

531.787.1

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ МАНОМЕТРОВ

Юрин А.И., Нефедов А.П.

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Рассмотрены достоинства и недостатки манометров с упругим чувствительным элементом. Проведен факторный эксперимент для выявления зависимости метрологической надежности манометров различных производителей от уровня и продолжительности перегрузок по измеряемому давлению. Рассмотрены методы защиты манометров от перегрузок.

Ключевые слова: манометр, метрологическая надежность, погрешность

Поскольку среди всех измерений, проводимых в России, около 30% относятся к измерению давления [1], проведение исследований, направленных на повышение метрологической надежности манометров является актуальной задачей.

В большинстве манометров, применяемых в различных отраслях промышленности, в качестве первичного измерительного преобразователя применяют упругие чувствительные элементы в виде трубчатой пружины, мембраны, сильфона и т.д. Таким образом, давление преобразуется в деформацию упругого элемента δ , которая затем преобразуется в электрический сигнал с помощью вторичного преобразователя либо служит для перемещения стрелки отсчетного устройства. Такие манометры отличаются простотой конструкции, низкой стоимостью, достаточно высокой точностью и поэтому широко используются в качестве рабочих средств измерений. При этом метрологические характеристики и надежность подобных манометров в значительной степени зависят от параметров и качества изготовления упругого чувствительного элемента.

В настоящее время для измерения малых и средних давлений наибольшее распространение получили манометры с измерительным механизмом на основе одновитковой трубчатой пружины (трубки Бурдона), имеющей плоскоовальную или эллиптическую форму поперечного сечения, и передаточного механизма в виде зубчатого сектора (рис. 1). Основными недостатками подобных манометров являются наличие остаточных деформаций трубчатой пружины, приводящих к появлению вариации показаний, а также возможность изменения её упругих свойств при превышении уровня измеряемого давления над верхним пределом измерений (ВПИ) [2].

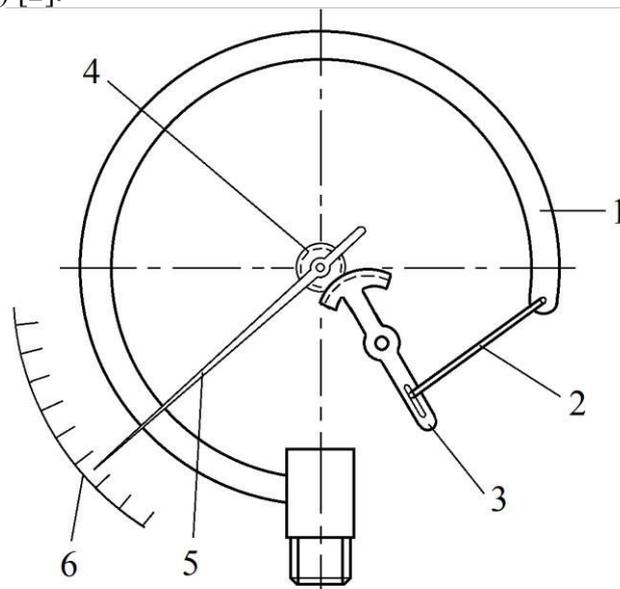


Рис. 1. Схема манометра с трубчатой пружиной и передаточным механизмом в виде зубчатого сектора: 1 - трубчатая пружина (трубка Бурдона); 2 – тяга (поводок); 3 - зубчатый сектор; 4 – зубчатое колесо (трибка); 5 – стрелка; 6 - шкала

Однако если погрешность от вариации нормирована и не должна превышать предельно допустимое значение для соответствующего класса точности, то изменение упругих свойств чувствительного элемента может привести к увеличению погрешности измерений и метрологическому отказу манометра, который будет выявлен только при очередной поверке прибора. Невысокая метрологическая надежность может быть обусловлена влиянием условий эксплуатации на свойства измерительного механизма, поскольку даже при относительно небольшом превышении рабочего давления над ВПИ может произойти необратимая пластическая деформация чувствительного элемента или выход из строя передаточного механизма.

Для исследования влияния уровня превышения давления на метрологическую надежность манометров был проведен полный факторный эксперимент (ПФЭ) [3], в качестве объекта которого выступили новые исправные манометры нижнего ценового сегмента наиболее распространенных в России производителей – «WIKА» (Германия), «Росма» (Россия) и «Метер» (Россия). Их основные характеристики представлены в табл. 1. В качестве референтной группы рассмотрены манометры среднего ценового сегмента МПЗ-У (Россия). Погрешность всех манометров была предварительно исследована по 5 контрольным точкам и не превышала 0,1 bar (1 bar = 10⁵ Па).

Таблица 1

Характеристики исследованных манометров

Изготовитель	Модель	Класс точности	Диапазон, bar	Примерная цена, руб.*
WIKА	111.10	2,5	16	450
Росма	ТМ-110	2,5	16	300
Метер	ДМ 02	2,5	16	250
МПЗ	МПЗ-У	1,5	16	360

Примечание: * - по состоянию на 01.01.2016 г.

Согласно ГОСТ 2405-88 манометры с ВПИ до 10 МПа должны выдерживать перегрузку избыточным давлением в 25% над ВПИ в течение 15 минут и после выдержки без давления не менее 1 часа соответствовать указанному классу точности. Однако более длительное воздействие избыточного давления может привести к метрологическому отказу манометра.

В качестве воздействующих факторов в ПФЭ использовались уровни давления (18, 19 и 20 bar) и время воздействия (15, 30, 45, 60 минут). Каждый манометр подвергался определенному сочетанию уровня давления и длительности воздействия, и, таким образом, для реализации всех возможных комбинаций по условиям ПФЭ было исследовано по 12 манометров каждой марки. После воздействия повышенного давления манометры выдерживали в течение 1 часа без подачи давления для релаксации упругого элемента, после чего производили повторное исследование погрешности. На рис. 2 приведены зависимости максимальной погрешности манометров от превышения давления над ВПИ при разной длительности воздействия (предельная допустимая погрешность исследуемых манометров равна 0,4 bar). Шкала всех рассмотренных манометров проградуирована в bar и перегрузка в 25% соответствует уровню давления 20 bar.

Как видно на рис. 2, при превышении давления над ВПИ на 3...4 bar течение 45 минут и более произошел метрологический отказ манометров «Росма» и «Метер». Погрешность манометров «WIKА» также заметно увеличилась, однако не превысила предельно допустимое значение для соответствующего класса точности.

При проведении аналогичного эксперимента с манометрами референтной группы случаев метрологического отказа выявлено не было (рис. 3). Стоит отметить, что предельная допустимая погрешность в этом случае равна 0,24 bar из-за более высокого класса точности манометров МПЗ-У.

Поскольку все исследованные манометры имеют аналогичную конструкцию, но различаются материалами чувствительного элемента и передаточного механизма (табл. 2), ре-

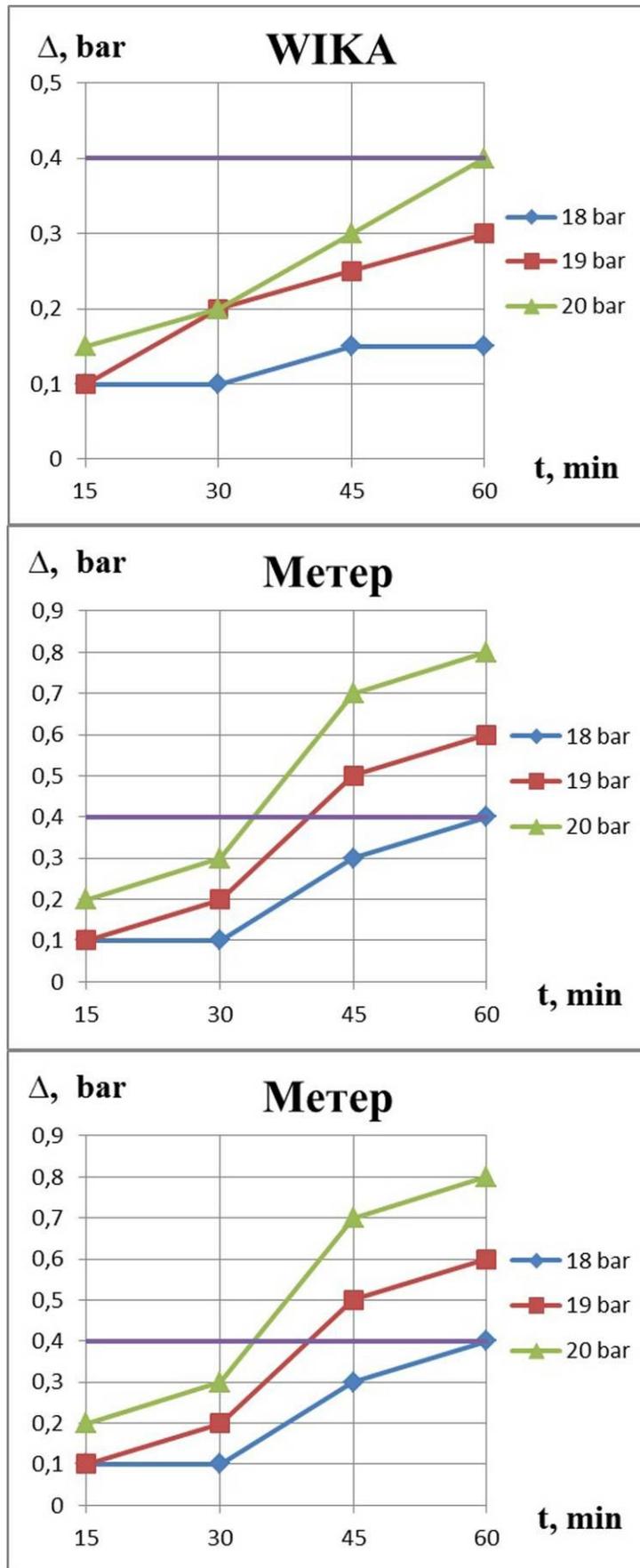


Рис. 2. Зависимость максимальной погрешности манометров от превышения уровня давления над ВПИ при разной длительности воздействия

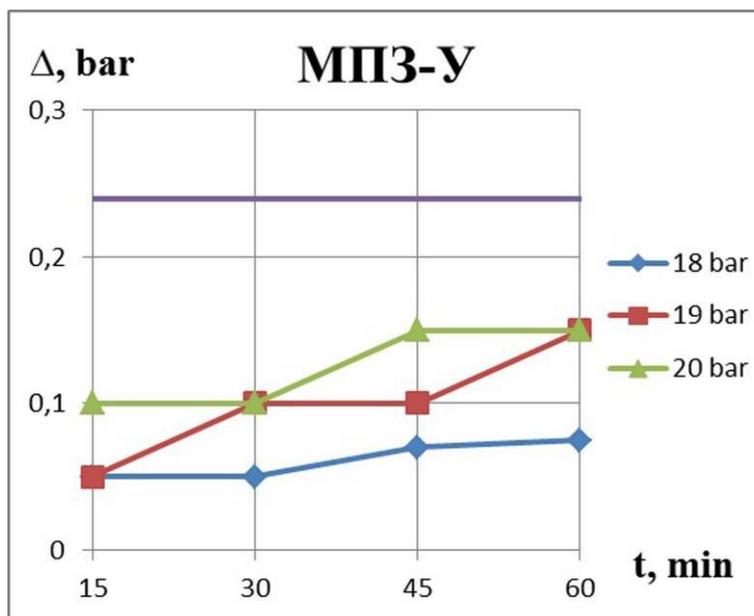


Рис. 3. Зависимость погрешности от превышения давления разной длительности для манометров референтной группы

Таблица 2

Материалы измерительного механизма манометров

Модель	WKA 111.10	Росма ТМ-110	Метер ДМ 02	МПЗ-У
Материал чувствительного элемента	Латунь никелевая, ЛН65-5	Медно-никелевый сплав, МНЦ15-20	Медно-никелевый сплав, МНЦ15-20	Бронза, БРОФ4-0,25
Материал передаточного механизма	Латунь никелевая, ЛН65-5	Медно-никелевый сплав, МНЦ15-20	Медно-никелевый сплав, МНЦ15-20	Латунь никелевая, ЛН65-5; Бронза, БРОФ4-0,25; Сталь, 10

зультаты эксперимента могут свидетельствовать о невысоком качестве материалов измерительного механизма манометров нижней ценовой категории.

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

1) современные рабочие манометры нижнего ценового сегмента имеют невысокую метрологическую надежность;

2) превышение уровня рабочего давления над ВПИ на 3 бар в течение 45 минут и более может привести к метрологическому отказу манометров рассмотренных типов из-за невысоких механических свойств материалов измерительного механизма;

3) для повышения метрологической надежности манометров необходимо применять устройства защиты от перегрузок.

Для снижения частоты метрологических отказов манометров рассмотренных типов можно рекомендовать применение устройств защиты от перегрузок. Наиболее распространенными способами защиты от перегрузок и скачков давления является применение предохранительных клапанов, а также специальных демпферных устройств [2]. Если же нет необходимости непрерывного контроля величины давления, то возможно подключение манометра с помощью кнопочного крана. Такие краны подают давление на вход манометра только в момент нажатия на кнопку, что позволяет обеспечить защиту от скачков и пульсаций давления, контролировать нулевые показания и упрощают замену манометров.

Список литературы

1. Карцев, Е.А. Физические основы преобразования неэлектрических величин в электрические / Е.А. Карцев. - М.: МИЭМ, 2005. - 160 с.
2. Мулев, Ю.В. Манометры. Производственно-практическое издание / Ю.В. Мулев. – М.: МЭИ, 2003. - 280 с.
3. Юрин, А.И. Оптимизация метрологических характеристик индуктивных измерительных преобразователей / А.И. Юрин, Е.А. Карцев, А.Ю. Неборский // Приборы. - 2013. - №10. - С. 5-8.

Об авторах

Юрин Александр Игоревич - к.т.н., доцент, доцент департамента электронной инженерии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», ayurin@hse.ru.

Нефедов Антон Павлович - студент Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», pirat319@gmail.com.

INVESTIGATION OF THE METROLOGICAL RELIABILITY OF MANOMETERS

Yurin A.I., Nefedov A.P.

National Research University "Higher School of Economics"

The advantages and disadvantages of manometers with a resilient sensing element. A complete factorial experiment to determine the dependence of the metrological reliability of manometers. To investigate the effect of the level and duration of measured pressure overload full factorial experiment was performed. As the objects of experiment were new faultless manometers of the lower price segment of the most popular producers in Russia - «WIKA» (Germany), "Rosma" (Russia) and "Meter" (Russia). Since all investigated manometers have a similar structure, but different materials and sensor gear, the experimental results may indicate a low quality of measuring system materials, used for the lower price category manometers. The methods of manometers protection against overloads.

Keywords: *manometer, metrological reliability, measurement errors.*

References

1. Kartsev E.A. *Fizicheskie osnovy preobrazovaniya neelektricheskikh velichin v elektricheskie*. Moscow, MIEM, 2005. 160 p.
2. Mulev Yu.V. *Manometry* [Manometers]. Moscow, MEI, 2003. 280 p.
3. Yurin A.I., Kartsev E.A., Neborsky A.Yu. *Optimizatsiya metrologicheskikh kharakteristik induktivnykh izmeritelnykh preobrazovateley* [Optimization of metrological characteristics of inductive measuring transducers]. *Pribory*, 2013, No 10, pp. 5-8.

Authors' information

Alexander I. Yurin - Candidate of Technical Sciences, docent, associate professor at National Research University "Higher School of Economics", ayurin@hse.ru.

Anton P. Nefedov – student at National Research University "Higher School of Economics", pirat319@gmail.com.