УДК 681.2.001.4: 621.9.06

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АТТЕСТАЦИИ СХЕМЫ ИСПЫТАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Муха Ю.П., Фам Хоанг Чунг

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, e-mail: vt@vstu.ru

Методика оперативных испытаний измерительных средств, встроенных в технологическое оборудование, обеспечивает требуемое качество реализуемых технологий за счет того, что можно оценивать качество автоматических контрольно-измерительных операций, входящих в состав технологических процессов, не останавливая работы технологических линий. Применение этой методики позволяет увеличить эффективность технологии за счет сохранения непрерывности технологического процесса при условии повышения достоверности измерений основных измерительных цепей, используемых в технологическом оборудовании. Однако для аттестации схемы испытания измерительной системы необходима реализация метода для всех компонентов, из которых составляется данная система. В статье рассмотрено принципиальное воспроизведение метода в конкретном примере к осуществлению метрологического анализа всех элементов измерительной системы, используемой для контроля траектории опорной точки суппрорта прецизионного металорежущего станка, и предложен алгоритм имитационного моделирования для дальнейшего применения метола с помощью вычислительной техники.

Ключевые слова: оперативные испытания, схемы оперативных испытаний, алгоритм имитационного моделирования

REALIZATION OF PRINCIPLE ATTESTATION THE SCHEME FOR THE TESTING OF THE MEASURING SYSTEM

Mukha Y.P., Pham Hoang Trung

Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: vt@vstu.ru

Methods of operative testings of measuring devices that are built into manufacturing equipment helps to achieve the required quality of the implemented technologies due to the fact that it is possible to assess the quality of automated controlled measurement operations that make up the technological processes without stopping the operation of the production lines. The use of this technique makes it possible to increase the efficiency of the technology by maintaining the continuity of the process, which helps to improve the reliability of the measurements of basic measuring circuits used in the equipment. However, in order to attest the scheme for the testing of the measuring system, a method for all components that make up the system has to be devised. The article considers a fundamental reproduction of the method in a concrete example for the implementation of metrological analysis of all elements of the measuring system used to control the trajectory of the reference point caliper precision machine tool and offer the algorithm simulation for further application of the method with the help of computer technology.

Ключевые слова: operative testings, operative testings schemes, algorithm of simulation modeling

Принципиальная реализация схемы оперативного испытания

В соответствии с [2] можно сформулировать методику оперативных испытаний следующим образом:

- 1. Осуществляется метрологическое описание оперативных испытаний.
- 2. Формируются схемы имитационно-инструментальной организации испытаний.
- 3. Реализуется имитационно-инструментальный эксперимент для непрерывной оценки метрологических характеристик испытываемых измерительных средств.

Для примера можно рассмотреть нагрузочно-измерительный комплекс, с помощью которого осуществляют программные испытания суппортной группы токарных станков [3]. В этом случае комплекс имеет схему измерения, приведенную на рис. 1.

На схеме приняты следующие обозначения: R_1 – фотоэлектрический автоколлиматор; R_4 – блок автоматики; R_5 , R_6 – цифровые

пересчетные устройства; R_7 — мини-ЭВМ «Искра-1256» шестого исполнения аналого-цифровой преобразователь (АЦП); R_8 — двухкоординатный планшетный потенциометр ПДП-4; R_9 — устройство ROBOTRON-1156; R_{10} — блок накопления информации; R_{11} — универсальный динамометр УДМ-100; R_{12} — тензометрический усилитель УТЧ-1; R_{13} — электромагнитное нагрузочное устройство; R_{14} — мини-ЭВМ «Искра-1256» седьмого исполнения АЦП; R_{15} — релейное устройство; R_{16} , R_{17} — блоки питания Б5-45.

В данной статье проводим принципиальное воспроизведение метода на аттестацию схемы испытания измерительной системы. Пытаемся испытывать все элементы измерительной системы, схема которой показана на рис. 1. Описание метода представлено в [3].

1. Метрологическое описание оперативных испытаний.

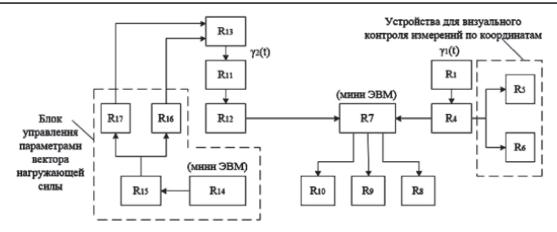


Рис. 1. Схема измерения нагрузочно-измерительного комплекса для программного испытания суппортной группы токарных станков

Модель измерительной ситуации:

$$MM_{\text{cut}} = \left\{ \lambda = F(\gamma); MM_{\gamma}; MM_{\text{yc}}; \left\{ MM_{Mi} \right\}_{1}^{k}; w(\lambda^{*}); L = R_{k}...R_{1} \right\},$$

где $MM_{\gamma_1} = \left\{ \lambda_1 = F_1(\gamma_1); \gamma_1(t); \gamma_1 \in \left[\gamma_{1 \min}; \gamma_{1 \max} \right] \right\}$ — модель входного сигнала визуального контроля; $MM_{\gamma_2} = \left\{ \lambda_2 = F_2(\gamma_2); \gamma_2(t); \gamma_2 \in \left[\gamma_{2 \min}; \gamma_{2 \max} \right] \right\}$ — модель входного сигнала канала нагружающей силы; $MM_{yc} = \{t = 30^{\circ}\text{C}, \phi = 80\%, p = 765 \text{ мм рт.ст.} \}$ — модель условий измерений; $w(\lambda^*)$ — нормальное распределение; $\{MM_{Mi}\}_{i=1,2} = (R_1,R_4,R_7,R_{11},R_{12})$ —

инструментальный ресурс измерительных средств.

В соответствии со схемой измерения (рис. 1) составлена система уравнений измерений:

$$\begin{cases} \lambda_{7}^{*}(t) = R_{7} \begin{cases} R_{4}R_{1}\gamma_{1}(t) \\ R_{12}R_{11}\gamma_{2}(t) \end{cases}; \\ \lambda_{4}^{*}(t) = R_{4}R_{1}\gamma_{1}(t); \\ \lambda_{1}^{*}(t) = R_{1}\gamma_{1}(t); \\ \lambda_{12}^{*}(t) = R_{12}R_{11}\gamma_{2}(t); \\ \lambda_{11}^{*}(t) = R_{11}\gamma_{2}(t). \end{cases}$$
(1)

Теперь система уравнений полных погрешностей имеет вид

$$\Delta\lambda_{j7}^{*\Gamma} = R_7 \begin{cases} R_4 R_1 \gamma_1(t) \\ R_{12} R_{11} \gamma_2(t) \end{cases} - R_7 \begin{cases} R_4^{\Gamma} R_1^{\Gamma} \gamma_1(t) \\ R_{12}^{\Gamma} R_{11}^{\Gamma} \gamma_2(t) \end{cases}$$
 тельном эксперимент с помощью имитациог F_3 – преобразователь, висимость измеряемо ного воздействия $\lambda = R_1 \lambda_{j1}^{*\Gamma}(t) = R_1 \gamma_1(t) - R_1 \gamma_1(t);$ (2) Можно и представа виде схемы, при этом $\lambda \lambda_{j12}^{*\Gamma}(t) = R_{12} R_{11} \gamma_2(t) - R_{12} R_{11} \gamma_2(t);$ теля значений имитацио $\lambda \lambda_{j11}^{*\Gamma}(t) = R_{11} \gamma_2(t) - R_{11} \gamma_2(t).$

2. Схема организации испытаний.

В рамках данной статьи мы будем рассматривать последовательность процедуры определения метрологических характеристик для канала R₇, схема испытания которого приведена на рис. 2, так как такой же подход будет справедлив и для остальных случаев.

Здесь использованы следующие обозначения: ГТС – генератор тестовых сигналов, формирующий испытательный сигнал $\gamma(t)$; ИСИ – испытуемое измерительное средство, на выходе которого формируется результат измерений λ_j^* ; ЭСИ — эталонное средство измерений, на выходе которого формируется действительное значение измеряемой величины $\lambda_{_{\!\mathit{J}\!\!J}}$; АЦ $\Pi_{_{\!\mathit{9}}}$ – эталонный аналогоцифровой преобразователь, формирующий входное воздействие $\gamma_i(t)$ для воспроизведения имитационного моделирования; $L_{_{
m HM}}$ – оператор имитационного моделирования; $\lambda_{_{\mathrm{ИМ}}\;_{j}}^{^{\star}}$ — результат измерений в j-м измерительном эксперименте, воспроизводимый с помощью имитационного моделирования; F_{γ} – преобразователь, воспроизводящий зависимость измеряемой величины от входного воздействия $\lambda = F(\gamma)$.

Можно и представить выражения (5) в виде схемы, при этом используется генератор случайных чисел (ГСЧ) в качестве формирователя значений имитационного сигнала (рис. 3).

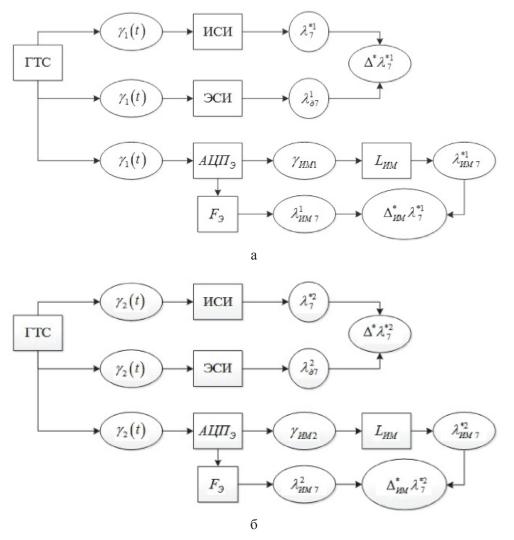


Рис. 2. Схема, иллюстрирующая имитационно-экспериментальный метод для мини-ЭВМ: $a-\partial n g$ сигнала $\gamma_{s}(t); \ \delta-\partial n g$ сигнала $\gamma_{s}(t)$

Последовательность процедуры формирования оценки полных погрешностей записывается следующим образом:

$$\gamma_j(t) \to \left(\lambda_j^* = L\gamma_j(t), \lambda_{nj} = F_3\left(\gamma_j(t)\right)\right) \to \Delta^*\lambda_j^* = \lambda_j^* - \lambda_{nj}.$$
(3)

Согласно с (1) и (3) получим

$$\Delta^* \lambda_7^{*1} = \lambda_7^{*1} - \lambda_{11}^{7} = R_7 R_4 R_1 \gamma_1(t) - F_{21}^{7} (\gamma_1(t));
\Delta^* \lambda_7^{*2} = \lambda_7^{*2} - \lambda_{12}^{7} = R_7 R_{12} R_{11} \gamma_2(t) - F_{22}^{7} (\gamma_2(t)).$$
(4)

3. Реализация имитационного эксперимента на основании [4, 5].

Последовательность операций, представляющих процедуру имитации измерительного эксперимента, можно представить следующими выражениями:

$$\gamma_{\text{UM1}} \to (R_{\text{UM1}}\gamma_{\text{UM1}}) \to (R_{\text{UM4}}R_{\text{UM1}}\gamma_{\text{UM1}}) \to \lambda_{\text{UM1}}^{*7} = R_{\text{UM7}}R_{\text{UM4}}R_{\text{UM1}}\gamma_{\text{UM1}};
\gamma_{\text{UM2}} \to (R_{\text{UM11}}\gamma_{\text{UM2}}) \to (R_{\text{UM12}}R_{\text{UM11}}\gamma_{\text{UM2}}) \to \lambda_{\text{UM2}}^{*7} = R_{\text{UM7}}R_{\text{UM12}}R_{\text{UM11}}\gamma_{\text{UM2}}.$$
(5)

Здесь индекс им означает имитационное моделирование.

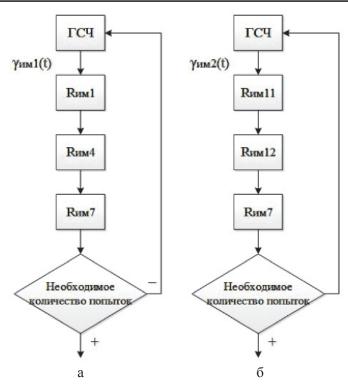


Рис. 3. Принципиальная схема имитационного моделирования для мини-ЭВМ: $a-\partial$ ля сигнала $\gamma_{i}(t)$; $\delta-\partial$ ля сигнала $\gamma_{i}(t)$

Последовательность выражений, представляющая процедуру формирования оценки погрешности $\Delta \lambda_i^*$ с помощью имитационного моделирования, имеет следующий вид:

$$\gamma_{\text{им }j} \rightarrow \left(\lambda_{\text{им }j}^* = L_{\text{им}}\gamma_j, \lambda_{\text{им }j} = F_{\text{им}}\left(\gamma_{\text{им }j}\right)\right) \rightarrow \Delta_{\text{им}}^* \lambda_j^* = \lambda_{\text{им }j}^* - \lambda_{\text{им }j}.$$
 (6)

Из формул (5) и (6) получим

$$\Delta_{\text{им}}^{*} \lambda_{7}^{*1} = R_{\text{им}7} R_{\text{им}4} R_{\text{им}1} \gamma_{\text{им}1} - F_{\text{им}1}^{7} \left(\gamma_{\text{им}1} \right);$$

$$\Delta_{\text{им}}^{*} \lambda_{7}^{*2} = R_{\text{им}7} R_{\text{им}12} R_{\text{им}11} \gamma_{\text{им}2} - F_{\text{им}2}^{7} \left(\gamma_{\text{им}2} \right).$$
Соответственные инструментальные погрешности:

$$\Delta_{u}^{*}\lambda_{7}^{*1} = \Delta^{*}\lambda_{7}^{*1} - \Delta_{\text{им}}^{*}\lambda_{7}^{*1} = \left(R_{7}R_{4}R_{1}\gamma_{1}(t) - R_{\text{им7}}R_{\text{им4}}R_{\text{им1}}\gamma_{\text{им1}}\right) - \left(F_{91}^{7}\left(\gamma_{1}(t)\right) - F_{\text{им1}}^{7}\left(\gamma_{\text{им1}}\right)\right);$$

$$\Delta_{u}^{*}\lambda_{7}^{*2} = \Delta^{*}\lambda_{7}^{*2} - \Delta_{\text{им}}^{*}\lambda_{7}^{*2} = \left(R_{7}R_{12}R_{11}\gamma_{2}(t) - R_{\text{им7}}R_{\text{им12}}R_{\text{им11}}\gamma_{\text{им2}}\right) - \left(F_{92}^{7}\left(\gamma_{2}(t)\right) - F_{\text{им2}}^{7}\left(\gamma_{\text{им2}}\right)\right).$$
Оценку вероятностной характеристики $\Theta^{*}\left[\Delta_{u}^{*}\lambda_{j}^{*}\right]$ можно вычислить по формуле

$$\Theta^* \left[\Delta_u^* \lambda_{7j}^{*1} \right] = \frac{\sum_{j=1}^N g \left[\Delta_u^* \lambda_{7j}^{*1} \right]}{N};$$

$$\Theta^* \left[\Delta_u^* \lambda_{7j}^{*2} \right] = \frac{\sum_{j=1}^N g \left[\Delta_u^* \lambda_{7j}^{*2} \right]}{N}.$$
(9)

Достоверность оценки характеристики $\Theta^* \left[\Delta_u^* \lambda_j^* \right] [1]$:

$$\delta\Theta^{*} \left[\Delta_{u}^{*} \lambda_{7j}^{*1} \right] = \sum_{j=1}^{N} \frac{g \left[\Delta_{u}^{*} \lambda_{7j}^{*1} \right]}{N} - \lim_{N \to \infty} \sum_{j=1}^{N} \frac{u g^{u} \left[\Delta^{*} \lambda_{7a j}^{u*1} - \Delta_{\text{MM}}^{**} \lambda_{7a j}^{u*1} \right]}{N};$$

$$\delta\Theta^{*} \left[\Delta_{u}^{*} \lambda_{7j}^{*2} \right] = \sum_{j=1}^{N} \frac{g \left[\Delta_{u}^{*} \lambda_{7j}^{*2} \right]}{N} - \lim_{N \to \infty} \sum_{j=1}^{N} \frac{u g^{u} \left[\Delta^{*} \lambda_{7a j}^{u*2} - \Delta_{\text{MM}}^{**} \lambda_{7a j}^{u*2} \right]}{N}.$$
(10)

где $\Delta^* \lambda_{ij}^{u^*}$ и $\Delta_{\text{им}}^{**} \lambda_{aj}^{u^*}$ – соответственно оценки полной и методической погрешности, получаемые с использованием адекватных моделей и идеальных преобразований; $\sum_{j=1}^{N} {}^{u} g^{u}$ – операторы идеального преобразования, лежащего в основе определения истинного значения вероятностной характеристики $\Theta \left[\Delta_{u}^* \lambda_{j}^* \right]$ и идеального усреднения.

Алгоритм имитационного моделирования для оперативных испытаний

На практике имитационное моделирование проводится программным методом с достаточно высокой скоростью. На основе принципиальной схемы имитационного моделирования (рис. 3) можем привести блок-схемы алгоритма, где п — количество попыток, достаточное для исследования метрологических характе-

ристик данного элемента измерительной системы и заданное до начала работы программы (рис. 4).

Все данные результатов измерений $\lambda_{\text{им}}^*$, воспроизводимых с помощью имитационного моделирования, записываются в массив S, который в свою очередь позволяет осуществлять метрологический анализ в любом виде, например в виде графика, расчета и т.д.

Заключение

- 1. Приведена принципиальная реализация аттестации схемы испытания измерительной системы, осуществлено определение метрологических характеристик всех элементов данной системы.
- 2. Предложен алгоритм имитационного моделирования с выходом использования программного метода для проведения оперативных испытаний измерительных

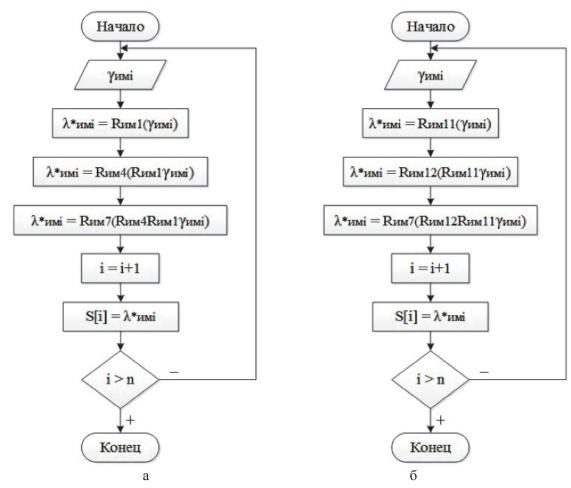


Рис. 4. Блок-схема алгоритма имитационного моделирования для мини-ЭВМ: a- для сигнала $\gamma_{l}(t);$ $\delta-$ для сигнала $\gamma_{s}(t)$

средств, встроенных в технологическое оборудование, и аттестации схемы испытания измерительной системы.

Список литературы

- 1. Брусакова И.А., Цветков Э.И. Достоверность результатов метрологического анализа. СПб.: СПбГЭТУ, 2001. 354с.
- 2. Муха Ю.П., Фам Ч.Х. Сруктурные схемы оперативных испытаний средств контроля и измерений для металлорежущих станков // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1; URL: www.science-education. ru/121-18157.
- 3. Проников А. С. Программный метод испытания металлорежущих станков. М.: Машиностроение, $1985.-288~\mathrm{c}.$
- 4. Цветков Э.И. Основы математической метрологии. СПб.: Изд-во «Политехника», $2005.-510~\mathrm{c}.$
- 5. Цветков Э.И. Метрология: Конспект лекций. СПб: Изд-во «КопиСервис», 2008. 104 с.

References

- 1. Brusakova I.A., Cvetkov E. I. Dostovernost rezultatov metrologicheskogo analiza. SPb: SPbGETU, 2001 354p.
- 2. Muxa Y.P., Fam Ch.X. Srukturnye sxemy operativnyx ispytanij sredstv kontrolya i izmerenij dlya metallorezhushhix stankov // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. no. 1; URL: www.science-education.ru/121-18157 3.
- 3. Pronikov A.S. Programmnyj metod ispytaniya metallorezhushhix stankov. M.: Mashinostroenie, 1985. 288 p.
- 4. Cvetkov E.I. Osnovy matematicheskoj metrologii. SPb: Izd-vo «Politexnika», 2005. 510 p.
- 5. Cvetkov E.I. Metrologiya: Konspekt lekcij. SPb: Izd-vo «KopiServis», 2008. 104 p.

Рецензенты:

Полянчиков Ю.Н., д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения», ВолгГТУ, г. Волгоград;

Труханов В.М., д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», ВолгГТУ, г. Волгоград.