



Особенности применения грузопоршневых манометров

А. В. Зуев, С. Г. Любецкий, О. В. Мошенская

Національний научний центр "Інститут метрології", ул. Мироносицкая, 42, 61002, Харьков, Украина
sergiy.lyubetskiy@metrology.kharkov.ua

Аннотация

Рассмотрены основные разновидности эксплуатирующихся в Украине грузопоршневых манометров: грузопоршневые манометры избыточного и абсолютного давления с простым поршнем, грузопоршневые манометры избыточного давления с поршнем с противодавлением, грузопоршневые манометры избыточного и абсолютного давления с дифференциальным или сложным поршнем, грузопоршневые манометры дифференциального давления, пневматические задатчики давления. Указаны преимущества и недостатки указанных конструкций манометров. Приведен перечень факторов, влияющих на точность воспроизведения давления грузопоршневыми манометрами: влияние температуры, разности высот между эталоном и поверяемым (калибруемым) прибором, влияние деформации поршня, зависимость воспроизводимого давления от ускорения свободного падения. Приведены формулы для расчета ускорения свободного падения и для определения поправок. Также рассмотрены особенности использования грузопоршневых манометров в метрологической практике.

Ключевые слова: давление, грузопоршневой манометр, измерительная поршневая система, ускорение свободного падения, поправка.

Получено: 20.11.2017

Отредактировано: 05.12.2017

Одобрено к печати: 14.12.2017

Подвид "давление" вида измерений "масса и связанные с ней величины" является одним из самых массовых. По этому подвиду в эксплуатации находится более 4 млн средств измерительной техники. Как следствие, для такого количества приборов необходима большая эталонная база, значительную часть которой составляют грузопоршневые манометры. Данные приборы имеют ряд особенностей, которые, несмотря на их распространенность, зачастую не известны потребителям.

Принцип действия грузопоршневого манометра (ГПМ) основан на уравнивании измеряемого давления давлением, создаваемым весом поршня с грузоприемным устройством и грузов. В настоящее время грузопоршневые манометры в Украине применяются в качестве эталонов практически во всем диапазоне абсолютных и избыточных давлений, за исключением измерений высокого вакуума и давлений выше 250 МПа, и характеризуются высокой точностью и стабильностью характеристик. Рассмотрим наиболее распространенные разновидности грузопоршневых манометров, находящихся в эксплуатации в Украине.

1. ГПМ с простым поршнем — наиболее распространенный тип манометров, который применяется для воспроизведения избыточного, а также

абсолютного давлений. Примеры ГПМ избыточного давления — находящиеся сейчас в эксплуатации манометры МП-0,6, МП-6, МП-60, МП-600, МП-2500, а также значительное количество манометров зарубежного производства (рис. 1). Рабочей средой в этих манометрах является жидкость или газ. Преимущества данных манометров — простота конструкции, а недостаток — увеличение скорости опускания поршня при увеличении давления в измерительных поршневых системах (ИПС), изготовленных из стали, вследствие увеличения ширины зазора из-за деформации. Однако зарубежные манометры, у которых, в большинстве случаев, поршень и цилиндр ИПС изготовлены не из стали, а из карбида вольфрама, имеют малую деформацию и вследствие этого — примерно одинаковую скорость опускания во всем диапазоне. Кроме того, это позволяет в манометрах, работающих на жидкости, использовать жидкости с небольшой вязкостью, что значительно повышает чувствительность ГПМ. Манометры, применяющиеся для воспроизведения избыточного и абсолютного давлений, для воспроизведения последнего имеют вакуумный кожух, под который во время работы помещаются грузы и из-под которого производится откачка воздуха до остаточного давления 13 Па и меньше.



Рис. 1. Газовый манометр абсолютного давления 2465

2. ГПМ избыточного давления с простым поршнем с противодавлением применяется в поршневых системах высокого давления, в которых, с целью компенсации увеличения зазора при увеличении давления, используется конструкция ИПС с противодавлением.

3. ГПМ с дифференциальным поршнем или со сложной ИПС (многопоршневые системы) применяются при измерении высоких и низких давлений, а также абсолютных давлений. Примерами таких манометров являются манометры МВП-2,5, МАД-720, МПА-15 и др. Применение в конструкции сложной ИПС, например, МПА-15 (рис. 2), позволяет воспроизводить отрицательное избыточное давление, а также абсолютное давление без использования вакуумного кожуха над грузами, то есть во время воспроизведения абсолютного давления грузы находятся при атмосферном давлении.



Рис. 2. Манометр абсолютного давления МПА-15

4. ГПМ дифференциального давления состоят из двух ИПС с простым поршнем с возможностью создания давления независимо друг от друга. Предназначены для поверки и калибровки приборов, измеряющих разность давлений (дифференциальное давление). При этом ИПС подключаются к разным выходам прибора, затем на них нагружаются грузы для создания давления, соответствующего опорному давлению прибора. После этого ИПС отключаются друг от друга и на одну из них производится нагружение дополнительными грузами, соответствующими задаваемой разности давлений. Примеры таких манометров — МПД-100, М4000DASF, СРВ5600DP (рис. 3).

5. Пневматические задатчики давления с нецилиндрическим поршнем применяются для воспроизведения малых избыточных давлений. Наиболее часто используемые представители приборов этого типа — задатчик давления Метран 505 Воздух (рис. 4). Существует также модификация этого задатчика для воспроизведения разности давлений.

Рассмотрим преимущества и недостатки ГПМ, а также особенности использования последних.

Преимущества:

1) высокая точность (вплоть до 0,005 %), что обеспечивает поверку и калибровку большинства находящихся в эксплуатации приборов;

2) в основной части диапазона воспроизведения давления нормируется относительная погрешность;

3) высокая надежность и стабильность. При должном обращении с поршневым манометром, а именно: использование очищенной рабочей жидкости или газа (при необходимости — использование фильтров или разделителей) и регулярная ее замена, аккуратность в пользовании и т. п. — он имеет очень большой срок службы;

4) относительно продолжительный рекомендованный межкалибровочный интервал — 2 года;

5) в комплект некоторых ГПМ может входить несколько поршневых пар, что значительно расширяет диапазон использования манометра.

Однако наряду с преимуществами, ГПМ имеют ряд недостатков.

1. Значительные размеры и вес приборов. Как правило, ГПМ устанавливаются на мощной станине, в их комплект входят грузы, вследствие чего они являются весьма труднотранспортируемыми приборами.

2. Использование грузов для измерения давления, что влечет за собой дискретность задания давления (либо необходимость расчета массы грузов для создания давления в любой точке), потребность в физическом снятии или наложении грузов.

3. Зависимость воспроизводимого давления от ускорения свободного падения. В большинстве случаев грузы на поршневых манометрах проградуированы в единицах давления, однако давление,



Рис. 3. Манометр дифференциального давления CPB5600DP



Рис. 4. Задатчик избыточного давления Метран 505 Воздух с комплектом грузов

указанное на грузах, будет соответствовать действительному лишь в том случае, если ускорение свободного падения, с учетом которого были изготовлены грузы, совпадает с ускорением, действующим в месте проведения измерений. В случае несоответствия действительное давление необходимо рассчитывать по формуле [1]

$$P_d = P_n \cdot \frac{g_m}{g_r},$$

где P_n — давление, указанное на грузах; g_m — местное ускорение свободного падения; g_r — ускорение свободного падения, для которого рассчитаны массы грузов.

Ускорение g может быть указано в эксплуатационной документации на прибор, первичном заводском свидетельстве (сертификате), а также и на

самом приборе. Значение g_m может быть определено экспериментально с применением гравиметра либо же рассчитано с использованием эмпирической формулы:

$$g_m \approx 9,780327(1 + 0,0053024 \sin^2 \varphi - 0,0000058 \sin^2 2\varphi) - 3,086 \times 10^{-6} h,$$

где φ — широта места проведения измерений, град.; h — высота над уровнем моря, м.

4. Необходимость использования отдельного комплекта грузов для каждой некротной единицы давления (либо расчета воспроизводимого давления, если грузы отградуированы в единицах массы).

5. Для манометров, использующих масло в качестве рабочей жидкости, необходимо использование переходных камер для поверки пневматических приборов, особенно кислородных.

6. Для манометров абсолютного давления необходим насос для создания вакуума под кожухом, в котором находятся грузы (для ГПМ с простым поршнем), либо в вакуумной камере (для приборов со сложным поршнем), а также необходим вакуумметр для измерения величины остаточного давления.

7. При загрязнении рабочей среды вращение поршней затрудняется, что снижает чувствительность прибора и точность воспроизведения давления, а в некоторых случаях может привести к преждевременному износу, а в некоторых случаях и к заклиниванию поршня в цилиндре.

Также процесс воспроизведения давления с помощью ГПМ имеет следующие особенности.

В процессе воспроизведения давления для уменьшения трения поршня о цилиндр необходимо обеспечить вращение поршня относительно цилиндра вручную либо с помощью механизма вращения. Исключение составляют пневматические задатчики давления, в которых поршень не вращается, поскольку в рабочем положении находится во всплывшем состоянии и не касается цилиндра.

Скорость опускания поршня должна быть достаточной для выполнения измерений. Увеличение скорости опускания поршня свидетельствует об изношенности либо деформации ИПС.

Отклонение температуры поршневой пары от номинальной необходимо учитывать, введя соответствующую поправку [1]:

$$P = P_0 / [1 + (\alpha + \beta)(t - t_0)],$$

где P_0 — значение давления при нормальной температуре 20 °С, Па; t — температура поршневой системы, °С; t_0 — нормальная температура 20 °С; α и β — коэффициенты линейного теплового расширения материала поршня и цилиндра, °С⁻¹.

Для введения поправки необходимо контролировать непосредственно температуру поршневой системы.

Также необходимо учитывать поправку на разность высот, в особенности это касается ГПМ, использующих в качестве рабочей среды жидкость. Для правильного введения поправки следует измерить разность между торцом поршня в рабочем положении и штуцером, к которому подклю-

чен поверяемый или калибруемый прибор. Для определения расположения торца поршня (если в документации на манометр отсутствуют чертежи и эта информация отсутствует в сертификате калибровки) необходимо вынуть поршень из цилиндра и измерить его длину, а затем рассчитать разность высот между торцом поршня в рабочем положении и выходным штуцером манометра.

Для манометров с верхним пределом воспроизведения давления более 10 МПа необходимо введение поправки на деформацию поршня, рассчитываемой по формуле [2]

$$P = P_0 / (1 + \lambda P_n),$$

где λ — коэффициент деформации материала поршня и цилиндра, Па⁻¹.

В некоторых моделях ГПМ высокого давления деформация поршня компенсируется изменением массы грузов. В таком случае наложение грузов необходимо проводить последовательно, в соответствии с нумерацией грузов.

Таким образом, для определения соответствия маркировки груза создаваемому давлению необходимо проведение соответствующих расчетов, лишь выполнение которых может обеспечить на практике точность, соответствующую классу точности манометра.

Для эксплуатации ГПМ в качестве эталона он должен пройти процедуру калибровки с получением сертификата калибровки.

Выводы

Очевидно, что использование грузопоршневых манометров на практике сопряжено с рядом трудностей и требует привлечения высококвалифицированного персонала, а также выполнения значительного объема расчетов для достижения заявленной точности. В связи с этим рекомендуется использовать ГПМ исключительно в тех случаях, когда необходим очень высокий класс точности (0,02 и менее). В остальных случаях значительно более целесообразным будет использование цифровых приборов (калибраторов, контроллеров и др.), обеспечивающих достаточную точность при значительно большей простоте использования.

Особливості застосування вантажопоршневих манометрів

О.В. Зуєв, С.Г. Любецький, О.В. Мошенська

Національний науковий центр "Інститут метрології", вул. Миросицька, 42, 61002, Харків, Україна
sergiy.lyubetskiy@metrology.kharkov.ua

Анотація

Розглянуто основні різновиди вантажопоршневих манометрів, що експлуатуються в Україні: вантажопоршневі манометри надлишкового та абсолютного тиску з простим поршнем, вантажопоршневі манометри надлишкового тиску з поршнем із протитиском, вантажопоршневі манометри надлишкового та абсолютного тиску з диференціальним або складним поршнем, вантажопоршневі манометри диференціального тиску, пневматичні задатчики тиску. Указано переваги та недоліки цих конструкцій манометрів. Наведено перелік факторів, що впливають на точність відтворення тиску вантажопоршневими манометрами: вплив температури, різниці висот між еталоном та приладом, що перевіряють (калібрують), вплив деформації поршня, залежність тиску, що відтворюється, від прискорення вільного падіння. Наведено формули для розрахунку прискорення вільного падіння та для визначення поправок. Також розглянуто особливості використання вантажопоршневих манометрів у метрологічній практиці.

Ключові слова: тиск, вантажопоршневий манометр, вимірювальна поршнева система, прискорення вільного падіння, поправка.

The features of use of the deadweight piston gauges

O.V. Zuyev, S.G. Lyubetskiy, O.V. Moshenska

National Scientific Centre "Institute of Metrology", Myronosytska Str., 42, 61002, Kharkiv, Ukraine
sergiy.lyubetskiy@metrology.kharkov.ua

Abstract

The main types of the deadweight piston gauges operated in Ukraine, namely, deadweight piston gauges of gauge and absolute pressure with a simple piston, deadweight piston gauges of gauge pressure with a counter-pressure piston, deadweight piston gauges of gauge and absolute pressure with a differential or complex piston, deadweight piston gauges of differential pressure, pneumatic pressure generators, are considered. Advantages and disadvantages of the mentioned gauge designs are indicated. The list of factors influencing the accuracy of pressure reproduction by piston pressure gauges — the effect of temperature, height difference between the measurement standard and the verified (calibrated) instrument, the effect of deformation of the piston, the dependence of the reproduced pressure on the gravitational acceleration — is provided. Formulas are given for calculating the gravitational acceleration and for determining the corrections. In addition, the features of using the deadweight piston gauges in metrological practice are considered.

Keywords: pressure, deadweight piston gauge, piston-cylinder assembly, acceleration of gravity, correction.

Список літератури

1. Жоховский М.К. Теория и расчет приборов с неуплотненным поршнем. Москва: Изд-во стандартов, 1980. 312 с.
2. EURAMET cg-3 Version 1.0 (03/2011) Calibration of Pressure Balances. URL: <https://www.euramet.org/publications-media-centre/cgs-and-tgs/>

References

1. Zhohovskiy M.K. Teoriya i raschet priborov s neuplotnennym porshnem. [Theory and calculation of free-piston gauges]. Moscow, Izd-vo standartov, 1980. 312 p. (in Russian).
2. EURAMET cg-3 Version 1.0 (03/2011) Calibration of Pressure Balances. <https://www.euramet.org/publications-media-centre/cgs-and-tgs/>