

УДК 621.317.7

В.И. Булах, И.В. Булах, Л.И. Рубцова

Санкт-Петербургская химико-фармацевтическая академия, ООО

«Кубис»

РОБАСТНАЯ МЕТОДИКА ВЫБОРА СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

При проектировании любого нового производственного процесса или модернизации существующего приходится решать задачи о выборе средств измерения (Indication) и автоматического управления (Control) параметрами процесса изготовления материала (детали). Уже на начальных стадиях проектирования необходимо ответить на вопросы о возможности использования существующих средств измерения, управления или о необходимости разрабатывать новые средства, существенно увеличивая и сроки, и стоимость проекта.

Вопросы выбора средств измерений параметров в отечественной литературе наиболее полно освещены в [1], где предлагаются две методики. Первая требует задать вероятности допустимых ошибок, а также дисперсии параметра и средства измерения, с последующим итерационным расчетом величины абсолютной погрешности средства измерения Δ , реализуемым либо по номограммам, либо средствами вычислительной техники. Однако неизвестность величин дисперсий,

вынуждает задаваться этими величинами, что во многом обесценивает метод и на практике чаще предлагается использовать вторую методику, в которой выбор средства измерения производится в зависимости от величины допуска $D_\$$ на измеряемый параметр $\$$ по формуле (1)

$$D_\$ = K \cdot \Delta \quad (1)$$

где значение K предлагается “выбирать из диапазона 2...10 в зависимости от важности измеряемого параметра” [1, с.63]. Однако, с одной стороны, само понятие “важности параметра” часто определяется как раз повышением его точности – минимизацией абсолютной погрешности, которая однозначно связана с величиной допуска на параметр. С другой стороны, формальное применение коэффициента $K=3$, рекомендованного ведомственной инструкцией авиационной промышленности для расчета абсолютной погрешности средств измерений линейных величин (штангенциркулей, микрометров, индикаторных головок) [2, с.277], для аналогичного расчета у средств измерения электрических величин приводило к явно ошибочному выбору электрических приборов 5 класса точности, давно не выпускаемых даже отечественной промышленностью. И, наконец, остался открытым вопрос о возможности применения этой простой методики для выбора средств автоматического управления (Control) параметром. В связи с этим возникла задача разработать робастную методику первичного (ориентировочного) выбора средств измерения и

автоматического управления параметрами принципиально пригодную для любых отраслей промышленности.

Прежде всего, необходимо помнить, что допуск $D_{\$} \equiv \$_{\max} - \$_{\min}$ на параметр $\$$ может быть не только симметричным, но и асимметричным, в т.ч. односторонним, и задаётся разработчиком детали (процесса получения материала) исходя из последующего обеспечения узлом, изделием, материалом определённых потребительских свойств. А абсолютная величина погрешности средства измерения всегда симметрична и задаётся разработчиком прибора. Кроме того, погрешность средства измерения Δ_{Σ} состоит из основной Δ_0 и дополнительных $\sum \Delta_i$ составляющих, последние из которых обусловлены эксплуатацией средства измерения, или какой-либо из его частей, при условиях, отличающихся от нормальных статических, при которых определяется основная погрешность.

Поэтому здесь формулу (1) целесообразно анализировать в виде

$$D_{\$} = 2k^* |\Delta_{\Sigma}| \quad (2)$$

Используем также понятие производственного допуска $\Pi_{\$}$ как разности между допуском параметра и общей погрешностью от средства измерения $\Pi_{\$} = D_{\$} - 2 |\Delta_{\Sigma}|$, см. рис.1. По аналогии с взаимосвязью допуска параметра с погрешностью средства измерения (2) и, введя промежуточный параметр n , положим наличие взаимосвязи между производственным допуском и погрешностью средства измерения (3)

$$\Pi_{\$} = n \cdot 2 |\Delta_{\Sigma}| \quad (3)$$

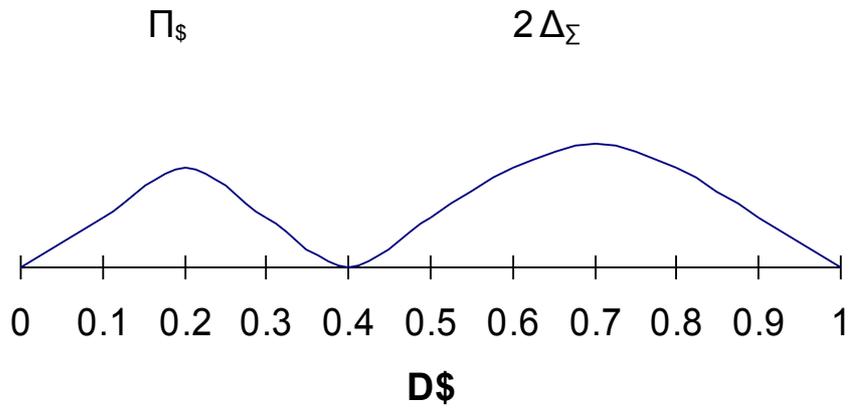


Рис.1

Тогда

$$D_{\$} = 2(n + 1) |\Delta_{\Sigma}| \quad (4)$$

$$\Pi_{\$} = D_{\$} n / (n + 1) \quad (5)$$

Проанализируем зависимости $2 |\Delta_{\Sigma}| / D_{\$} = 1 / (n + 1)$, $\Pi_{\$} / D_{\$} = n / (n + 1)$ и $K = 2(n + 1)$, см. табл.1, рис.2.

Рис. 2.

Характер поведения зависимостей (4), (5) при изменении промежуточного параметра «n» .

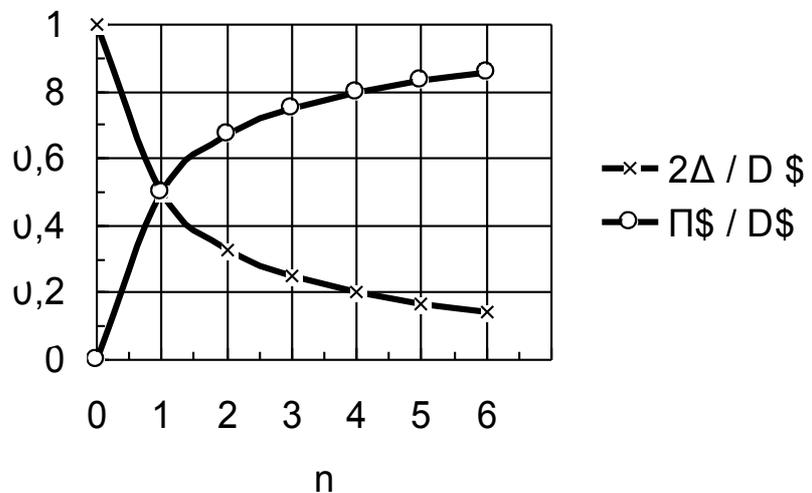


Таблица 1

Численные значения выражений (4), (5) и К при разных значениях n

n	$P_{\$} / D_{\$}$	$2 \Delta_{\Sigma} / D_{\$}$	К в ур. (1)
0	0	1	2
0,5	0,33	0,66	3
1	0,50	0,50	4
2	0,67	0,33	6
3	0,75	0,25	8
4	0,80	0,20	10
10	0,91	0,09	22

Для робастного обоснования базовой величины «n» воспользуемся принципом зависимости заработной платы работника от качества его труда, обратно пропорционально зависящего от величины допускаемой работником погрешности, и принципом равной средней оплаты за равную квалификацию труда, которая сопоставима с обеспечением одинаковой погрешности на средство измерения с одной стороны (слесари КИП) и производственным допуском на параметр (токари, аппаратчики) с другой стороны, т.е. $Z_{кип}/Z_{апп} \approx P_{\$} / 2 | \Delta_{\Sigma} | \approx n$.

При $n = 1$ средние заработные платы слесарей КИП равны средним заработным платам аппаратчиков. При $n < 1$ средние заработные платы слесарей КИП меньше чем у инструментальщиков, лекальщиков, аппаратчиков высшей квалификации, обеспечивающих меньшие производственные допуски, достигаемые обычно за счет большего количества измерений одного и того же значения параметра.

Окончательный выбор средства измерения осуществляется по

классу точности (или приведённой погрешности), в расчете которого используется абсолютная погрешность Δ_0 средства измерения, определяемая при нормальных статических условиях $|\Delta_0| \leq |\Delta_\Sigma|$.

Причём учёт влияния дополнительных погрешностей возможен по одному из двух вариантов пессимистическому (6) или оптимистическому (7), последний из которых используется чаще.

$$|\Delta_\Sigma| = |\Delta_0| + \sum |\Delta_i| \quad (6)$$

$$|\Delta_\Sigma| = \sqrt{(\Delta_0^2 + \sum \Delta_i^2)} \quad (7)$$

Тогда $D_\$ = K * \Delta_0 = 2(n + 1) |\Delta_\Sigma| \approx 2(n + 1) m |\Delta_0| \quad (8)$

где $1 \leq m \leq 1,5$, т.е. в среднем $m \approx 1,25$.

Для средств измерения слабо зависящих от внешних воздействий, прежде всего температурных Δ_t , и используемых в условиях исключаяющих подобные воздействия, например, механических мерителей в производственных помещениях $+20 \pm 5$ °С, величину K в формуле (1) можно выбирать и равную 3. А для средств измерения, зависящих от внешних воздействий, и подверженных им, например, электронных приборов вне помещений, $K \geq 5$, табл. 2.

При переходе к системе автоматического управления параметром проанализируем соотношение длин тракта передачи сигнала при управлении: объект, первичный преобразователь (датчик) $\$E$ + нормирующий преобразователь $\$Y$ + показывающий прибор $\$I$ + сумматор / регулятор $\$C$ + усилитель + исполнительный орган, объект управления =6, и при измерении: $\$E + \$Y + \$I = 3$ составляющих.

Увеличение длины тракта при управлении в 2 раза по сравнению с длиной измерительного тракта приводит в соответствии с принципом передаточных функций к увеличению суммарной погрешности сигнала управления по сравнению погрешностью измерительного сигнала.

Таблица 2

Рекомендуемые значения К в уравнении (1)

	Системы измерения (Indication)	Системы управления (Control / Switch)
Механические системы при нормальных условиях эксплуатации	3	6
Механические системы при эксплуатации в условиях, отличающихся от нормальных. Электрические системы при нормальных условиях эксплуатации	4	8
Электрические системы при эксплуатации в условиях, отличающихся от нормальных	5	10

Причём, использование в тракте управления таких инерционных звеньев, как усилитель и исполнительный орган, существенно увеличивающую суммарную погрешность системы управления за счет динамической составляющей погрешности, вынуждает использовать именно пессимистический вариант оценки суммарной погрешности.

Например, у электроконтактных мановакууметров класс точности показывающей (PI) части 1,5, а управляющей (PIC) – 2,5 [4, с. 97]. Таким образом, при робастном выборе погрешности системы автоматического управления параметром ($\$IC$, $\$IS$) при сохранении величины допуска достаточно вдвое увеличить величину коэффициента K по сравнению с выбором средства измерения ($\$I$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники/ Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотонов и др.; Под ред. В.А. Кузнецова.- М.: Радио и связь, 1990.-240с.: ил.
2. Метрологическое обеспечение, взаимозаменяемость, стандартизация. Учебное пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов./ К.Н. Гусев, Р.В. Медведев, Е.П. Мышелов, Е.А. Яковлев.- М.: Машиностроение, 1992.- 384 с.
3. Промышленные приборы и средства автоматизации: Справочник/ В. Я. Баранов, Т. Х. Безновская, В. А. Бек и др.; Под общ. ред. В. В. Черенкова. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд. 1987.-847 с., ил.

Владимир Ильич Булах – кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургской химико-фармацевтической академии

Тел. (812) 726-85-27, +7-921-442-76-86

E-mail: v.i.bulah@gmail.com

Илья Владимирович Булах – технический директор ООО “Кубис”

E-mail: ilya@qubis.ru

Лариса Николаевна Рубцова – канд кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургской химико-фармацевтической академии

Тел. (812) 234-35-36