
ПРИБОРЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ,
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И СПРАВОЧНЫЙ
ЖУРНАЛ

№ 6 (252) 2021

Издавался под названием «Приборы и системы управления» с 1956 г.,
с июля 2000 г. издается под названием «Приборы».

Приборы и средства автоматизации

О.А. Цыбульский, А.Н. Колесников

НОРМИРОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ ПОЛОС ПРЕДЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПРИБОРОВ

Аннотация

Применяемые формы нормирования предельной погрешности не позволяют без поддиапазонов нормировать полосу предельной погрешности широкодиапазонных приборов. Это усложняет сравнение приборов по точности и диапазону измерения. В статье обосновывается целесообразность применения для сравнения приборов формулы нормирования предельной относительной погрешности измерения, включающей в себя аддитивную, мультипликативную и гиперболическую составляющие погрешности. Дополнительная степень свободы, определяемая гиперболической составляющей, позволяет нормировать предельную погрешность без применения поддиапазонов, а также упрощает сравнение приборов с широким диапазоном измерения. В статье показано, что для сравнения точности приборов, независимо от различий их полос предельной погрешности, ширины и количества поддиапазонов измерения, применимы и средняя приведенная предельная погрешность измерения, и число эффективных квантов шкалы. Приведены примеры сравнения расходомеров при помощи этих инструментов.

Ключевые слова: измерение, приборы, точность, нормирование, полоса предельной погрешности, аддитивная, мультипликативная, гиперболическая, критерий по точности и диапазону, широкий диапазон, приведенная погрешность.

Введение

Современные измерительные приборы характеризуются множеством различных параметров. Но если рассматривать только метрологические параметры, приводимые в паспортных данных, например, расходомеров, то их все равно много и по ним достаточно сложно провести корректное сравнение приборов. В паспортных данных

указаны для каждого номинального расхода верхняя и нижняя границы диапазона измерения; 1, 2 или 3 промежуточных переходных расхода, задающих границы поддиапазонов. Для каждого из поддиапазонов задаются значения нормированной предельной погрешности измерения. При этом значения многих параметров задаются достаточно произвольно. Авторы полагают, что для корректного сравнения метрологических

свойств приборов с таким разнообразием значений необходимо применение комплексной метрологической характеристики, которая бы не зависела ни от номинального расхода, ни от диапазона измерения, ни от числа поддиапазонов. Таким критерием могла бы быть, например, усредненная в диапазоне измерения погрешность.

Но прежде целесообразно определиться с возможностью нормирования полосы предельной погрешности единым для всех приборов способом.

Для нормирования погрешности измерений в настоящее время широко используется формула, включающая в себя аддитивную и мультипликативную составляющие погрешности.

При широкодиапазонных измерениях возможностей этой формулы на весь диапазон не хватает. Поэтому вводятся поддиапазоны и предельная погрешность задается на каждом поддиапазоне отдельно: либо в виде ряда предельных значений относительной погрешности, либо в виде сочетания предельных значений относительных и приведенных погрешностей, либо в виде сочетания предельных значений относительной погрешности и двухчленной формулы.

Нормирование погрешности формулой с тремя составляющими

Для нормирования полосы предельной относительной погрешности приборов с параметрическими преобразованиями или приборов с широким динамическим диапазоном в [1], [2] предлагалось применять формулу с тремя составляющими предельной относительной погрешности в виде

$$\delta X = \pm (\delta_a X_n / X + \delta_m + \delta_2 X / X_g), \quad (1)$$

где X , X_n , X_g – текущее значение измеряемой величины, нижняя и верхняя границы диапазона измерений соответственно; $\delta_a = \Delta_a / X_n$ – составляющая аддитивной погрешности измерения Δ_a ; δ_m – мультипликативная составляющая; $\delta_2 = \Delta_2 / X_g$ – составляющая погрешности нелинейности (гиперболической) Δ_2 при $X = X_g$.

Формула (1) включает в себя в виде частных случаев двухчленное (при $\delta_2 = 0$) и одночленное представления предельной погрешности, т. е. позволяет осуществлять нормирование всеми применяемыми в настоящее время способами. Одновременно она позволяет учесть специфику параметрических приборов и приборов с широ-

ким диапазоном измерений, в которых становится существенной погрешность нелинейности. Третья составляющая предельной относительной погрешности, в отличие от аддитивной и мультипликативной составляющих, нормирует гиперболическую нелинейность функции преобразования прибора, присущую параметрическим измерительным преобразователям [3].

В работе [1] показано, что для приборов с широким диапазоном измерения формулу нормирования предельной относительной погрешности (1) при условии $D = X_g / X_n \gg 1$ можно представить в виде, удобном для практического применения:

$$\delta X = \pm [(\delta X_n - \delta_m) X_n / X + \delta_m + (\delta X_g - \delta_m) X / X_g], \quad (2)$$

где δX_n и δX_g – предельные относительные погрешности в нижней и верхней границах диапазона измерений соответственно.

Применение формул (1), (2) позволяет во многих случаях решить задачу нормирования предельной погрешности во всем диапазоне измерений без поддиапазонов.

Таблица 1

Полосы предельной относительной погрешности измерения «Aswega VA2302» и «Прамер-550-В», нормированные с применением поддиапазонов

Расход, м ³ /ч	«Aswega VA2302», относительная погрешность, %	«Прамер-550-В», относительная погрешность, %
0,24	7,8	2
0,6	3,3	2
1,2	1,8	2
1,2	1,8	1
6	0,6	1
10	0,6	1
20	0,6	1
40	0,6	1
60	0,6	1

В качестве примера приведем нормирование предельной погрешности электромагнитных расходомеров «Aswega VA2302» (Эстония) и «Прамер-550-В» (Россия) в динамическом диапазоне измерений 1:250. Нижний поддиапазон расходомера «Aswega VA2302» до расхода $V = 6$ м³/ч нормирован двухчленной формулой $\delta = 0,3(1 + 1/V)$ %, верхний поддиапазон до 60 м³/ч – постоянным значением относительной погрешности 0,6 %. Предельные погрешности «Прамер-550-В» нор-

Таблица 2

Нормирование предельных погрешностей «Aswega VA2302» и «Прамер-550-В» в динамическом диапазоне измерений 1:250 без применения поддиапазонов

Расход, м ³ /ч	«Aswega VA2302», относительная погрешность, %	«Прамер-550-В», относительная погрешность, %
0,24	7,80	2,00
0,6	3,28	1,25
1,2	1,78	1,00
6	0,60	0,82
10	0,50	0,82
20	0,46	0,84
40	0,51	0,92
60	0,60	1,00

мированы таблично значениями 2 % в нижнем и 1 % в верхнем поддиапазонах. Из рис. 1, в котором для наглядности показана только положительная часть полосы погрешности, видно, как сильно различаются полосы предельных погрешностей этих расходомеров при одинаковом динамическом диапазоне.

В табл. 2 и на рис. 2 приведены данные, полученные нормированием предельных погрешностей «Aswega VA2302» [уравнение (3)] и «Прамер-550-В» [уравнение (4)] посредством трехчленной формулы (1) в диапазоне измерений от 0,24 до 60 м³/ч:

$$\delta X_{асв}, \% = (7,53 \cdot 0,24 / X + 0,27 + 0,30X / 60) \% ; \quad (3)$$

$$\delta X_{прам}, \% = (1,26 \cdot 0,24 / X + 0,74 + 0,25X / 60) \% . \quad (4)$$

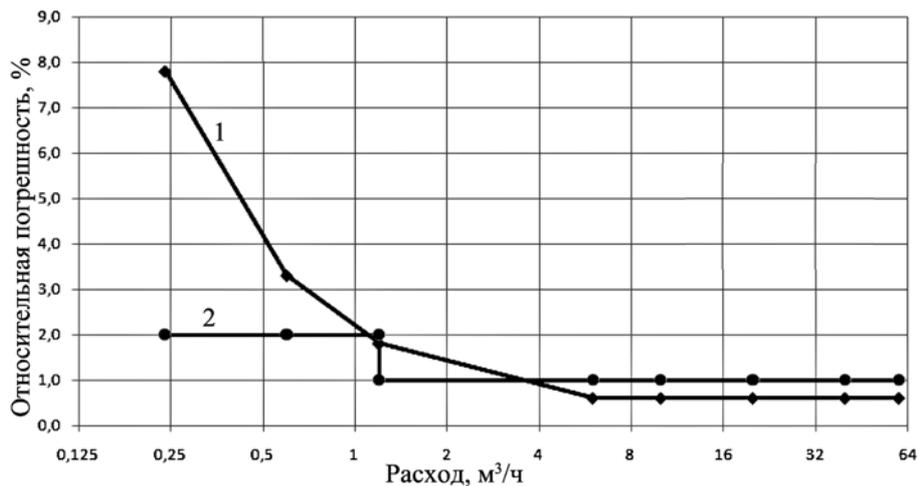


Рис. 1. Полосы предельной относительной погрешности измерения «Aswega VA2302» (линия 1) и «Прамер-550-В» (линия 2), нормированные с применением поддиапазонов

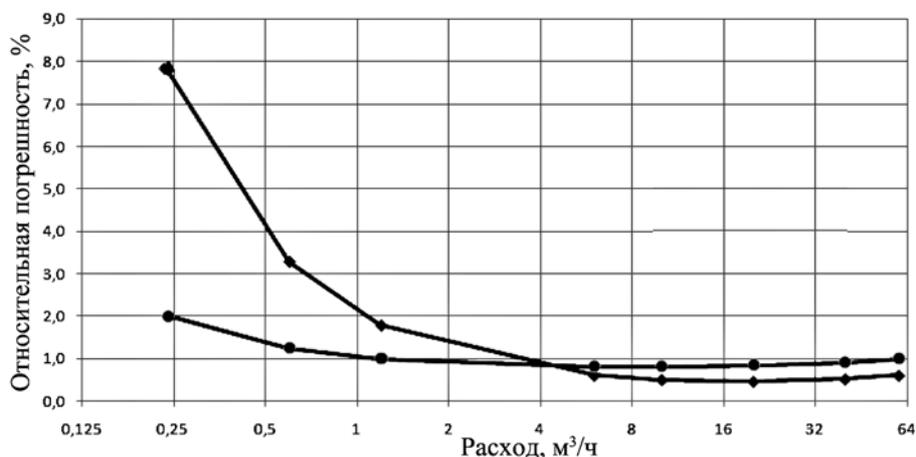


Рис. 2. Нормирование предельных погрешностей «Aswega VA2302» (линия 1) и «Прамер-550-В» (линия 2) в динамическом диапазоне измерений 1:250 без применения поддиапазонов

Приведенный пример показывает, что введение дополнительной степени свободы (гиперболической составляющей) в формулу нормирования предельной погрешности позволяет исключить применение поддиапазонов и задать реальную полосу предельной погрешности, используя минимум параметров: границы диапазона измерения X_n , X_g и аддитивную, мультипликативную, гиперболическую составляющие полосы предельной погрешности δ_a , δ_m , δ_c . Каждый из перечисленных параметров в явном виде присутствует в формуле нормирования (1) и не требует пояснений.

Однако даже при равенстве диапазонов измерения сложно определить, какой прибор точнее без применения комплексного критерия для сравнения.

Критерий для обобщенной оценки приборов по точности и диапазону

Поскольку текущая погрешность изменяется по диапазону, то и оценивать точность прибора необходимо с учетом диапазона измерения. Для решения задачи определения совокупного показателя текущей точности и ширины диапазона прибора предлагались различные критерии.

Одним из критериев является разрешающая способность прибора. Ф.Е. Темников в работе [4] определяет разрешающую способность как «...число квантов измеряемой величины, вписывающихся в полосу неопределенности результата измерения по всей длине рабочего диапазона прибора (в том числе и многопредельного)».

Подобные определения и выражения для критерия совокупного показателя точности и диапазона предложены и другими авторами [5], [6]. Этот критерий для прибора с аддитивно-мультипликативной полосой предельной погрешности можно представить в виде

$$N_{эф} = \frac{1}{2\delta X_g} \ln \left[\frac{D \cdot \delta X_g}{\delta X_n} \right], \quad (5)$$

где $\delta X_n \approx \delta_a + \delta_m$, $\delta X_g \approx \delta_c + \delta_m$ – предельные относительные погрешности соответственно в нижней и верхней границах диапазона измерений; $D = X_g / X_n$ – динамический диапазон измерений; $N_{эф}$ – количество непересекающихся интервалов абсолютной погрешности, которые укладываются в диапазон измерения. Это количество реальных, эффективных квантов, на которые прибор может разделить свою измерительную шкалу.

Подобно меткам шкалы квантования метки эффективных квантов на шкале измерения прибора определяют способность прибора к проведению точных измерений. Чем больше эффективных квантов имеет шкала прибора, тем точнее может быть результат измерений.

В работах [2], [7] предложен расширенный критерий совокупного показателя точности и диапазона для приборов, полоса предельной погрешности которых нормируется формулами (1), (2) с тремя составляющими погрешности. Выражение критерия имеет вид

$$N_{эф} = \frac{1}{2\delta_m} \ln \left(\frac{D \cdot \delta_m^2}{\delta X_n \cdot \delta X_g} \right). \quad (6)$$

Выражение критерия (6) справедливо при выполнении условий $D = X_g / X_n \gg 1$ и $D\delta_m > 4(\delta X_g - \delta_m)(\delta X_n - \delta_m)$. При измерении в широком динамическом диапазоне эти условия практически всегда выполняются. При пренебрежимо малом значении нелинейной (гиперболической) составляющей справедливо равенство $\delta X_g \approx \delta_m$. Тогда из критерия (6) получим в виде частного случая выражение критерия (5).

Число эффективных квантов $N_{эф}$ может применяться разработчиками для обобщенной метрологической оценки разрабатываемого прибора. Но для пользователя более понятна оценка, выраженная в виде средней по диапазону погрешности. При помощи критерия $N_{эф}$ [формулы (5), (6)] можно определить средние в диапазоне измерения значения для абсолютной, приведенной и относительной погрешностей прибора.

Средние по диапазону погрешности измерения

Поскольку $N_{эф}$ рассчитывается на основе полосы предельной погрешности прибора и равно числу непересекающихся интервалов абсолютной погрешности, уложившихся в диапазоне измерения, среднюю по диапазону абсолютную погрешность измерения получим, разделив значение диапазона измерения на удвоенное (учитываем «±») значение $N_{эф}$:

$$\pm \Delta X_{cp} = \pm \frac{X_g - X_n}{2N_{эф}}. \quad (7)$$

Для того чтобы можно было сравнивать между собой приборы с различными верхними границами X_g , необходимо привести среднюю абсолютную погрешность к диапазону измерения.

Тогда из формулы (7) средняя приведенная погрешность определится как

$$\pm \gamma_{cp}, \% = \pm \frac{\Delta X_{cp}}{X_g - X_n} 100 \% = \pm \frac{1}{2N_{эф}} 100 \%. \quad (8)$$

То есть средняя приведенная погрешность прибора [формула (8)] определяется только значением $N_{эф}$ и может применяться для сравнения метрологических свойств приборов при различных значениях диапазонов и полос предельной погрешности.

Для определения средней по диапазону относительной погрешности измерения применим подход, предложенный П.В. Новицким [5] для расчета средней в диапазоне информационной погрешности. Прибор с чисто мультипликативной полосой предельной погрешности и сравниваемый прибор должны иметь равное число эффективных квантов. Тогда, при условии постоянства относительной погрешности по диапазону $\delta X_n = \delta X_g = \delta_m$, средняя относительная погрешность сравниваемого прибора определится из выражения (9):

$$N_{эф} = \frac{1}{2\delta_m} \ln \left(\frac{D \cdot \delta_m^2}{\delta X_n \cdot \delta X_g} \right) = \frac{\ln D}{2\delta_{cp}}. \quad (9)$$

Откуда, учитывая выражение (8),

$$\pm \delta_{cp}, \% = \pm \frac{\ln D}{2N_{эф}} 100 \% = \pm (\ln D) \gamma_{cp}, \%. \quad (10)$$

Как следует из выражения (10), средняя по диапазону измерения относительная погрешность в отличие от средней приведенной погрешности зависит не только от $N_{эф}$, но также растет пропорционально $\ln D$ с ростом динамического диапазона измерения. Если сравнивать между собой средние относительные погрешности одного и того же прибора, но разных модифика-

ций, предназначенных для разных диапазонов измерения, то зависимость (10) станет понятна. Поскольку средняя приведенная погрешность в отличие от средней относительной погрешности не зависит от диапазона измерения, она применима в качестве комплексного (универсального) критерия для сравнения метрологических характеристик приборов.

Сравнение многодиапазонных приборов

Для многодиапазонных приборов суммарное количество эффективных квантов прибора равно сумме эффективных квантов каждого поддиапазона:

$$N_{эфn} = \sum_{i=1}^n N_{эфi}. \quad (11)$$

Тогда средняя приведенная погрешность многодиапазонного прибора определится из выражения

$$\pm \gamma_{cpn}, \% = \pm \frac{1}{2 \sum_{i=1}^n N_{эфi}} 100 \%. \quad (12)$$

Поскольку результирующий динамический диапазон многодиапазонного прибора равен произведению поддиапазонов

$$D_n = \prod_{i=1}^n D_i,$$

средняя относительная погрешность многодиапазонного прибора с учетом выражения (11) определится из выражения

$$\pm \delta_{cpn}, \% = \pm \ln \left(\prod_{i=1}^n D_i \right) \cdot \gamma_{cpn}, \%. \quad (13)$$

Таблица 3

Сравнение эффективности нормирования полосы предельной погрешности приборов при нормировании при помощи поддиапазонов и без поддиапазонов по формулам (3) и (4)

Наименование и поддиапазоны	X_g	$\delta X_g, \%$	X_n	$\delta X_n, \%$	$\delta_m, \%$	Значение $N_{эф}$ по поддиапазонам	$\Sigma N_{эф}$	$\delta_{cp}, \%$	$\gamma_{cp}, \%$
Нормирование в поддиапазонах									
Прамер-550-В	60	1,00	0,60	1,00	1,00	230	253	1,09	0,20
Прамер-550-В	0,6	2,00	0,24	2,00	2,00	23	–	–	–
ASWEGA va2302	60	0,60	6,00	0,60	0,60	192	250	1,11	0,20
ASWEGA va2302	6	0,60	0,24	7,50	0,60	58	–	–	–
Нормирование формулой (2) во всем диапазоне									
Прамер-550-В	60	1,00	0,24	2,00	0,75	284	284	0,97	0,18
ASWEGA va2302	60	0,60	0,24	7,50	0,28	263	263	1,05	0,19

На основе полученных выражений приведем в табл. 3 значения эффективных квантов, средние относительные и приведенные погрешности для приборов, рассмотренных в табл. 1 и 2.

Из табл. 3 следует, что несмотря на существенное различие полос предельных погрешностей сравниваемых расходомеров значения средней по диапазону относительной погрешности для приборов, нормированных в поддиапазонах (табл. 1), отличаются всего на 1,8 %. То есть эти приборы можно считать практически эквивалентными. Однако при нормировании приборов формулой с тремя составляющими погрешности (табл. 2), средняя относительная погрешность в диапазоне измерения у «Прамер-550-В» уже на

8 % меньше, чем у «ASWEGA VA2302». Это обусловлено тем, что нормирование табличным способом, примененное в «Прамер-550-В», менее эффективно, чем нормирование двухчленной формулой. Аналогичный пример, приведенный в [2] для «Прамер-550-Д», показывает, что с ростом диапазона измерения применение нормирования предельной погрешности посредством формулы (1) с тремя составляющими предельной погрешности по сравнению с табличным способом еще более эффективно и позволяет уменьшить среднюю относительную погрешность в диапазоне измерения на 37 %.

Также можно сделать вывод, что средняя приведенная погрешность, определяемая только зна-

Таблица 4

Рейтинг расходомеров по значению предельной относительной погрешности измерения в верхней границе диапазона измерения (столбец δX_v , %)

Рейтинг	Расходомер. Производитель	δX_v , %	δX_n , %	$\Sigma N_{эф}$	$\gamma_{ср}$, %	$\delta_{ср}$, %	D
1	MAG 6000. ООО «Сименс», Германия	0,20	0,20	795	0,06	0,20	24
2	РЭЛ-100-А. «Геликон», г. Санкт-Петербург	0,20	0,20	749	0,07	0,20	20
3	Элемер-РЭМ А05. НПП «Элемер», г. Москва	0,20	0,50	1221	0,04	0,22	200
4	PM-5-Э-А. «ТБН ЭНЕРГОСЕРВИС», г. Москва	0,20	0,50	1047	0,05	0,22	100
5	FER 5. ООО «АББ», Германия	0,20	1,20	530	0,09	0,37	50
6	OPTIFLUX2330. «Кроне-Автоматика», г. Самара	0,20	10,00	795	0,06	0,45	1200
7	PROMAG 100. «Эндресс+Хаузер», Германия	0,20	10,20	744	0,07	0,46	1000
8	СИМАГ 11-М. АО «Геолинк», г. Москва	0,25	0,25	1060	0,05	0,25	200
9	ПРИМ-П. ОКБ «МАЯК», г. Пермь	0,25	0,25	840	0,06	0,25	67
10	M2000. РусАвтоматизация, г. Челябинск	0,29	5,30	532	0,09	0,56	400
11	Batchelux 5500С. «Кроне Инжиниринг», г. Самара	0,30	0,50	528	0,09	0,35	40
12	FSM 4000. ООО «АББ», Германия	0,50	0,50	346	0,14	0,77	200
13	МЕРА ЕFM. ООО «МЕРА», г. Санкт-Петербург	0,50	0,50	300	0,17	0,77	100
14	PM-5-Э. «ТБН ЭНЕРГОСЕРВИС», г. Москва	0,50	0,50	461	0,11	0,50	100
15	ЭМИС-МАГ270. ЗАО «ЭМИС», г. Челябинск	0,50	0,50	461	0,11	0,50	100
16	Метран-370. «Метран Emerson RU», г. Челябинск	0,50	0,50	352	0,14	0,52	40
17	PM-5-ТИ-А. «ТБН ЭНЕРГОСЕРВИС», г. Москва	0,50	1,00	541	0,09	0,64	1000
18	РЭЛ-100-б. «Геликон», г. Санкт-Петербург	0,50	2,00	371	0,13	0,68	150
19	ВЗЛЕТ-СК. «Взлет», г. Санкт-Петербург	0,50	5,00	389	0,13	0,80	500
20	РСМ-05-Т-С. «ТЭМ», г. Москва	0,80	4,80	262	0,19	1,14	400
21	ЛГК 410. «Логика», г. Санкт-Петербург	0,90	0,50	367	0,14	0,89	700
22	VA2305M. «Aswega», Эстония	1,00	1,00	345	0,14	1,00	1000
23	ВТК. ООО «ВТК-Прибор», г. Москва	1,00	1,00	271	0,18	1,28	1000
24	Прамер-550Е. «Промсервис», Димитровград	1,00	1,00	345	0,14	1,00	1000
25	ЭСКО РВ.08. ООО «Альтернатива», г. Тверь	1,00	2,50	265	0,19	1,17	500
26	ЭР МФ Ду-50. «ИВК-Саяны», г. Москва	1,00	3,00	305	0,16	1,13	1000
27	Мастер флоу В. ООО «КОНВЕНТ», г. Москва	1,00	3,00	275	0,18	1,13	500
28	РСЦ. ООО «ВТК-Прибор», г. Москва	1,00	4,00	270	0,18	1,28	1000
29	Питерфлоу. ЗАО «Термотроник», г. Санкт-Петербург	1,00	5,00	282	0,18	1,17	750
30	ПРЭМ В1. «ТЕПЛОКОМ», г. Санкт-Петербург	1,00	5,00	271	0,18	1,18	600

чением критерия $N_{эф}$, больше подходит для оценки обобщенной точности прибора, чем средняя относительная погрешность, поскольку позволяет сравнивать приборы не только независимо от их полосы погрешности, но и независимо от их диапазона измерения и числа поддиапазонов.

Для примера сравним при помощи критериев характеристики электромагнитных расходомеров жидкости, применяемых в России. Основные данные для сравнения получены из описания типов расходомеров Федерального информационного фонда ФГИС «АРШИН» [8]. Для сравнения выбраны расходомеры каждого типа с наилучшими характеристиками.

Верхние строки рейтинга занимают семь расходомеров с предельной относительной погрешностью в верхней границе диапазона, равной 0,2 %. Однако у них различны погрешности в нижней границе диапазона и значения динамических диапазонов, т. е. различны полосы предельной погрешности.

Нетрудно видеть, что сравнение этих расходомеров по значению погрешности в нижней границе диапазона или по динамическому диапазону измерения даст совершенно другие результаты рейтинга в сравнении с *табл. 4*. Это указывает на целесообразность применения при сравнении приборов обобщенного критерия по

Таблица 5

Рейтинг расходомеров в соответствии с критерием обобщенной оценки прибора по точности и диапазону измерения (столбец $\Sigma N_{эф}$) и средней приведенной предельной погрешностью измерения (столбец $\gamma_{ср}$, %)

Рейтинг	Расходомер. Производитель	$\delta X_{в}$, %	$\delta X_{н}$, %	$\Sigma N_{эф}$	$\gamma_{ср}$, %	$\delta_{ср}$, %	D
1	Элемер-РЭМ А05. «НПП Элемер», г. Москва	0,20	0,50	1221	0,04	0,22	200
2	СИМАГ 11-М. АО «Геолинк», г. Москва	0,25	0,25	1060	0,05	0,25	200
3	РМ-5-Э-А. «ТБН ЭНЕРГОСЕРВИС», г. Москва	0,20	0,50	1047	0,05	0,22	100
4	ПРИМ-П. ОКБ «МАЯК», г. Пермь	0,25	0,25	840	0,06	0,25	67
5	МАГ 6000. ООО «Сименс», Германия	0,20	0,20	795	0,06	0,20	24
6	ОРТИFLUX2330. «Кроне-Автоматика», г. Самара	0,20	10,00	795	0,06	0,45	1200
7	РЭЛ-100-А. «Геликон», г. Санкт-Петербург	0,20	0,20	749	0,07	0,20	20
8	PROMAG 100. «Эндресс+Хаузер», Германия	0,20	10,20	744	0,07	0,46	1000
9	РМ-5-ТИ-А. «ТБН ЭНЕРГОСЕРВИС», г. Москва	0,50	1,00	541	0,09	0,64	1000
10	М2000. РусАвтоматизация, г. Челябинск	0,29	5,30	532	0,09	0,56	400
11	ФЕР 5. ООО «АББ», Германия	0,20	1,20	530	0,09	0,37	50
12	Batchelux 5500С. «Кроне Инжиниринг», г. Самара	0,30	0,50	528	0,09	0,35	40
13	РМ-5-Э. «ТБН ЭНЕРГОСЕРВИС», г. Москва	0,50	0,50	461	0,11	0,50	100
14	ЭМИС-МАГ270. ЗАО «ЭМИС», г. Челябинск	0,50	0,50	461	0,11	0,50	100
15	ВЗЛЕТ-СК. «Взлет», г. Санкт-Петербург	0,50	5,00	389	0,13	0,80	500
16	РЭЛ-100-Б. «Геликон», г. Санкт-Петербург	0,50	2,00	371	0,13	0,68	150
17	ЛГК 410. «Логика», г. Санкт-Петербург	0,90	0,50	367	0,14	0,89	700
18	Метран-370. «Метран Emerson», г. Челябинск	0,50	0,50	352	0,14	0,52	40
19	FSM 4000. ООО «АББ», г. Германия	0,50	0,50	346	0,14	0,77	200
20	VA2305M. «Aswega», Эстония	1,00	1,00	345	0,14	1,00	1000
21	Прамер-550Е. «Промсервис», г. Димитровград	1,00	1,00	345	0,14	1,00	1000
22	ЭР МФ Ду-50. «ИВК-Саяны», г. Москва	1,00	3,00	305	0,16	1,13	1000
23	МЕРА ЕFM. «МЕРА», г. Санкт-Петербург	0,50	0,50	300	0,17	0,77	100
24	Питерфлоу. ЗАО «Термотроник», г. Санкт-Петербург	1,00	5,00	282	0,18	1,17	750
25	Мастер флоу В. ООО «КОНВЕНТ», г. Москва	1,00	3,00	275	0,18	1,13	500
26	ПРЭМ В1. «ТЕПЛОКОМ», г. Санкт-Петербург	1,00	5,00	271	0,18	1,18	600
27	ВТК. ООО «ВТК-Прибор», г. Москва	1,00	1,00	271	0,18	1,28	1000
28	РСЦ. ООО «ВТК-Прибор», г. Москва	1,00	4,00	270	0,18	1,28	1000
29	ЭСКО РВ.08. ООО «Альтернатива», г. Тверь	1,00	2,50	265	0,19	1,17	500
30	РСМ-05-Т-С. «ТЭМ», г. Москва	0,80	4,80	262	0,19	1,14	400

точности и диапазону измерения $\Sigma N_{эф}$ [выражение (11)] или средней приведенной погрешности $\gamma_{ср}$, % [выражение (12)].

В табл. 5 приведен рейтинг расходомеров в соответствии с критерием обобщенной оценки прибора по точности и диапазону измерения и средней приведенной предельной погрешностью измерения. Рейтинги по ним одинаковы, поскольку значение средней приведенной предельной погрешности определяется только значением $\Sigma N_{эф}$. Учитывая, что большинство расходомеров многодиапазонные, рейтинги рассчитаны по формулам (11), (12).

Как видим, применение для сравнения комплексного критерия, учитывающего взаимосвязь между метрологическими характеристиками приборов, изменило рейтинги расходомеров по сравнению с табл. 4. Применение в табл. 5 критерия средней приведенной предельной погрешности измерения позволяет получить однозначный результат сравнения независимо от различий полос предельной погрешности и ширины диапазонов измерения сравниваемых приборов.

Сравнение столбцов средней приведенной погрешности « $\gamma_{ср}$, %» и средней относительной погрешности « $\delta_{ср}$, %» показывает, что рейтинг по относительной погрешности не совпадает полностью с рейтингом по приведенной погрешности, поскольку на значение средней относительной погрешности влияет значение динамического диапазона [выражение (13)].

Заключение

Средняя приведенная к диапазону измерения предельная погрешность измерения, а также суммарное значение эффективных квантов дают однозначную оценку точности сравниваемых приборов независимо от различий их полос предельной погрешности, ширины и количества поддиапазонов измерения.

Для исключения поддиапазонов в полосе предельной относительной погрешности сравниваемых приборов целесообразно проводить нормирование расширенной формулой, включающей в себя аддитивную, мультипликативную и гиперболическую составляющие погрешности.

Список литературы:

1. Цыбульский О.А. Погрешность широкодиапазонных измерений // Законодательная и прикладная метрология. 2010. № 4. С. 5-10.
2. Цыбульский О.А. Нормирование погрешности измерения приборов в широком диапазоне измерений // Метрология. 2019. № 4. С. 3-19.
3. Левин М.И., Прытков В.Т., Демидова-Панфилова Р.М., Кутяшова Е.М. Основы электроизмерительной техники. – М.: Энергия, 1972.
4. Темников Ф.Е. Автоматические регистрирующие приборы. – М.: Машгиз, 1960.
5. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. – Л.: Энергия, 1968. 248 с.
6. Зеликовский З.И., Романовский В.Р., Симхович Э.Ф. Об оценке точности цифрового измерительного прибора // Автометрия. 1967. № 2. С. 38-44.
7. Цыбульский О.А. Критерий для обобщенной оценки широкодиапазонного прибора по точности и диапазону измерений // Измерительная техника. 2014. № 5. С. 5-7.
8. Утвержденные типы средств измерений / <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4>.

Олег Андреевич Цыбульский,
канд. техн. наук, доцент,
Александр Николаевич Колесников,
канд. техн. наук, доцент,
Димитровградский инженерно-
технологический институт –
филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»,
физико-технический факультет,
г. Димитровград, Ульяновская обл.,
e-mail: OATsybulskii@mephi.ru

* * * * *