

УДК 658.652 (018)

Достоверность результатов многопараметрического измерительного контроля

Данилевич С. Б.

Постановка задачи: при разработке методик контроля сложных объектов необходимо обоснованно устанавливать требования к точности измерений каждого контролируемого параметра и оценивать достоверность результатов контроля, которая зависит также от числа контролируемых параметров изделия. **Цель работы** – предложить метод исследования зависимости достоверности контроля от точности измерений и числа контролируемых параметров. **Используемый метод исследования** – имитационное моделирование (метод Монте-Карло). **Новизна работы:** предложен эффективный метод вычисления показателей достоверности многопараметрического контроля основанный на имитационном моделировании. Метод имитационного моделирования позволяет экспериментально исследовать зависимость показателей достоверности измерительного контроля от неопределенности измерения и числа контролируемых параметров и установить эффективные значения этих характеристик методики контроля. **Результаты:** экспериментально исследована зависимость показателей достоверности контроля от основных влияющих факторов. Было получено, что риск заказчика прямо пропорционален числу контролируемых параметров. Показано, что вероятность ошибки контроля второго рода (в отличие от риска заказчика) снижается с увеличением числа контролируемых параметров. **Практическая значимость.** Предложенный метод целесообразно использовать при разработке эффективных методик метрологической поверки измерительных приборов, методик контроля сложных технических изделий, и при оптимизации методик контроля по экономическим критериям.

Ключевые слова: контроль качества, достоверность контроля, риски заказчика и производителя, ошибка контроля второго рода, имитационное моделирование.

Актуальность

При разработке методик контроля качества сложных изделий необходимо оценивать достоверность результатов контроля. Эффективными признаются те методики, которые обеспечивают требуемую достоверность контроля при минимальных затратах на контроль [1–3]. Оценка достоверности результатов контроля нескольких идентичных параметров актуальна, например, при разработке эффективных методик метрологической поверки измерительных приборов, поверяемых в нескольких точках диапазона измерения.

Постановка задачи

Качество контроля определяется показателями достоверности его результатов, а эти показатели в свою очередь зависят от точности измерений и числа контролируемых параметров. Поэтому при разработке методик контроля необходимо оценивать достоверность получаемых результатов и обоснованно устанавливать требования к точности измерений и числу контролируемых параметров изделий.

В данной статье приведены результаты исследования зависимости показателей достоверности измерительного контроля сложных изделий от точности измерений при контроле и от числа контролируемых параметров изделий, полученные методом имитационного моделирования.

В качестве показателей достоверности контроля использованы риски заказчика R_3 и производителя $R_{п}$, а также вероятность ошибки контроля второго рода P_2 [3, 4].

Риск заказчика R_3 – это вероятность, характеризующая среднюю долю негодных изделий среди всех признанных в результате контроля годными (и поступающих заказчику) изделий. Риск производителя $R_{п}$ – вероятность, характеризующая среднюю долю ошибочно забракованных, но фактически годных изделий от общего числа поступивших на контроль изделий.

Вероятность ошибки контроля второго рода P_2 характеризует среднюю долю принятых при контроле, но фактически негодных изделий от общего числа всех поступивших на контроль негодных изделий.

В качестве показателя точности измерений использовалась неопределенность измерения U .

Пример. Рассмотрим результаты исследования влияния неопределенности измерения и числа контролируемых параметров изделий на вероятности R_3 , $R_{п}$ и P_2 , полученные с использованием описанной в [5–7] имитационной модели сплошного многопараметрического контроля.

Предполагалось, что качество каждого изделия характеризуется I независимыми идентичными параметрами X_i ($i=1, \dots, I$), которые подлежат контролю. Было принято, что контролируемые параметры X_i – нормально распределенные случайные величины с математическим ожиданием, совпадающим с номинальным значением, и среднеквадратичным отклонением (СКО) σ . Предельное допускаемое отклонение от номинального значения у каждого параметра было принято равным ± 3 .

В таблицах приведены результаты, полученные при компьютерном моделировании процедуры контроля $2 \cdot 10^6$ изделий для двух моделей изделий. В таблице 1 приведены оценки искомых показателей достоверности, полученные при $\sigma = 1$, а в таблице 2 – при $\sigma = 0,8$.

Таблица 1 – Оценки показателей достоверности контроля при $\sigma = 1$

Показатели достоверности контроля (%)	Число контролируемых параметров I	Неопределенность измерения U		
		0,1	0,2	0,3
R_3	3	0,1	0,17	0,23
	10	0,33	0,56	0,71
	30	0,98	1,65	2,13
	100	3,22	5,43	6,92
$R_{п}$	3	0,14	0,33	0,59
	10	0,45	1,08	1,95
	30	1,25	3,04	5,4
	100	3,4	7,96	13,90
P_2	3	11,9	20,7	27,4
	10	11,8	20,2	25,6
	30	11,4	19,2	24,3
	100	10,2	16,5	19,7

Таблица 2 – Оценки показателей достоверности контроля при $\sigma = 0,8$

Показатели достоверности контроля (%)	Число контролируемых параметров I	Неопределенность измерения U		
		0,1	0,2	0,3
R_3	3	0,01	0,02	0,02
	10	0,03	0,04	0,06
	30	0,09	0,14	0,18
	100	0,29	0,47	0,60
R_{II}	3	0,01	0,04	0,09
	10	0,05	0,14	0,28
	30	0,15	0,40	0,85
	100	0,51	1,36	2,82
P_2	3	17,2	27,0	33,9
	10	16,1	26,2	32,5
	30	16,6	25,9	32,2
	100	16,7	26,1	31,8

Расчеты в таблицах 1 и 2 выполнены для числа контролируемых параметров $I = 3, 10, 30$ и 100 при следующих трех значениях неопределенности измерения контролируемых параметров: $U = 0,1; 0,2$ и $0,3$.

На рисунках 1–6 приведены зависимости указанных показателей достоверности контроля от числа контролируемых параметров при трех значениях неопределенности измерения параметров.

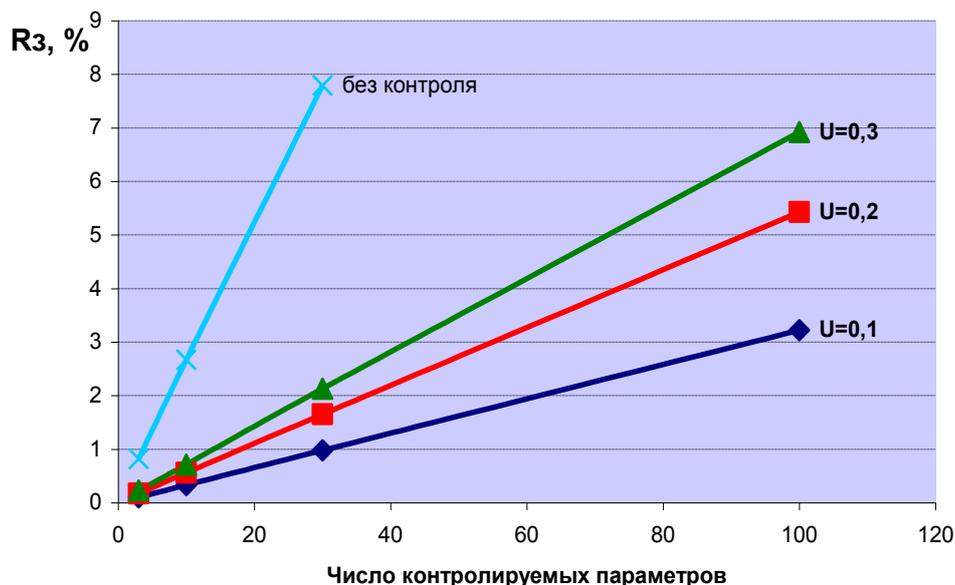


Рис. 1. Зависимость R_3 от числа контролируемых параметров изделий при $\sigma = 1$

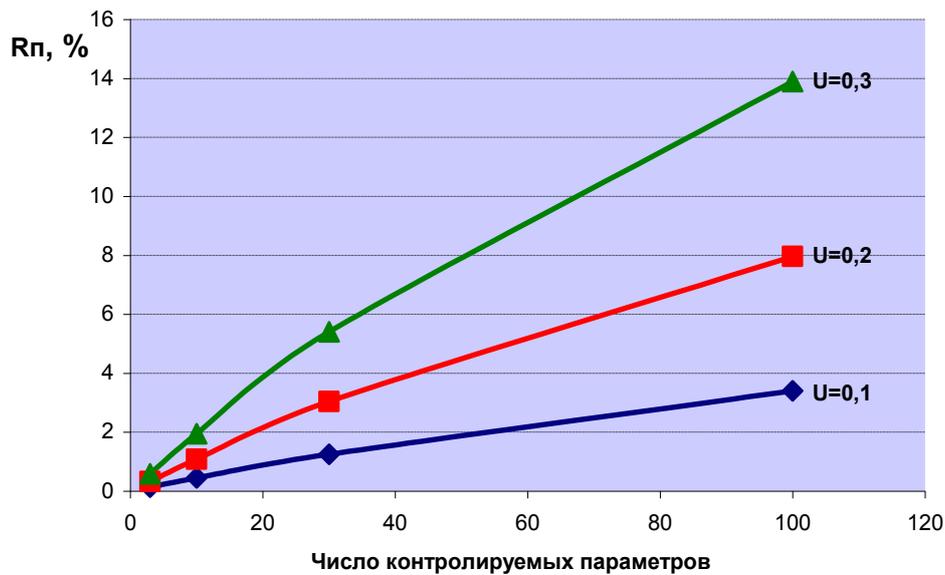


Рис. 2. Зависимость R_n от числа контролируемых параметров изделий при $\sigma = 1$.

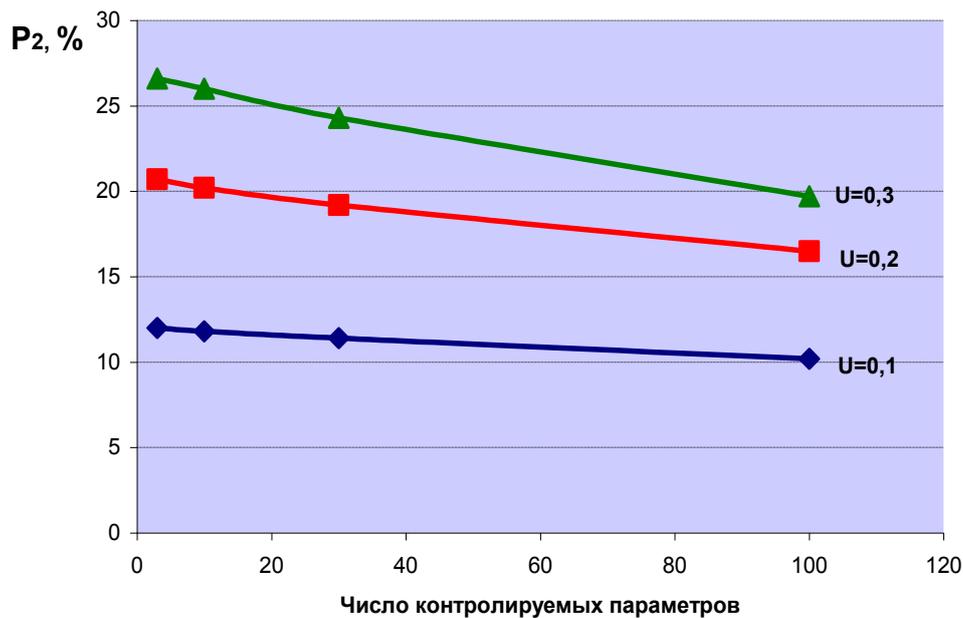


Рис. 3. Зависимость P_2 от числа контролируемых параметров изделий при $\sigma = 1$.

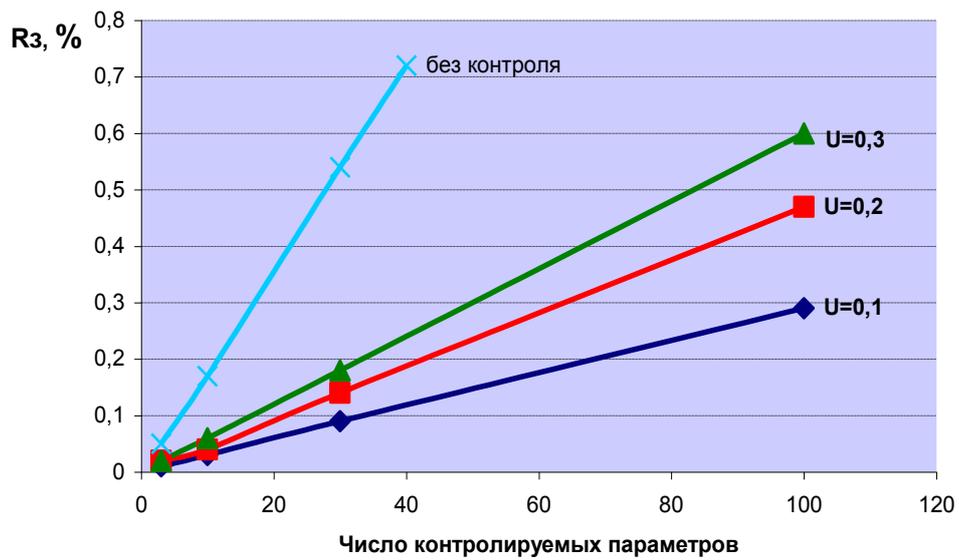


Рис. 4. Зависимость R_3 от числа контролируемых параметров изделий при $\sigma = 0,8$

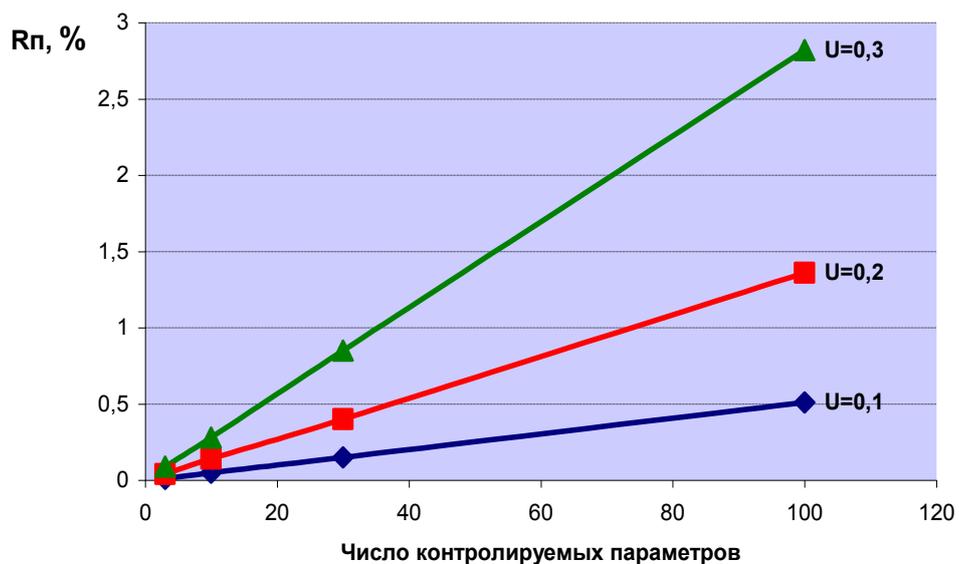


Рис. 5. Зависимость R_p от числа контролируемых параметров изделий при $\sigma = 0,8$

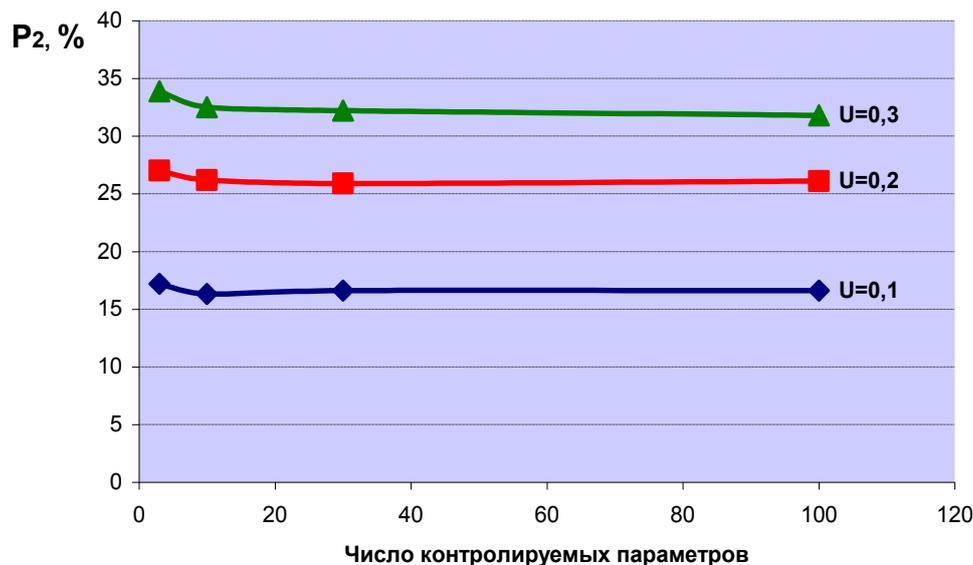


Рис. 6. Зависимость P_2 от числа контролируемых параметров изделий при $\sigma = 0,8$

Отметим, что при отсутствии контроля и при $\sigma = 1$ вероятность «негодности» изделия, качество которого характеризуется одним параметром (вероятность выхода этого параметра за допуск) равна 0,27%, качество которого характеризуется тремя параметрами – 0,82%, десятью параметрами – 1,67%, тридцатью параметрами – 7,79%, ста параметрами – 23,7%. Это совпадает с результатами, приведенными в [8].

При отсутствии контроля при СКО параметров $\sigma = 0,8$ вероятность «негодности» изделия, качество которого характеризуется тремя параметрами $\sim 0,05\%$, десятью параметрами $\sim 0,17\%$, тридцатью параметрами – 0,54%, ста параметрами – 1,75%.

В случае если контроль отсутствует, зависимости средней доли негодных изделий в партии от числа контролируемых параметров изделий представлены на рис. 1 и рис. 4 (выделено голубым цветом).

Используя полученные результаты, можно найти искомые показатели достоверности контроля при различном числе контролируемых параметров и различной точности выполняемых при контроле измерений.

Пусть технология изготовления изделий обеспечивает $\sigma = 1$, неопределенность измерения при контроле $U = 0,2$, а число идентичных контролируемых параметров каждого изделия $I = 50$.

Из рисунков 1, 2 и 3 методом интерполяции найдем, что значение $R_3 \sim 2,8\%$, $R_n \sim 4,5\%$, а $P_2 \sim 18\%$. Это означает, что доля «негодных» изделий в партии, прошедшей контроль, в среднем составляет 2,8%, а доля ошибочно забракованных, но годных изделий составляет 4,5% от всех поступивших на контроль изделий. Вероятность P_2 ошибочно признать годным любое поступившее на контроль «негодное» (хотя бы по одному параметру) изделие при этом составляет 18%.

Повышение точности измерений при контроле позволит повысить достоверность его результатов. Так, при $U = 0,1$ из рисунков 1–3 найдем, что $R_3 \sim 1,6\%$, $R_{\Pi} \sim 1,9\%$, а $P_2 \sim 12\%$.

Выводы

Анализ вышеприведенных результатов позволяет сделать следующие итоговые выводы:

- 1) Метод имитационного моделирования позволяет экспериментально исследовать зависимость показателей достоверности измерительного контроля от неопределенности измерения и числа контролируемых параметров и установить эффективные значения этих важных характеристик методики контроля (с учетом качества контролируемых изделий, характеризуемым параметром σ).
- 2) Риск заказчика R_3 прямо пропорционален числу контролируемых параметров, причем эта зависимость близка к линейной (при принятых значениях неопределенности измерения).
- 3) Вероятность ошибки контроля второго рода P_2 существенно зависит от неопределенности измерения U и значения СКО контролируемых параметров σ (это следует из сравнения рис. 1–3 и рис. 4–6).
- 4) Вероятность ошибки контроля второго рода (в отличие от риска заказчика) несколько снижается с увеличением числа контролируемых параметров.
- 5) Риск производителя R_{Π} существенно зависит как от погрешности измерений при контроле, так и от числа контролируемых параметров.
- 6) Метод имитационного моделирования может быть использован не только при разработке эффективных методик контроля сложных технических изделий, но и при оптимизации методик контроля по экономическому критерию [9, 10].

Литература

1. Рубичев Н. А., Фрумкин В. Д. Достоверность допускового контроля качества. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 171 с.
2. Гаврилов Б. М. Метрологическое обеспечение методик выполнения контроля в Минатоме России // Главный метролог. 2004. № 3. С. 27–28.
3. Данилевич С. Б., Колесников С. С. Разработка методик эффективного контроля сложных объектов // Измерительная техника. 2007. № 5. С. 19–22.
4. Данилевич С. Б. О показателях качества допускового контроля // Методы оценки соответствия. 2013. № 12. С. 20–21.
5. Данилевич С. Б., Колесников С. С., Пальчун Ю. А. Применение имитационного моделирования при аттестации методик контроля и испытаний // Измерительная техника. 2011. № 7. С. 70–73.
6. Данилевич С. Б. Разработка методик измерительного контроля методом имитационного моделирования // Компетентность. 2015. № 4. С. 51–54.
7. Данилевич С. Б. Разработка эффективных методик контроля и испытаний продукции. Монография. – Новосибирск: НГТУ, 2011. – 120 с.

8. Розно М. И. Откуда берутся неприятности // Стандарты и качество. 2002. № 11. С. 14–20.

9. Данилевич С.Б. Планирование оптимальных методик выходного контроля // Методы оценки соответствия. 2009. № 4. С. 40–42.

10. Данилевич С. Б., Соловьева Т. М. Оптимизация выходного измерительного контроля серийно выпускаемой продукции // Компетентность. 2012. № 7. С. 48–51.

References

1. Rubichev N. A., Frumkin V. D. *Dostovernost' dopuskovogo kontroliia kachestva* [Reliability of Tolerable Quality Control]. Moscow, Publishing House of Standards, 1990. 171 p. (in Russian).

2. Gavrilov B. M. Metrologicheskoe obespechenie metodik vypolneniia kontroliia v Minatome Rossii [Metrological Maintenance Techniques of Performance Monitoring in Minatom of Russia]. *Glavnyi metrolog* [Chief Metrolog], 2004, no. 3, pp. 27–28 (in Russian).

3. Danilevich S. B., Kolesnikov S. S. Development of techniques of effective control of complex objects. *Measurement Techniques*, 2007, no. 5, pp. 19-22 (in Russian).

4. Danilevich S. B. O pokazateliakh kachestva dopuskovogo kontroliia [Quality Score of Control]. *Metody otsenki sootvetstviia* [Methods of Conformity Assessment], 2013, no. 12, pp. 20–21 (in Russian).

5. Danilevich S. B., Kolesnikov S. S. Palchun Y. A. The use of simulation for attestation of inspection and testing. *Measurement Technique*, 2011, no. 7, pp. 70–73.

6. Danilevich S. B. Development of techniques of measuring control by simulation. *Kompetentnost'* [Competency], 2015, no. 4, pp. 51–54 (in Russian).

7. Danilevich S. B. *Razrabotka effektivnykh metodik kontroliia i ispytanii produktsii*. [The Development of Effective Methods of Control and Product Testing]. Monograph. Novosibirsk, Publishing house of the NSTU, 2011. 120 p (in Russian).

8. Rozno M. I. Otkuda berutsia nepriiatnosti [Where are the Trouble]. *Standarty i kachestvo* [Standards and Quality], 2002, no. 11, pp. 14–20 (in Russian).

9. Danilevich S. B. Planirovanie Optimal'nykh Metodik Vykhodnogo Kontroliia [Planning the optimal methods of output control]. *Metody otsenki sootvetstviia* [Methods of Conformity Assessment], 2009, no. 4, pp. 40–42 (in Russian).

10. Danilevich S. B., Solovyova T. M. Optimizatsiia vykhodnogo izmeritel'nogo kontroliia seriino vypuskaemoi produktsii [Optimizing the Output of the Measurement Control Serial Production]. *Kompetentnost'* [Competence], 2012, no. 7, pp. 48–51 (in Russian).

Статья поступила 17 ноября 2015 г.

Сведения об авторе

Данилевич Сергей Борисович – доктор технических наук, действительный член Академии проблем качества. Профессор Новосибирского филиала Академии стандартизации, метрологии и сертификации. Новосибирский филиал Академии стандартизации, метрологии и сертификации. Область научных интересов: метрологическое обеспечение производства, разработка эффективных методик контроля и испытаний продукции. E-mail: ser-danilevich@yandex.ru, sergo_dan@mail.ru

Адрес: Россия, 630049, г. Новосибирск, Линейная улица 31/1 – 33.

Reliability of Results of Multi-Parameter Measurement Control

S. B. Danilevich

Statement of the problem. The accuracy of measurements for each controlled parameter must be set when developing methods of control of complex objects. The reliability of the test results, which depends on the number of monitored parameters should be denied also. Thus, we argue for a method of assessment based reliability control on the accuracy of measurements and the number of controllable parameters. This task is relevant. **Purpose.** We want to propose a research method dependence reliability control from the accuracy of measurements and the number of controllable parameters. We used simulation modeling based on the Monte Carlo method to achieve the objectives of the study. **The novelty of the work.** We proposed an efficient method for the computation of indicators reliability of multivariable control based on a simulation model. This simulation method allows us to experimentally investigate the dependence of the reliability of indicators measuring control of uncertainty of measurement and the number of controllable parameters. Also this method allows you to set the effective value of the measurement uncertainty and the number of controllable parameters in the control method. **Results:** the dependence of figures of merit of control from the main influencing factors was experimentally investigated. **The results** of the study show that the risk of the customer directly proportional to the number of controlled variables and that the probability of a control error of the second kind (in contrast to the risk of the customer) decreases with increase in the number of controlled parameters. **Practical significance.** We recommend you to use the proposed method for the development of efficient methods of metrological verification of measuring devices, methods for control of complex engineering products, and optimization of inspection methods according to economic criteria.

Key words: quality control, reliability of the control, the risks of the customer and the manufacturer, the error control of second kind, method of simulation.

About the Author

Sergey Borisovich Danilevich – Dr. habil. of Engineering Sciences, Member of the Academy of Quality Problems. Professor of Novosibirsk Branch of the Academy of standardization, metrology and certification (training). Novosibirsk Branch of the Academy of standardization, metrology and certification (training). Field of research: metrological provision of production, development of effective methods of control and product testing. E-mail: ser-danilevich@yandex.ru, sergo_dan@mail.ru

Address: Russia, 630049, Novosibirsk, Lineinaya Street, 31/1 – 33.