

КАЛИБРАТОР «ЭЛМЕТРО-ПАСКАЛЬ» ДЛЯ ПОВЕРКИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ КЛАССА 0,05



Л.И. Боришпольский,
чл.-корр. Метрологической академии
РФ, лауреат премии Совета Министров
СССР, зам. директора по стратегиче-
скому развитию и новой технике
ООО «ЭлМетро-Инжиниринг»,
bil@elmetro.ru

А.В. Жестков,
канд. физ.-мат. наук, директор
ООО «ЭлМетро-Инжиниринг»,
zav@elmetro.ru

В конце 2019 г. группа компаний «ЭлМетро» выпустила в обращение на рынок новейший калибратор давления ЭЛМЕТРО-Паскаль-03/04, который не имеет аналогов, не побоимся такого утверждения, в мире. В чем же состоит уникальность этого калибратора?

Со времени разработки первого российского калибратора давления – ПКД-10

(рис.1), прошло уже два десятка лет. Авторы это хорошо помнят, поскольку руководи-

КАЛИБРАТОР «ЭЛМЕТРО-ПАСКАЛЬ» ДЛЯ ПОВЕРКИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ КЛАССА 0,05



Рис. 1. Калибратор ПКД-10

ли данной разработкой. Да, тогда это было диковинкой, даже слово «калибратор» еще только приживалось, и рассчитан он был на поверку российских датчиков давления «САПФИР-22» класса 0,25. Соответственно погрешность калибратора по давлению была 0,06%, а по току – 0,05%. А затем был калибратор ПКД-10М и еще целый ряд новых типов, каждый из которых был точнее предыдущего.

Улучшение метрологических характеристик датчиков давления происходило непрерывно все эти годы, погрешность уменьшилась от 0,25% до 0,1%, затем погрешность 0,075% стала «классикой жанра». В настоящее время у некоторых фирм погрешность датчиков в стандартном исполнении стала 0,05%, а в опциях – 0,025-0,04%. А это значит, что такие рабочие СИ, согласно государственной поверочной схеме, по точности соответствуют эталонам 1÷2 разрядов. И куда же тогда при такой точности податься «бедному» метрологу? Сооружать поверочный комплекс из 3-х или 4-х ГПМ класса 0,01, прецизионных цифровых вольтметров 6½÷7½ разрядов и мер сопротивления кл. 0,002? Или?

Вот этим «или» и занялись сотрудники ЭлМетро, то есть решили обеспечить поверку датчиков давления кл. 0,05÷0,065 доступным современным калибратором давления, чтобы была возможность поверки (калибровки) как в лаборатории, так и в «поле», в условиях эксплуатации.

Исходя из классической методики поверки датчиков по МИ 1997-89 был выбран минимальный метрологический запас $\alpha=0,5$. Суммарная погрешность эталонов γ_s :

$$\gamma_s = \gamma_p + \gamma_I \leq 0,5 \cdot \gamma_d (1),$$

где γ_p – погрешность эталона давления, в % от ВПИ диапазона измерения датчика, γ_I – погрешность эталона для измерения выходного токового сигнала датчика, приведенная к его диапазону изменения от 4 мА до 20 мА.

Отсюда $\gamma_s = 0,025\%$, то есть бюджет погрешности средств поверки должен сложиться из погрешности измерения давления γ_p и погрешности измерения тока γ_I .

В настоящее время технический уровень первичных сенсоров давления позволяет создать эталонные многодиапазонные преобразователи класса 0,02. Более точные однодиапазонные кварцевые датчики давления мы не рассматриваем из-за их высокой стоимости и нормирования погрешности в одном диапазоне измерения. Из первичного сенсора давления получить в итоге эталонный прецизионный преобразователь давления – задача из нетривиальных, очень много всяких ноу-хау, но у нас за плечами, как указано выше, был двадцатилетний опыт разработки калибраторов давления, и задача стояла вполне решаемая. А что с погрешностью измерения тока?



Рис. 2. Калибратор давления ЭЛМЕТРО-Паскаль-02 с эталонными преобразователями



Рис. 3. Калибратор давления ЭЛМЕТРО-Паскаль-03 с эталонными преобразователями давления ЭЛМЕТРО-Паскаль-04

Наилучшая точность при измерении выходного тока датчиков была нами достигнута в калибраторах разработки ЭлМетро – Метран-517 и ЭЛМЕТРО-Паскаль-02 (рис. 2), в которых абсолютная погрешность измерения тока $\Delta I = 2 \text{ мкА}$. При приведении погрешности к диапазону 4÷20 мА получим приведенную погрешность:

$$\gamma_{\text{Ипр}} = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{(20 - 4) \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 0,0125\%$$

Практически у всех калибраторов других типов погрешность составляет 3÷5 мкА, что дает $\gamma_{\text{Ипр}} = 0,019\% - 0,031\%$. А с такой погрешностью можно обеспечить поверку датчиков класса 0,1 и грубее. Таким образом, для поверки датчиков давления класса 0,05 был необходим новый калибратор давления, у которого погрешность по давлению $\gamma_{\text{Рз}} = 0,02\%$, а по току $\gamma_{\text{Iз}} = 0,005\%$. И эту задачу с успехом решили в ГК ЭлМетро! Появился калибратор давления ЭЛМЕТРО-Паскаль-03! (рис. 3)

КАЛИБРАТОР «ЭЛМЕТРО-ПАСКАЛЬ» ДЛЯ ПОВЕРКИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ КЛАССА 0,05



Калибратор давления состоит из двух самостоятельных СИ (эталонов):

1. Эталонные преобразователи давления ЭЛМЕТРО-Паскаль-04 (рис. 3) (описание типа 77090-19 в госреестре СИ) имеют класс точности от 0,01 до 0,2 в зависимости от диапазона измерения и вида измеряемого давления. Измерение давления в диапазоне от 1 кПа до 60 Мпа обеспечивают 17 эталонных преобразователей. Виды измеряемого давления: избыточное, абсолютное, барометрическое, разрежение, давление-разрежение, разность давлений.

2. Многофункциональный калибратор ЭЛМЕТРО-Паскаль-03 (описание типа 73828-19 в Госреестре СИ) (рис. 3). Это вторая составляющая калибратора давления. С «точки зрения» датчика давления – это миллиамперметр для измерения его тока. Абсолютная погрешность измерения тока:

$$\begin{aligned}\Delta I_1 &= 0,00003 \cdot I + 0,2 \text{ мкА} = \\ &= 3 \cdot 10^{-5} \cdot 20 \cdot 10^3 \text{ мкА} + 0,2 \text{ мкА} = \\ &= 0,6 \text{ мкА} + 0,2 \text{ мкА} = 0,8 \text{ мкА}.\end{aligned}$$

Приводим это значение к диапазону 4÷20 мА:

$$\gamma_{1\text{эт}} = \frac{0,8 \cdot 10^{-6}}{(20 - 4) \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 0,005\%.$$

У калибратора имеется второе исполнение класса 0,01, у которого:

$$\Delta I_2 = 2,3 \text{ мкА}, \quad \gamma_{2\text{эт}} = 0,014\%.$$

Это исполнение для тех, кому нет необходимости поверять датчики кл. 0,05÷0,065.

Калибратор давления ЭЛМЕТРО-Паскаль-03 = измерительные преобразователи ЭЛМЕТРО-Паскаль-04 + многофункциональный калибратор ЭЛМЕТРО-Паскаль-03 + вспомогательные устройства.

Таким образом, калибратор давления ЭЛМЕТРО-Паскаль-03 – это комплект из двух эталонов:

- набор эталонных преобразователей давления с цифровым выходом ЭЛМЕТРО-Паскаль-04;
- прецизионный измеритель тока «многофункциональный калибратор

ЭЛМЕТРО-Паскаль-03», который, кроме чисто измерительных функций, играет роль устройства отображения на дисплее значений давления, измеренных эталонным преобразователем, и вычисления погрешности поверки. Ну и, разумеется, имеет большое количество пользовательских функций.

По иерархии эталонов ЭЛМЕТРО-Паскаль-04 в соответствии с ГПС по току относится к эталонам первого разряда. А преобразователи ЭЛМЕТРО-Паскаль-04 по ГПС давления, в зависимости от класса точности, относятся к эталонам 1÷3 разрядов.

Эталонные преобразователи ЭЛМЕТРО-Паскаль-04

Подробнее остановимся на устройстве этих приборов. Конструктивно, в зависимости от ВПИ, преобразователи выполнены в двух корпусах. Для относительно высоких давлений в цилиндрическом корпусе 27 мм, а для давлений 7кПа и меньше – в прямоугольном корпусе.

Все диапазоны измерения перекрываются 17 шт. преобразователей, из них 14 шт. необходимы для поверки датчиков ДИ, ДВ и, конечно, ДД. ВПИ преобразователей от 1 кПа у «младшего» и 60 МПа у «старшего». В области абсолютного давления работают 2 преобразователя с ВПИ на 160 кПа и 1 МПа. И, наконец, есть барометрический преобразователь для измерения атмосферного давления, то есть тоже абсолютного давления, но в узком диапазоне 80÷110 кПа.

Нормирование погрешности имеет свои особенности. Во-первых, все преобразователи по числу поверяемых диапазонов датчиков давления являются многодиапазонными – от двух до четырех стандартных (по ГОСТ 25520) диапазонов, в которых сохраняется заявленное значение класса точности. Во-вторых, весь широкий диапазон измерения преобразователей, за исключением 5 шт., делится на 2 поддиапазона, примерно «пополам». Поддиапазон 1 охватывает весь широкий диапазон измерения, поддиапазон 2 имеет диапазон измерения примерно в 2 раза меньше (рис. 4). Это нужно для того, чтобы при градуировке первичного сенсора давления обеспечивалась заявленная погрешность во всем широком

Таблица. Погрешности преобразователя

	1 МПа	600 кПа	400 кПа	250 кПа	160 кПа	100 кПа	60 кПа
Относительная погрешность	0,02	0,02	0,02	0,02	0,031	0,05	0,083
Абсолютная погрешность, Па	200	120	80	50	50	50	50
	Работа в Поддиапазоне 1			Работа в Поддиапазоне 2			

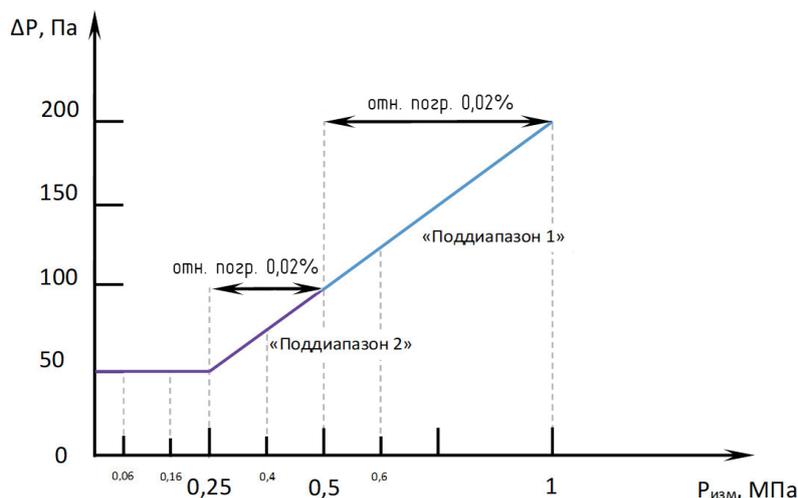


Рис. 4. График погрешности измерения преобразователя

диапазоне измерения преобразователя давления.

Поясним на примере. Возьмем преобразователь модификации 1М, класса 0,02. У него есть «Поддиапазон 1» с диапазоном измерения 0 – 1 МПа и «Поддиапазон 2» с диапазоном 0 – 0,5 МПа. Для каждого из «Поддиапазонов» установлено «переходное давление». Для «Поддиапазона 1» – это $P_{П1} = 0,5$ МПа, для «Поддиапазона 2» – это $P_{П2} = 0,25$ МПа. Переходное давление – это давление, меньшее ВПИ «Поддиапазона», при котором предел допускаемой относительной погрешности измерения $\gamma = \text{к.т.}$, то есть классу точности 0,02 для нашего примера. Тогда в «Поддиапазоне 1» от его $P_{ВПИ} = 1$ МПа и до значения $P_{П1} = 0,5$ МПа нормируется относительное значение погрешности $\gamma_{отн} = \alpha$, равное классу точности. Еще раз: от 1 МПа до 0,5 МПа относительная погрешность измерения будет 0,02, соответственно в этом «Поддиапазоне» абсолютная погрешность измерения составит:

$$\Delta P = \alpha \cdot P_{изм} \quad (2),$$

α – приводится в $\% \cdot 10^{-2}$.

А что, если измеренное давление будет меньше $P_{П1}$? Тут два варианта:

- а) вы продолжаете работать на этом же «Поддиапазоне 1» без переключения. Но при этом погрешность измерения уже будет рассчитываться как приведенная от $P = P_{П1}$.

$$\Delta P = \alpha \cdot P_{П1} \quad (3)$$

Измеренное давление уменьшается, абсолютная погрешность измерения не изменяется, но относительная погрешность возрастает.

- б) вы производите переключение на «Поддиапазон 2». Аналогично, как с «Поддиапазоном 1», от $P = 0,5$ МПа и до $P = 0,25$ МПа будет сохраняться прежнее значение относительной погрешности измерения $\alpha = 0,02\%$, а при давлениях $P_{изм} < P_{П2}$ абсолютная погрешность измерения будет

$$\Delta P = \alpha \cdot P_{П2}$$

КАЛИБРАТОР «ЭЛМЕТРО-ПАСКАЛЬ» ДЛЯ ПОВЕРКИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ КЛАССА 0,05



Таким образом, если рассматривать стандартный ряд давлений: 1 МПа, 600 кПа, 400 кПа, 250 кПа, 160 кПа, 100 кПа, 60 кПа, то применяя на практике то, о чем сказано выше, получим следующие погрешности измерения с преобразователем 1 МА класса 0,02 (см. таблицу). Для наглядности отобразим этот пример на графике (рис. 4).

Таким образом, преобразователь 1 МА обеспечивает погрешность 0,02 в четырех стандартных диапазонах (1 МПа, 0.6 МПа, 0.4 МПа и 0.25 МПа).

Часть преобразователей давления измеряет «разрежение», то есть избыточное отрицательное давление. Иногда, особенно в манометрии, его не вполне правильно называют «вакуумметрическим». У нас эта область всегда называется «разрежением». Преобразователи, измеряющие разрежение от -100 кПа до 0 имеют в обозначении букву «Р». Например, 1МР. Область разрежения не выделяется в отдельный поддиапазон, эта область является частью «Поддиапазона 1» (-0,1 ÷ 1 МПа) или «Поддиапазона 2» (-0,1 ÷ 0,5 МПа).

Возьмем «Поддиапазон 2». Какая погрешность будет при измерении в области разрежения? Для этого поддиапазона $P_{П2} = 0,25$ МПа. По абсолютной величине $P_{П2} = -100$ кПа меньше $P_{П2}$, поэтому погрешность нужно считать, как приведенную от $P_{П2}$:

$$\Delta P = \alpha \cdot P_{П2} = 0,02\% \cdot 0,25 \text{ МПа} = 50 \text{ Па}.$$

Следовательно, погрешность измерения давления при значениях разрежения -100 кПа и -60 кПа составит:

$$\gamma_{-100} = \frac{50 \text{ Па}}{100 \cdot 10^3 \text{ Па}} \cdot 100\% = 0,05\%;$$

$$\gamma_{-60} = \frac{50 \text{ Па}}{60 \cdot 10^3 \text{ Па}} \cdot 100\% = 0,083\%.$$

Рассмотрим еще один пример с преобразователем модификации 40КР. Выберем значения измеряемых давлений: $P_1 = 25$ кПа, $P_2 = 10$ кПа и $P_3 = -6$ кПа. Пусть класс точности эталонного преобразователя $\alpha = 0,03$.

а) $P_1 = 25$ кПа попадает в «Поддиапазон 1». Переходное давление $P_{П1} = 20$ кПа < 25 кПа. Значит, для 25 кПа мы находимся внутри «Поддиапазона 1» и будет нормироваться от

носительная погрешность 0,03%. Абсолютная погрешность $\Delta P_{25} = 0,03\% \cdot 25 \cdot 10^3 = 7,5$ Па.

б) $P_2 = 10$ кПа попадает в «Поддиапазон 2», $P_{П2} = 10$ кПа. Это значит, что погрешность будет относительная – 0,03%. Абсолютная погрешность $\Delta P_{10} = 0,03\% \cdot 10 \cdot 10^3 = 3$ Па.

в) $P_3 = -6$ кПа. «Поддиапазон 2». По абсолютной величине $|-6 \text{ кПа}| = 6 \text{ кПа} < P_{П2} = 10 \text{ кПа}$. Соответственно, погрешность будет нормироваться от $P_{П2} = 10$ кПа. Абсолютная погрешность на 6 кПа $\Delta P_6 = 0,03\% \cdot 10 \cdot 10^3 = 3$ Па. Приводим абсолютную погрешность к 6 кПа:

$$\gamma_6 = \frac{3}{6 \cdot 10^3} \cdot 100\% = 0,05\%.$$

Следующий пример. Преобразователь 1 КР. У него только один «Поддиапазон 1», второго нет. И при этом $P_{П1} = P_{ВП1} = 1$ кПа. Это означает, что у этого преобразователя погрешность только приведенная от $P = 1$ кПа. Если $\alpha = 0,05$, то, к примеру, на ± 1 кПа – $\gamma = \pm 0,05$, а абсолютная погрешность будет $\Delta_a = 0,05 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 10^3 = 0,5$ Па во всем диапазоне измерения от 0 и до ± 1 кПа. На 400 Па:

$$\gamma_{400} = \frac{0,5 \text{ Па}}{400 \text{ Па}} \cdot 100 = 0,125\%;$$

на – 250 Па:

$$\gamma_{-250} = \frac{0,5 \text{ Па}}{250 \text{ Па}} \cdot 100 = 0,2\%,$$

(расчет ведем от абсолютной величины погрешности).

Обобщающий пример. Калибратор давления ЭЛМЕТРО-Паскаль-04 всего с 6 эталонными преобразователями типов 60М, 25М, 7М, 1М, 160КР и 40 КР обеспечит поверку прецизионных датчиков давления классов 0,05 ÷ 0,065 в диапазонах от 10 кПа до 60 МПа и от -10 кПа до -100 кПа. А это 26 стандартных диапазонов измерения датчиков давления. Попробуйте найти аналог!

Как калибратор ЭЛМЕТРО поможет поверить датчики давления с погрешностью 0.035% и 0.04%?

В самом деле, такие датчики уже не редкость, и вопрос об их поверке стоит остро. При метрологическом запасе $\alpha=0,5$ суммар-



Рис. 5. Калибратор в резиновой «калоше»

ная погрешность эталонов для датчиков с погрешностью 0,035% должна быть не хуже:

$$\gamma_3 = \gamma_{3p} + \gamma_{3I} \leq 0,0175\%$$

Самый лучший калибратор давления по функции измерения тока ЭЛМЕТРО-Паскаль-02 или Метран-517 имеют погрешность $\gamma_I = 0,0125\%$, отсюда на эталон давления остается бюджет погрешности $\gamma_{3p} = 0,005\%$. Необходимо выбирать разрядный эталон ГПМ класса 0,005. А если у Вас будет многофункциональный калибратор ЭЛМЕТРО-Паскаль-03, то тогда более чем достаточно ГПМ 1 разряда класса $0,01 \div 0,015$.

А еще ЭЛМЕТРО-Паскаль-03 – это превосходный калибратор токовой петли. Ни один портативный калибратор в мире не имеет таких точных метрологических характеристик! По генерации и измерению тока $4 \div 20$ мА погрешность – 0,005%! Лучшие российские калибраторы, опять же разработки ГК ЭлМетро, имеют погрешность 0,0125%, а самый лучший из зарубежных – 0,014%.

Калибратор ЭЛМЕТРО-Паскаль-03 – это эталон первого разряда по току и вполне подходит для поверки самых точных контроллеров, измерительных преобразователей класса 0,05.

Мы позаботились о повышении потребительских качеств калибратора. Калибратор выполнен в металлическом корпусе из современного проката. И хорошая новость для немножко рассеянных метрологов: при случайном падении калибратора на пол им не придется рыдать над разбитым прибором. У калибратора отличная броня в виде резиновой «калоши» (рис. 5).

У калибратора давления ЭЛМЕТРО-Паскаль-03 еще достаточно много других полезных функциональных возможностей, ознакомиться с которыми Вы можете на сайте www.elmetro.ru в разделе «Продукция – Метрологическое оборудование».

Мы уверены, что наш новый калибратор займет достойное место среди ваших любимых эталонов!

КАЛИБРАТОР «ЭЛМЕТРО-ПАСКАЛЬ»
ДЛЯ ПОВЕРКИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ КЛАССА 0,05

