоты пульса измерителя в каждой поверяемой точке, мин⁻¹;

$f_{уст}$ – номинальное значение частоты пульса, задаваемое на установке УПКД-2 в каждой поверяемой точке, мин⁻¹.

2.10 Мониторы медицинские

2.10.1 Виды мониторов

Обследование больных артериальной гипертензией (АГ) традиционно основывается на измерении артериального давления во время визита к врачу или во время пребывания в стационаре. Однако однократное определение АД даёт информацию лишь на отдельно взятый момент времени и не всегда отражает реальную клиническую картину. С 70-х годов 20 века появились новые методы функциональной диагностики, позволяющие оценить сердечно-сосудистую систему в условиях, максимально приближенных к естественным. В настоящее время широко применяется суточное мониторирование артериального давления (СМАД), предоставляющее дополнительную информацию об уровне АД вне врачебного кабинета. Суточное мониторирование артериального давления (СМАД) используется в качестве дополнительного метода обследования пациентов, особенно с артериальной гипертензией. В настоящее время методика находит всё большее признание у врачей, т.к. результаты СМАД позволяют уточнить диагноз и тактику ведения пациентов, оценить степень сердечно - сосудистого риска. Для получения максимальной информации требуется соблюдение ряда рекомендаций по подготовке, технологии проведения, редактированию и оценки данных, формированию заключений.

Монитор пациента относится к категории медицинского оборудования, выполняющего постоянный контроль за параметрами жизнедеятельности пациентов реанимации и отделений интенсивной терапии. Установленный в палате и при помощи датчиков снимающий показатели давления, сердечного ритма, дыхания и других жизненно важных функций, мониторы существенно упрощают персоналу лечебного заведения задачу контроля за состоянием больного.

аюот персоналу лечебного заведения задачу контроля за состоянием больного.

Виды мониторов:



Рисунок 2.23

- стационарные;
- портативные или транспортные мониторы пациента;
- мониторы компьютеризированные носимые.

Все виды мониторов в режиме реального времени снимают основные показатели жизнедеятельности организма, выводят данные на жидкокристаллический экран и оперативно подают сигнал тревоги в случае, если какой-либо из показателей отклоняется

от нормальных значений.

2.10.2 Методы и средства поверки

Стоит обратить внимание, что во всех стационарных мониторах есть деление по возрасту, т.е. поверка должна проводиться для каждого из режимов (*взрослый, детский, новорожденный*).

Для некоторых мониторов поверка осуществляется через подключение к ПК и требует наличие специального ПО предоставляемого представителем сервисного центра или фирмы изготовителя.

Рассмотрим поверку портативного монитора пациента, модели неинвазивного измерения кровяного давления (НИАД - в меню монитора обозначение "нАД"), который позволяет измерять кровяное давление при помощи осциллометрического метода. Диапазон измерений от 10 до 270 мм рт. ст. с пределами абсолютной погрешности измерения давления воздуха в манжете $\Delta = \pm 3$ мм рт. ст.

При поверке мониторов должны использоваться эталоны и вспомогательные средства измерений, перечисленные для поверки измерителей артериального давления.

Внимание! Последовательность некоторых операций, приведенных в данном примере, может существенно отличаться для других типов мониторов (см. РЭ и рекомендации фирмы изготовителя для поверяемого монитора).

2.10.3 Подготовка и условия поверки

При проведении поверки должны выполняться следующие условия:

- температура окружающей среды (20 ± 5) °С;
- атмосферное давление от 84 кПа до 106 кПа;
- относительная влажность от 30 % до 80 %, при отсутствии конденсации.

Изменение температуры воздуха вокруг монитора не должно превышать 1°С в час в течение всех испытаний.

Перед проведением поверки следует выполнить подготовительные работы по созданию необходимых условий:

- эталонные средства измерений подготавливают к работе в соответствии с технической документацией на них;
- монитор должен быть выдержан в указанных выше условиях не менее 1 ч при разнице температур окружающего воздуха от 1 °С до 10 °С в помещении для аттестации и местом, откуда вносится монитор, и не менее 12 ч при разнице температур более 10 °С;
- выдержка монитора перед началом измерений после включения питания должна быть не менее 0,2 ч;
- при проведении поверки необходимо соблюдать указания по безопасности, изложенные в руководстве пользователя или руководствах по

эксплуатации на монитор, применяемые эталоны и вспомогательное оборудование;

– при поверке монитора запрещается создавать давление, превышающее указанное в эксплуатационной документации фирмы изготовителя предельно допустимое давление и допустимое для применяемых эталонов;

– изучить в руководстве пользователя символы, используемые при работе с монитором;

– заземлить, согласно рекомендаций руководства пользователя используемые при поверке средства измерений и подключить их к питающей сети.

2.10.4 Операции поверки

➤ **Внешний осмотр.** При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие монитора следующим требованиям:

– маркировка монитора должна соответствовать требованиям руководства пользователя. Наличие эксплуатационной документации и устройства для проверки герметичности. Комплектность должна соответствовать требованиям эксплуатационной документации и методики поверки;

– при внешнем осмотре на наружных поверхностях не должно быть дефектов, влияющих на эксплуатационные качества монитора, т.е. он не должен иметь значительных механических повреждений корпуса, лицевой панели, жидкокристаллического дисплея, кнопок, рукоятки (ротационной кнопки), соединительных элементов, штуцера, препятствующих обеспечению герметичности соединения с эталонными средствами измерений и работоспособности монитора. Органы управления должны быть прочно закреплены, положения переключателей должны быть четко зафиксированы, световая индикация должна быть четко видна.

Монитор, не соответствующий требованиям методики поверки при внешнем осмотре, дальнейшей поверке не подлежит.



Рисунок 2.24

➤ **Опробование.** Проверка функционирования монитора проводится в соответствии с разделами руководства пользователя (например, разделами "Настройка монитора" и "Неинвазивные измерения кровяного давления").

Проверяют работоспособность всех отдельных элементов монитора, возможность включения – выключения фильтров, функционирование всех измерительных каналов, функционирование в ручном режиме, режиме автоматического проведения измерений АД, функционирование задачи интервалов между измерениями артериального давления, проверка герметичности.

При включении мониторов при нажатии и удержании кнопки "Сеть", будет проходить короткая самодиагностика. При внутренней ошибке или не-

исправности монитора возможно отключение экрана монитора. В этом случае произвести повторное включение монитора. Если сбои не прекратятся, то монитор бракуется.

Убедиться, ориентируясь на символ индикатора зарядки (при работе от аккумуляторной батареи), в достаточном уровне зарядки аккумуляторной батареи, он не должен опускаться ниже 25 %. При низком уровне зарядки индикатор аккумулятора отображается желтым цветом, и монитор издает звуковые сигналы тревоги (не проводить аттестацию при низком уровне зарядки аккумуляторной батареи!).

Для выбора режима мониторинга открыть меню параметра "Пациент" в "Основном Меню" поворотом рукоятки (ротационной кнопки) для выбора требуемого типа пациента (взрослые, дети, новорожденные).

В мониторе устанавливается защита, при превышении давления во взрослом режиме 273 ± 3 мм рт. ст., детском (ребенок) – 200 ± 3 мм рт. ст., новорожденных – 150 ± 3 мм рт. ст. Проверка работоспособности защиты производится, подсоединяя манжету, накладываемую на жесткий цилиндр диаметром (80 ± 10) мм к монитору и эталону давления. Давление создается ручным нагнетателем или системой подачи давления эталона. При превышении вышеуказанных давлений для каждого типа пациента, должно произойти срабатывание клапана быстрого сброса давления и давление в манжете сбросится до 10 мм рт. ст. или менее (в режимах "Взрослый" и "Ребенок") или до 5 мм рт. ст. (в режиме "Новорожденный").

При установке монитора в "режим калибров.", подтвердить "Да", в меню нАД (при установленном типе пациента – "Взрослый 270") ручным нагнетателем или системой подачи давления эталона повышать давление до тех пор, пока не откроется клапан сброса избыточного давления (но не более 335 мм рт. ст.). Если клапан сброса избыточного давления не открывается или открывается при значениях меньших, чем 300 ± 30 мм рт. ст., то система сброса избыточного давления неисправна.

Проверку герметичности монитора проводят при установленном типе пациента – "Взрослый 270". Проверка герметичности производится, подсоединяя устройство для проверки герметичности к монитору.

Монитор считают герметичным, если после минутной выдержки монитора под давлением 250 ± 5 мм рт. ст., в течение последующих 5 мин. в нем не наблюдают падение давления более чем на 4 мм рт. ст., при этом изменение температуры за время испытаний не должно превышать $0,1$ °С.

При отрицательных результатах проверить собранную схему на наличие утечек и повторить проверку герметичности. При повторных отрицательных результатах проверка прекращается и выдается извещение о непригодности.

Собранная система должна быть проверена на герметичность. Проверка герметичности системы производится аналогично проверке герметичности монитора.

Работоспособность монитора проверяют, путем выполнения внеоче-

редного измерения артериального давления по нажатию кнопки "Старт/стоп нАД" в соответствии с разделом руководства пользователя "Неинвазивные измерения кровяного давления". При выполнении необходимых условий измерение артериального давления должно быть успешным.

В памяти монитора запоминание данных производится не чаще одного раза в минуту, т.е. если в течение одной минуты проводилось два измерения нАД, в памяти трендов будут сохранены данные только последнего измерения.

В течение некоторого времени после измерения нАД клапаны насоса могут вибрировать, что не является неисправностью.

Работоспособность монитора можно проверить (при наличии), путем запуска демонстрационного режима "демо". Вход в режим описывается в руководстве пользователя или РЭ.

Функционирование остановки измерения в режиме автоматического проведения измерений нАД и быстрого стравливания в режиме измерения артериального давления.

В любое время измерения артериального давления нажать кнопку "Старт/стоп нАД" на передней панели монитора для остановки режима автоматического проведения измерений нАД или измерения давления, и при наличии в манжете давления быстрого сброса давления до 10 мм рт. ст. или менее (в режимах "Взрослый" и "Ребенок") или до 5 мм рт.ст. (в режиме "Новорожденный").

Функционирование задачи интервалов между измерениями артериального давления. В нАД, в окне параметры выбрать "Режим интервалов". При установке интервала, монитор должен отображать линейный индикатор, показывающий сколько времени осталось до окончания интервала между двумя измерениями. Наблюдать соответствие начала измерения нАД отображению линейного индикатора.

➤ **Определение основной погрешности измерения давления воздуха в манжете.** Для определения основной погрешности измерения давления воздуха в манжете подключают монитор и манжету, накладываемую на жесткий цилиндр диаметром (80 ± 10) мм к эталону давления.

Основную погрешность монитора определяют методом прямых измерений при установке монитора в "режим калибров.", подтвердить "Да", в меню нАД (при установленном типе пациента – "Взрослый 270").

Если монитор остается в режиме "режим калибров" дольше, чем 128 секунд с начала первого измерения (для некоторых типов мониторов), то появляется сообщение "нАД – Сбой". Это сообщение свидетельствует о включении предохранительного таймера монитора. Чтобы удалить это сообщение, необходимо повторное включение монитора. Во время измерений возможно автоматическое открытие клапана для спуска воздуха из системы, что не является технической неисправностью. В указанном случае измерения продолжатся далее.

Отсчет показаний монитора на дисплее монитора должен производиться

ся до последней значащей цифры.

Обработку данных наблюдений проводим для всего диапазона измерений давления. Предполагаем, что зависимость основной погрешности от измеряемой величины близка к линейной, то основную абсолютную погрешность измерения избыточного давления воздуха в манжете определяем при восьми значениях давления диапазона измерений монитора: 0, 30, 50, 100, 150, 200, 250, 260 мм рт. ст.

Основную погрешность определяем при значении измеряемой величины, полученной при приближении к нему от больших значений к меньшим (обратный ход). Перед измерениями монитор выдерживают в течение около тридцати секунд под воздействием верхнего предельного значения давления.

Определяем абсолютную погрешность, Δ_i , мм рт. ст. по формуле (1.29).

Определение относительной погрешности частоты пульса определяется по методике, изложенной для измерителей.

2.11 Калибраторы давления

Портативные калибраторы давления предназначены как для лабораторных, так и для полевых условий работы.



Рисунок 2.25

Отличительными особенностями данных приборов являются: широкий диапазон рабочих температур, высокая механическая прочность, возможность автономной работы, небольшие размеры и малый вес.

Калибраторы давления имеют возможность питания от элементов питания (батареек), аккумуляторов или от сети через адаптер (блок питания).

В конструкции калибраторов давления часто предусмотрены встроенная помпа или электрический насос для создания избыточного давления или разрежения, устройства для точной регулировки давления, переключатель давление/вакуума (для переключения режимов измерения или воспроизведения положительного и отрицательного избыточных давлений т.е. переключение избыточного давления-разрежения), возможность измерения и генерации выходных электрических параметров, хранение данных и много других сервисных функций. Например, следующие функции: доступная операционная версия Windows CE; возможность индцировать до шести активных измерений; активны до 25 единиц измерения давления; цифровой HART-коммуникатор; цифровой интерфейс для модулей давления различных модификаций; USB выход для подключения к ПК или периферийному устройству; защита от климатических воздействий по классу IP65; Литиево-полимерные батареи питания большого ресурса; гнездо для карты памяти SD и т.д. На все приборы устанавливается второй канал давления, который предназначен для подключения внешних модулей давления.

Диапазоны измерения давления при работе с внешними модулями (датчиками, преобразователями) от -0,1 МПа до 100 МПа.

Отличаются высокой точностью измерения (до $\pm 0,01$ % верхнего предела измерений), высокой и долговременной стабильностью, устойчивостью к перегрузкам по давлению и высокой механической прочностью.

Выпускаемые в настоящее время прецизионные калибраторы, метрологические характеристики (МХ) которых соответствуют требованиям рабочих эталонов давления (РЭД) с пределами допускаемой относительной погрешности около от $\delta = \pm 0,001$ % до $\pm 0,005$ %, пока отличаются высокой стоимостью и необходимостью раз в 3-5 месяцев их юстировки (в эксплуатационной документации применяется термин "калибровка").



Рисунок 2.26

В энергонезависимой памяти модулей давления хранятся калибровочные коэффициенты, предназначенные для вычисления значений давления микропроцессором электронного устройства. Также в энергонезависимой памяти хранится информация, необходимая для настройки модуля (установки числа измерений для усреднения значений, параметры градуировки по эталонному средству измерения давления).

Калибраторы давления обладают возможностью хранения данных (около 5000-50000 значений) и встроенным интерфейсом RS232 или др. и позволяют значительно уменьшить время калибровок и проверок с помощью встроенных программ производящих автоматический расчет погрешностей и исключающих возможность возникновения ошибок при работе с данными. Функция автоматического документирования результатов проверок (калибровок). Методика и результаты документирования соответствуют стандартам ISO 9000, EPA, FDA, OSHA и другим законодательным требованиям.

2.11.1 Методы и средства поверки

Калибраторы предназначены (канал давления), в зависимости от модификации, для воспроизведения и измерения абсолютного давления, отрицательного и положительного избыточного давления, дифференциального или гидростатического давлений при поверке и калибровке приборов и измерительных каналов систем в лабораторных и промышленных условиях.

Межповерочный интервал должен быть не более 12 месяцев (для калибраторов, применяемых в сфере законодательной метрологии); увеличение указанного межповерочного интервала допустимо в обоснованных случаях по решению Госстандарта РФ.

При поверке канала давления калибраторов должны использоваться эталоны и вспомогательные средства измерений:

- эталонные грузопоршневые манометры (грузопоршневые манометры абсолютного давления; грузопоршневые вакуумметры; грузопоршневые манометры дифференциального давления; микроманометры; контроллеры; эталонные барометры и т.п.) подобранные в соответствии с требованиями поверочных схем (для поверки калибраторов кл.т. 0,01 1-го разряда – рабочие эталоны);
- разделители сред (при необходимости);
- уровень с ценой деления 30" или 1' (при применении грузопоршневых манометров);
- гигрометр психрометрический;
- секундомер;
- стальной баллон с газообразным техническим азотом по ГОСТ 9293 или другой рабочей средой по рекомендациям изготовителя (при необходимости);
- ресивер (при необходимости);
- эталоны для измерения и генерации выходных электрических параметров.

2.11.2 Подготовка и условия поверки

Перед началом поверки поверитель должен изучить руководство пользователя поверяемого калибратора, эталонов и других технических средств, используемых при поверке, настоящую методику поверки, правила техники безопасности и строго их соблюдать. До начала поверки эталоны должны быть в работе в течение времени прогрева, указанного в соответствующей документации. Поверка должна производиться в нормальных для поверяемого калибратора условиях:

- температура окружающего воздуха (20 ± 2) °С - если иные требования не оговариваются ТНПА;
- относительная влажность от 30 до 80 % без конденсации влаги;
- атмосферное давление 84 – 107 кПа;
- вибрация, тряска, удары, наклоны, влияющие на работу калибратора, должны отсутствовать;
- при измерении давления рабочая среда для калибраторов - в соответствии с документацией фирмы изготовителя.

Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- калибраторы должны быть выдержаны при нормальной температуре не менее 1 ч. при разнице температур воздуха в помещении для поверки и местом откуда вносится калибратор от 1 до 10 °С и не менее 12 ч. при разнице температур более 10 °С. При разнице указанных температур менее 1 °С выдержка не требуется;

- выдержка калибратора перед началом поверки после включения питания должна быть не менее 0,2 ч;
- в процессе выдержки в лабораторных условиях и измерений температура окружающего воздуха должна оставаться постоянной или изменяться не более 1°С в час;
- калибраторы должны быть установлены в рабочее положение с соблюдением указаний руководства пользователя;
- встроенные измерительные модули (преобразователи давления) калибратора должны быть в соответствии с руководством пользователя подключены к испытательной установке, состоящей, из эталонных СИ, вспомогательных средств, для задания давления и соединительных линий, включающих кабели давления, ресивер (при необходимости) и т.п.;
- линию, через которую подают измеряемое давление, допускается соединять с дополнительными емкостями (ресивер), вместимость каждой из которых должна находиться в пределах от 1 до 50 л.

Собранная система должна быть проверена на герметичность. Создают давление, соответствующее верхнему пределу измерений, и отключают источник давления. Если в качестве эталонного СИ применяют грузопоршневой манометр, его колонку и пресс также отключают. Систему считают герметичной, если после трехминутной выдержки под давлением, равным верхнему пределу измерений поверяемого модуля калибратора, в течение последующих 2 мин в ней не наблюдают падение давления (разрежения) более чем на 1 % верхнего предела измерений (если иные требования не оговариваются ТНПА), при этом изменение температуры не должно превышать 0,1 °С. Перед поверкой необходимо выдержать все поверяемые модули калибратора под давлением, равным верхнему пределу измерений, в течение от 0,5 до 5 мин (по рекомендациям изготовителя), затем, снизив давление до нуля, откорректировать, при необходимости, нулевое показание калибратора.

2.11.3 Операции поверки

➤ **Внешний осмотр.** При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие калибратора следующим требованиям:

- маркировка калибратора должна соответствовать требованиям руководства пользователя. При внешнем осмотре на наружных поверхностях не должно быть дефектов, влияющих на эксплуатационные качества калибратора, т.е. калибратор не должен иметь значительных механических повреждений корпуса, кнопок и дисплея, электрического кабеля питания, креплений модуля в калибраторе, опорного устройства или ножек для установки в рабочее положение, а также дефектов штуцера, препятствующих обеспечению герметичности соединения с эталоном;
- наличие руководства пользователя и свидетельства о предыдущей поверке.

Калибратор, забракованный при внешнем осмотре, дальнейшей поверке не подлежит.

➤ **Опробование.** Соединить калибратор с источником давления с помощью кабеля, предназначенного для диапазонов давлений и рабочей среды, соответствующих поверяемому модулю. Включить питание калибратора в соответствии с указаниями руководства пользователя или руководства по эксплуатации (в дальнейшем - руководство). Калибратор выполнит процедуру самодиагностики. Если во время самодиагностики будет обнаружена неисправность, на дисплее будет показываться ошибка, которую можно определить в руководстве.

После завершения самодиагностики система включит сенсорный экран и переключится в режим измерения с использованием параметров, выбранных при последних настройках измерений. По умолчанию калибратор может показывать один экран дисплея. Переключение на двойной или более дисплеев калибратора выполняются по методике руководства (возможность индицировать до шести активных измерений).

При опробовании проверяют работоспособность калибратора в соответствии с руководством пользователя, функционирование обнуления (только для калибраторов, измеряющих избыточное давление), функционирование собственного нагнетателя давления, проверяют также герметичность встроенных модулей калибратора (аналогично процедуре проверки герметичности системы).

Проверку герметичности калибраторов абсолютного давления с верхним пределом измерения менее 200 кПа проводят при давлении 5 кПа (если иные требования не оговариваются ТНПА), у остальных калибраторов абсолютного давления – при давлении, равном верхнему пределу измерений. Герметичность модулей калибраторов положительного и отрицательного избыточного давления проверяют на верхнем пределе измерений положительного избыточного давления.

Допускается совмещать процедуры определения герметичности системы и модулей калибратора. Допускается определение герметичности системы и модулей калибратора, в соответствии с рекомендациями руководства, запустив программу "тест утечки".

Работоспособность калибратора в режиме измерения давления проверяют, изменяя давление от нижнего предела измерений до верхнего. Работоспособность калибратора, измеряющего положительное и отрицательное избыточное давление, проверяют только при положительном давлении. При изменении показаний на дисплее модуль калибратора работоспособен.

Функционирование обнуления проверяют, задавая значение давления не более 5 % от верхнего предела измерений.

Функционирование собственного нагнетателя (режим регулирования давления) проверяют только при полном заполнении измерительной системы рабочей средой (гидравлические исполнения). Руководствуясь рекомендациями руководства, в меню задач, пользуясь цифровыми клавишами, введите

значение устанавливаемого давления (произвольное из диапазона воспроизведения и измерения модуля). Нажмите клавишу Control (или другую, в соответствии с рекомендациями руководства) для запуска собственного нагнетателя. При изменении показаний на дисплее нагнетатель калибратора работоспособен.

➤ **Определение основной погрешности измерения давления.** Для определения основной погрешности калибратор подключают к эталонному средству измерений и к источнику давления. По меню калибратора выбирается режим измерения давления.

Перед определением основной погрешности модулей калибраторов положительного и отрицательного избыточного давления следует подать и сбросить давление, равное верхнему пределу измерений давления. После этого, при необходимости, произвести обнуление.

Основную погрешность калибраторов абсолютного давления и калибраторов, измеряющих только положительное избыточное давление, определяют не менее чем при пяти значениях давления, равномерно распределенных в диапазоне измерений.

Основную погрешность калибраторов положительного и отрицательного избыточного давления определяют отдельно для положительного и отрицательного давления. Поверку отрицательного давления с верхним пределом измерений 100 кПа допускается проводить при разрежении, равном 0,9-0,95 значения атмосферного давления.

Основную погрешность определяют при значении измеряемой величины, полученной при приближении к нему как от меньших значений к большим, так и от больших к меньшим (прямой и обратный ход).

Отсчитывание показаний гидравлических калибраторов производят после выдержки под давлением, соответствующим поверяемой точке диапазона, не менее 10 с. Отсчитывание показаний пневматических калибраторов производят после выдержки под давлением, соответствующим поверяемой точке диапазона, не менее 30 с.

Перед поверкой при обратном ходе калибратор выдерживают в течение двух минут (если иные требования не оговариваются ТНПА) под воздействием верхнего предельного значения давления.

Основную абсолютную погрешность Δ , в Па (кПа, МПа и т.п.) или бар, вычисляют по формуле

$$\Delta = P - P_э, \quad (2.33)$$

где P – измеренное калибратором значение давления, Па (бар);

$P_э$ – действительное значение давления, измеренное эталоном, Па (бар).

Основную приведенную погрешность в поверяемой точке (γ_i), %, вычисляют по формуле

$$\gamma_i = \frac{P - P_э}{P_n} \cdot 100 \%, \quad (2.34)$$

где P_n - нормирующее значение, Па (бар). За нормирующее значение

при измерении положительного избыточного или абсолютного давления принимают верхний предел измерений; для калибраторов, измеряющих положительное и отрицательное избыточное давление - сумму верхних пределов измерений по положительному и отрицательному давлению, Па (бар). По рекомендациям изготовителя нормирующее значение может соответствовать верхнему пределу измерений положительного давления.

Относительную погрешность в поверяемой точке (δ_i), %, вычисляют по формуле

$$\delta_i = \frac{P - P_э}{P_э} \cdot 100 \%, \quad (2.35)$$

Погрешность может быть комбинированной (часть относительной, вторая – приведенной; часть относительной, вторая – абсолютной и т.п.)

Результат считается положительным, если значения основной погрешности не превышают пределов допускаемой основной погрешности на поверяемый калибратор.

Если при поверке калибратора основная погрешность превысила значение предела допускаемой основной погрешности, калибратор бракуют.

После юстировки ("перекалибровки"), согласно инструкции о калибровке изготовителя калибратора, возможно повторное проведение поверки.

Полезная информация: при выборе калибратора для поверки датчика или преобразователя давления необходимо вычислять суммарную относительную погрешность калибратора для каждого диапазона поверяемых датчиков (преобразователей) по давлению (γ_p) и по току (γ_I).

2.12 Контроллеры давления

Контроллеры давления (КД) сочетают в себе функции прецизионного манометра и точного регулятора (контроллера) давления, поэтому их иногда называют калибраторы-контроллеры.

Контроллеры КД представляют собой задатчик - измеритель давления (разрежения), состоящий из высокоточных внутренних и внешних модулей (первичных преобразователей давления), микропроцессорного блока, преобразующего низкоуровневые сигналы первичных преобразователей в цифровую индикацию на дисплее, и устройства задающего (генерирующего) давление.



Рисунок 2.27

Для функционирования КД в режиме генерации давления необходим внешний источник давления (компрессор, баллон со сжатым газом, вакуумный насос). При этом давление питания через систему пневмораспределителей, пневмоемкостей и клапанов поступает в выходную пневмомагистраль, где измеряется посредством высокоточного сенсора давления, сигнал с которого поступает на вход микропроцессорного блока, управляющего работой электропневмоклапанов. Клапаны, управляемые по особому алгоритму, пропускают газ в магистраль или наоборот, стравливают выходное давление в атмосферу. Совместная синхронизируемая микропроцессорным блоком, работа клапанов обеспечивает плавный выход давления на заданное значение без перерегулирования, что необходимо для проверки вариации (погрешности, обусловленной наличием гистерезиса) показаний датчиков давления и манометров. После выдержки заданного значения давления в течение заданного интервала времени контроллер, и зависимости от выбранного режима задания давления, автоматически или по команде оператора выходит на следующее заданное значение.

КД с микропроцессорным управлением предназначены для:

- поверки, калибровки и испытаний средств измерений давления, реле и других приборов давления;
- измерений избыточного давления и давления разрежения.

КД может комплектоваться одним или несколькими внешними модулями давления различающихся диапазоном измерений и исполнением по точности.

Для модуля полный диапазон давления может разбиваться на поддиапазоны, один из которых выбирается в качестве рабочего из меню настройки прибора.

Применение внешних модулей позволяет:

- расширить диапазон измерений в область более низких значений давления применением внешних сменных модулей с меньшим диапазоном измерений давления, чем внутренний (встроенный);
- повысить точность КД (в том числе и приобретенного ранее), применением внешних модулей более высокого класса, чем внутренний;
- в случае протяженных пневматических линий связи с поверяемыми датчиками установить внешний эталонный модуль вблизи датчиков и скомпенсировать падение давления на линии связи.

В качестве внешних модулей давления возможно использование модулей других калибраторов давления, например, модулей Метран-518, для контроллера Метран-530. В этом случае КД играет лишь роль регулятора давления, а точность измерений определяется характеристиками соответствующих подключенных внешних эталонов.

2.12.1 Методы и средства поверки

При поверке канала давления контроллеров должны использоваться эталоны и вспомогательные средства измерений:

- эталонные грузопоршневые манометры (грузопоршневые манометры абсолютного давления; грузопоршневые вакуумметры; грузопоршневые манометры дифференциального давления; микроманометры; контроллеры; эталонные барометры и т.п.) подобранные в соответствии с требованиями поверочных схем (для поверки калибраторов кл.т. 0,01 1-го разряда – рабочие эталоны);
- разделители сред (при необходимости);
- уровень с ценой деления 30" или 1' (при применении грузопоршневых манометров);
- гигрометр психрометрический;
- секундомер;
- стальной баллон с газообразным техническим азотом по ГОСТ 9293 или др. рабочей средой по рекомендациям изготовителя (при необходимости);
- ресивер (при необходимости);
- эталоны для измерения и генерации выходных электрических параметров.

2.12.2 Подготовка и условия поверки

При проведении поверки КД должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ - если иные требования не оговариваются ТНПА;
- относительная влажность воздуха от 30 % до 80 %;
- давление в помещении, где проводят поверку (далее - атмосферное давление) от 84 до 106,7 кПа (от 630 до 800 мм рт. ст.):

Вибрация, тряска, удары, наклоны и магнитные поля, кроме земного, влияющие на работу преобразователя КД, должны отсутствовать.

При проведении поверки КД должны соблюдаться следующие требования:

- КД должен быть выдержан при температуре, указанной выше, не менее трех часов, если время выдержки не указано в техническом описании и РЭ: выдержка КД перед началом испытаний после включения питания должна быть не менее 0,5 часа (для некоторых контроллеров не менее 3 часов - см. требования РЭ);
- не подвергать КД воздействию тепловых потоков воздуха и тепловых ударов;
- КД должен быть установлен в рабочее положение с соблюдением указаний технического описания и РЭ;

– поверочная система должна собираться с применением специальных переходных устройств, поставляемых изготовителем;

– всегда используйте в соответствии с рекомендациями руководства пользователя функцию вентилирования перед отключением оборудования давления от порта (штуцера) выхода модуля КД;

– для определения сходимости воспроизведения давления КД необходимо подсоединить к источнику давления обеспечивающему поддержание давления питания на значении на 10 % превышающее верхний предел измерений модуля (если иное не оговаривается в РЭ);

– система, состоящая из соединительных линий, эталонных СИ и вспомогательных средств для задания и передачи измеряемого параметра должна быть проверена на герметичность.

Ниже приведены схемы, для поверки внутреннего модуля избыточного давления и внутреннего модуля давления-разрежения КД Метран-530.

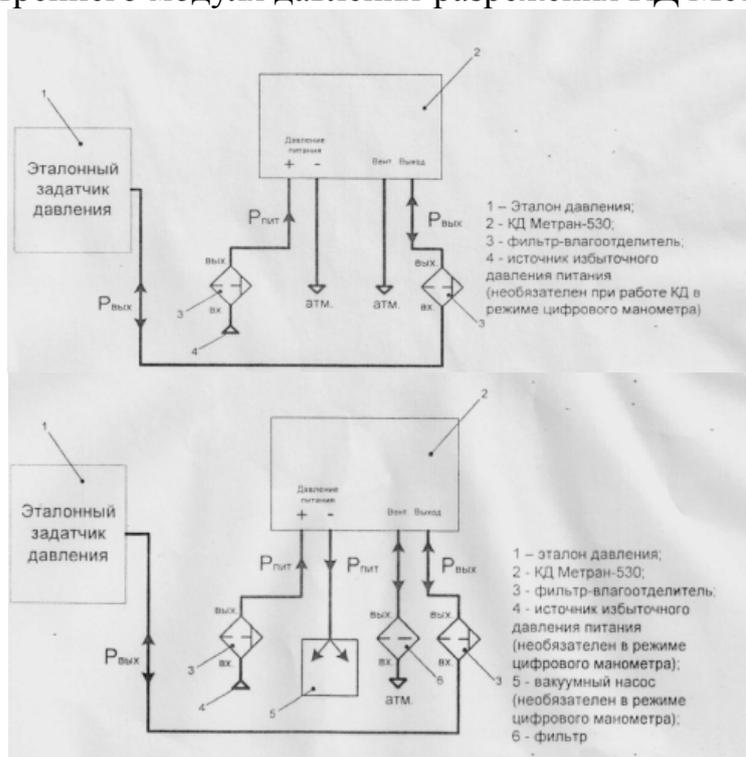


Рисунок 2.28

2.12.3 Операции поверки

➤ **Внешний осмотр.** При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие контроллера следующим требованиям:

– КД должен иметь паспорт (или свидетельство о предыдущей поверке) или документ его заменяющий; при периодической поверке допускается вместо паспорта предоставлять документ с указанием предела измерения-задания давления, требуемого предела допускаемой основной погрешности измерения и номера, присвоенного предприятием-изготовителем. Справка должна быть подписана метрологической службой предприятия, эксплуатирующего КД;

– маркировка на задней панели КД (обозначение и зав. №) должна соответствовать эксплуатационной документации (паспорту):

– на корпусе КД должны отсутствовать механические повреждения (вмятины, трещины и другие повреждения);

– пломбировка корпуса не должна быть нарушена;

– резьбы на присоединительных элементах не должны иметь сорванных ниток.

➤ **Опробование.** При опробовании КД проверить следующее:

– исправность электронного блока;

– работоспособность функции измерения-задания давления.

Для проверки исправности электронного блока достаточно включить КД. При включении КД запускается режим автоматической самодиагностики электронного блока, по результатам которых выводится сообщение об исправности, либо неисправности электронного блока.

Для опробования работоспособности измерения-задания давления в базовом режиме воспроизведения давления подключить КД к поверенному измерителю давления и к источникам питающего давления в соответствии с РЭ. Установить последовательно несколько произвольных значений целевого давления в рабочем диапазоне, включая верхний предел измерения давления/разрежения. В поддиапазоне разрежения от 0 до минус 100 кПа допускается устанавливать максимальное значение разрежения в пределах 0,9...0,95 от атмосферного.

Убедиться, что показания подключенного измерителя давления соответствуют выставленным целевым значениям.

Для КД, работающих с избыточным давлением, работоспособность проверяют только при избыточном давлении. Для КД, работающих также и с разрежением, работоспособность проверяют и при избыточном давлении, и при разрежении.

➤ **Проверка герметичности.** Проверку герметичности необходимо проводить при значениях давления/разрежения, равных верхнему пределу измерения давления/разрежения для данного рабочего модуля КД.

Проверку герметичности КД, осуществляют, контролируя изменение давления в пневмосистеме за промежуток времени.

КД считается герметичным, если после выдержки в течение 5 минут под давлением, равным верхнему пределу измерений рабочего модуля, в течение последующей 1 мин. относительное падение давления (разрежения), определенное по показаниям модуля, не превышает 0,05 % от установленного значения.

При наличии утечки, большей этой величины, необходимо проверить надежность подключения, а также целостность уплотнительных колец переходных элементов пневмомагистрали, соединяющих КД с другим оборудованием в поверочной системе.

➤ **Определение основной погрешности.** Поверка осуществляется отдельно для каждого поддиапазона внутреннего и, если есть, внешнего рабочего модуля давления КД. Поверка осуществляется в режиме измерения давления. Пределы основной допускаемой погрешности измерения приведены в РЭ КД.

Подключить КД к поверенному эталону давления согласно поверочной схеме.

Перед проведением поверки поддиапазонов избыточного давления (разрежения) необходимо произвести один-три цикла нагружения модуля давлением (разрежением), равным его верхнему пределу измерения, с интервалами выдержки при максимальном и нулевом давлении (разрежении) не менее 1 мин. При последовательной поверке нескольких поддиапазонов избыточного давления указанная процедура производится только перед поверкой первого по порядку (наибольшего!) поддиапазона.

Внимание! Непосредственно перед началом снятия данных поверки каждого поддиапазона необходимо обнулить при атмосферном давлении текущий модуль измерения давления (кроме модуля абсолютного давления - см. РЭ).

Определение основной погрешности КД при измерении давления проводится методом сличения показаний КД с действительными значениями давления, воспроизводимыми с помощью соответствующего эталона давления. При этом, в соответствии с РЭ, КД подключается к источнику эталонного давления и переводится в режим измерения давления (режим цифрового манометра).

Поверка производится при монотонном увеличении давления (разрежения) от нуля до ВПИ поддиапазона (прямой ход), выдержке на ВПИ не менее 1 мин с последующим монотонным уменьшением давления (разрежения) до нуля. Рекомендованное количество поверяемых точек должно быть не менее 5, они должны быть достаточно равномерно распределены по поддиапазону измерений и последовательно проходиться на прямом и обратном ходе. В обоснованных случаях допустимо уменьшить количество поверяемых точек. В обоснованных случаях допускается устанавливать максимальное значение давления/разрежения в пределах 0,9...0,95 ВПИ поддиапазона.

Основную погрешность измерения давления, ΔP , определяют в каждой поверяемой точке как отклонение показаний КД на прямом и обратном ходе от действительного значения, определяемого по эталону

$$\Delta P = (P - P_{\text{эт.}})_{\text{макс.}}, \quad (2.36)$$

где P и $P_{\text{эт.}}$ показания поверяемого и эталонного приборов, соответственно.

Для признания поверяемого прибора годным, величина ΔP по модулю не должна превышать предела основной допускаемой абсолютной погрешности измерения давления в каждой точке, определяемые в РЭ и МП.

➤ **Определение сходимости воспроизведения давления.** КД необходимо подсоединить к эталонному средству измерений и источнику давления, обеспечивающему поддержание давления питания на значении на 10 % превышающее верхний предел измерений модуля. Руководствуясь рекомендациями руководства пользователя, в меню задач, пользуясь цифровыми клавишами, ввести значение устанавливаемого давления (произвольное из диапазона воспроизведения и измерения модуля). Нажмите клавишу Control (или другую, в соответствии с рекомендациями руководства пользователя) для запуска собственного нагнетателя. При достижении стабильного значения зафиксировать полученный результат. Повторить операцию десять раз (при одинаковых значениях воспроизведения давления) и вычислить среднее арифметическое значение полученных результатов.

Среднее арифметическое значение основной абсолютной погрешности воспроизведения давления $\Delta_{в\text{ ср.}}$, в Па (бар), вычисляют по формуле

$$\Delta_{в\text{ ср.}} = P_{ср.} - P_{э\text{ ср.}}, \quad (2.37)$$

где $P_{ср.}$ – среднее арифметическое значение воспроизведения давления КД, Па (бар);

$P_{э\text{ ср.}}$ – среднее арифметическое значение действительного значения давления, измеренное эталоном, Па (бар).

Запись "Па" в формуле подразумевает (от величины давления) применение приставок, т.е. кПа, МПа, гПа и т.п.

Если среднее арифметическое значение основной абсолютной погрешности воспроизведения давления превысит значение предела допускаемой основной погрешности КД указанной в РЭ и МП - калибратор бракуют. После перекалибровки (юстировки), согласно инструкции о калибровке изготовителя калибратора, возможно повторное проведение поверки.

➤ **Определение стабильности поддержания заданного давления.** Стабильность поддержания заданного давления S , % (размах колебаний) определяют по полученным значениям воспроизведения давления на сенсорном дисплее КД при определении сходимости воспроизведения давления в ходе сличения с эталоном давления. Возможно определение при однократном воспроизведении давления, с выдержкой при заданном давлении не менее 5 мин. Стабильность поддержания заданного давления S , % вычисляют по формуле

$$S = \frac{P_{r\text{ max}} - P_{r\text{ min}}}{P_{r\text{ max}}} \cdot 100 \quad (1.38)$$

где $P_{t\text{ max}}$ и $P_{t\text{ min}}$ – максимальное и минимальное показание текущего значения давления, измеренные эталоном давления, Па (бар).

Значение стабильности поддержания заданного давления не должны превышать указанных в приложении РЭ и МП.

Список рекомендуемой литературы

1. Артемьев, Б.Г. Справочное пособие для работников метрологических служб: В 2-х кн./ Б.Г. Артемьев, С.М. Голубев - М.: Изд-во стандартов, 1990. - Кн. 1. - 582с.
2. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С.Вентцель - М.: Наука, 1969. - 564 с.
3. Брянский, Л.Н. Краткий справочник метролога. / Л.Н. Брянский, А.С. Дойников — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 79 с.
4. Брянский, Л.Н. Шкалы, единицы и эталоны / Л.Н. Брянский, А.С. Дойников, Б.Н. Крупин - Измерительная техника, — 1992. – №6.
5. Бурдун, Г.Д. Основы метрологии./ Г.Д. Бурдун, Б.Н. Марков — М.: Изд-во стандартов, 1985. —286 с.
6. Грановский, В.А., Методы обработки экспериментальных данных при измерениях./В.А. Грановский, Т.Н. Сирая — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 288с.
7. Деньгуб В.М., Смирнов В.Г. Единицы величин. Словарь-справочник. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 240 с.
8. Долинский Е.Ф. Обработка результатов измерений./ Е.Ф.Долинский — М.: Изд-во стандартов,1973. – 192 с.
9. Исаев Л.К., Малинский В.Д. Метрология и стандартизация в сертификации. / Л.К.Исаев, В.Д.Малинский — М.: Изд-во стандартов, 1996. — 179с.
10. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии./ Г.Д.Крылова — М.: Аудит ЮНИТИ, 1998. – 479 с.
11. Куликовский К.Л., Купер В.Я. Методы и средства измерений./ К.Л.Куликовский, В.Я.Купер — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 448 с.
12. Маликов М.Ф. Основы метрологии./ М.Ф.Маликов — М.: Изд-во Коммерприбор, 1949.— 447 с.
13. Назаров Н.Г. Измерения: планирование и обработка результатов./ Н.Г.Назаров — М.: Изд-во стандартов, 2000. — 304 с.
14. Рабинович С.Г. Погрешности измерений./ С.Г.Рабинович — Л.: Энергия, 1978. — 262 с.
15. Рейх, Н.Н., Метрологическое обеспечение производства / Н.Н. Рейх, А.А. Тупиченков., В.Г. Цейтлин; под. ред. Л.К. Исаева. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — 248 с.
16. Селиванов М.Н., Фридман А.Э., Кудряшова Ж.Ф. Качество измерений. Метрологическая справочная книга./ М.Н.Селиванов, А.Э.Фридман, Ж.Д. Кудряшова — Л.: Лепиздат, 1987.—295с.
17. Харт Х. Введение в измерительную технику. / Х.Харт — Пер. с нем. — М.: Издательство «Мир», 1999.-391 с.
1. Исаев Л.К., Мардин В.В. Русско-англо-французско-немецко-испанский словарь основных и общих терминов в метрологии./ Л.К.Исаев, В.В.Мардин — М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998.
2. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс./А.Э. Фридман -С.-Пб.:НПО «Профессионал», 2008.-284 с.
3. Балалаев В.А., Слаев В.А., Синяков А.И. Теория систем воспроизведения единиц и передачи их размеров/ В.А.Балалаев, В.А.Слаев, А.И.Синяков: Науч.

издание – Учеб. Пособие/ Под ред. В.А.Слаева.- С Пб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. _160с.: ил.

4. Кузнецов В.А., Ялунина Г.В. Общая метрология./ В.А.Кузнецов, Г.В.Ялунина - М.:ИПК Издательство стандартов, 2001. - 272 с.

5. Астафьева Л.Е., Ефремова Н.Ю., Ленько Е.М «Единицы измерений. Методическое пособие»/ Л.Е.Астафьева, Н.Ю.Ефремова, Е.М.Ленько - под общ.ред. Н.А. Жагоры – Минск : БелГИМ, 2008.– 64 с. ISBN 978-985-6726-31-9.

6. Жагора Н.А. Методы оценки и прогнозирования стабильности функционирования системы обеспечения единства измерений в РБ. Доклад диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук./ Н.А.Жагора. – Мн.: 2005. – 133с.

7. Жагора Н.А., Астафьева Л.Е, Головин А.Н. Оценка и прогнозирование стабильности функционирования эталонных комплексов на основе закона ГАНКА / Н.А.Жагора, Л.Е.Астафьева, А.Н.Головин; под общ.ред. Жагоры Н.А. –Мн.: БелГИМ, 2003.-253 с.

8. Национальные и исходные эталоны Беларуси. Каталог./ Корешков В.Н [и др.] - Мн.: БелГИМ, 2004 – 28 с.

9. GUM «Руководство по выражению неопределенности измерения» перевод с англ. под науч. ред. проф. Слаева В.А. – ГП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, С.-Петербург, 1999.

10. Закон Республики Беларусь от 20 июля 2006 г. № 163-З О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений».

11. Закон Республики Беларусь от 5 января 2004г. №262-З «О техническом нормировании и стандартизации».

12. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 13 февраля 2007 г. №6 «Об утверждении Положения о Государственном реестре национальных эталонов единиц величин Республики Беларусь».

13. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 15 февраля 2007 г. №7 «Об утверждении Положения о государственной метрологической службе».

14. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 6 марта 2007 г. №13 «Об утверждении Положения о Государственном реестре средств измерений Республики Беларусь».

15. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 27 мая 2008 г. №29 «О внесении дополнений и изменений в постановление Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 7 марта 2007 г. №14».

16. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 7 марта 2007 г. №14 «Об утверждении Инструкций о порядке применения знака утверждения типа средств измерений, знака поверки средств измерений, знака маркировки фасованных товаров и их формах».

17. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики

Беларусь от 15 марта 2007 г. №16 «Об утверждении Инструкции о порядке осуществления метрологического контроля».

18. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 16 марта 2007 г. №17 «Об утверждении Перечня областей в сфере законодательной метрологии».

19. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 10 марта 2010 г. № 7 «О внесении изменений и дополнений в инструкцию о порядке осуществления метрологического контроля».

20. Технический регламент Республики Беларусь ТР 2007/003/ВУ «Единицы измерений, допущенные к применению на территории Республики Беларусь».

21. ТКП 8.000-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Основные правила организации и функционирования

22. ТКП 8.001-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Государственные испытания средств измерений. Правила проведения работ.

23. ТКП 8.002-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Эталоны единиц величин. Порядок разработки, утверждения, регистрации, хранения и применения.

24. ТКП 8.003-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Поверка средств измерений. Правила работ.

25. ТКП 8.004-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическая аттестация средств измерений. Правила проведения работ.

26. ТКП 8.005-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Стандартные образцы. Основные положения.

27. ТКП 8.006-2011 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическое подтверждение пригодности методик выполнения измерений. Правила проведения работ.

28. ТКП 8.014-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Калибровка средств измерений. Правила проведения работ.

29. СТБ 8017-2004 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Статистическая оценка метрологических характеристик эталонных средств измерений и адаптивное определение их межповерочных интервалов. Основные положения.

30. СТБ 8018-2004 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Аналитическая оценка стабильности метрологических характеристик эталонов.

31. СТБ 8025-2005 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Поверочные схемы. Построение и содержание. Порядок разработки, утверждения, регистрации и применения.

32. СТБ ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Общие принципы и определения.

33. СТБ ИСО 5725-2 –2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяе-

мости и воспроизводимости стандартного метода измерений.

34. СТБ ИСО 5725-3 –2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 3. Промежуточные меры прецизионности стандартного метода измерения

35. СТБ ИСО 5725-4-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 4. Основной метод определения правильности стандартного метода измерений.

36. СТБ ИСО 5725-5-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 5. Альтернативные методы определения прецизионности стандартного метода измерений.

37. СТБ ИСО 5725-6-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике.

38. ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

39. ГОСТ 8.017-79 «Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений избыточного давления до 250 МПа».

40. ГОСТ 8.092-73 «Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, тягомеры и тягонапорометры с унифицированными электрическими (токовыми) выходными сигналами. Методы и средства поверки».

41. ГОСТ 8.107-81 ГСИ. «Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений абсолютного давления в диапазоне $1 \cdot 10^{-8}$ - $1 \cdot 10^3$ Па».

42. ГОСТ 8.111-74 «Мановакуумметры грузопоршневые типа МВП-2,5. Методы и средства поверки».

43. ГОСТ 8.187-76 «Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений разности давлений до $4 \cdot 10^4$ Па».

44. ГОСТ 8.207-76 Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.

45. ГОСТ 8.302-78 Микроманометры жидкостные компенсационные с микрометрическим винтом типа МКВ-250. Методы и средства поверки.

46. ГОСТ 8.340-78 Манометры грузопоршневые типа МП-0,4. Методы и средства поверки.

47. ГОСТ 8.395-80 ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования

48. ГОСТ 8.401-80 Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования.

49. ГОСТ 8.479-82 Манометры избыточного давления грузопоршневые. Методы и средства поверки.

50. ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

51. ГОСТ 12.4.009-83 Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.

52. ГОСТ 9736-91 Приборы электрические прямого преобразователя для измерения неэлектрических величин. Общие технические требования и методы испытаний.
53. ГОСТ 2405-88 Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры показывающие и самопишущие. Общие технические условия.
54. СТБ ИСО/МЭК 17025-2007 «Общие требования к компетентности калибровочных и испытательных лабораторий».
55. ISO/IEC Guide 98-1:2009 «Неопределенность измерения. Часть 1. Введение к выражению неопределенности измерения».
56. ISO/IEC Guide 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995)».