

ОЦЕНКА ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ ГРУППОВОГО РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ВНУТРИГРУППОВЫХ СЛИЧЕНИЙ

Безуглов Д.А., Поморцев П.М.

Ростовский военный институт ракетных войск
344027, Ростов-на-Дону, 27, РВИ РВ, кафедра метрологии

Современные информационные измерительные системы представляют собой сложные комплексы аппаратуры воспроизведения, хранения и передачи размеров единиц физических величин (ФВ), основу которых составляет групповой хранитель измерительной информации. В состав группового хранителя входят несколько высокостабильных средств измерений (хранителей), оснащенных аппаратурой взаимных сличений, причем, элементы группового хранителя выполняют не просто функцию "горячего резерва" некоего основного стандарта, а являются полноправными членами группы и участвуют в формировании выходных единиц группового рабочего эталона (ГРЭ) информационных измерительных системы.

Выходные единицы ГРЭ обычно являются аналитическими величинами, сформированными на ансамбле хранителей путем статистической обработки данных взаимных сличений между элементами группы. Поэтому стабильность группового хранителя определяется не только метрологическими характеристиками, но и эффективностью статистических методов обработки данных взаимных сличений. Таким образом, задача оценивания единицы физической величины ГРЭ по результатам внутригрупповых сличений является актуальной, особенно в условиях метрологической автономности.

На практике для реализации алгоритма формирования и оценки параметров ГРЭ обычно выбирают один наиболее стабильный и надежный хранитель, который называют опорным, и единица ФВ ГРЭ принимается в виде относительной поправки на единицу ФВ опорного хранителя измерительной информации.

Такой алгоритм несовершенен с точки зрения устойчивости формируемой единицы ФВ ГРЭ к изменению состава группы, так как вывод из группы или включение в её состав нового хранителя, имеющего некоторое ненулевое действительное значение погрешности ФВ, приведет к скачкообразному изменению действительного значения единицы ФВ ГРЭ. Чтобы избежать этого, обычно используют прогноз единиц ФВ хранителей относительно групповой, полученной на некотором интервале по результатам предшествующих наблюдений [1]. Такой алгоритм является устойчивым к изменению состава группы и составляет основу ведения большинства современных эталонов. Не смотря на то, что данный алгоритм получил широкое распространение и хорошо зарекомендовал себя в практической деятельности, он не лишен целого ряда существенных недостатков, основными из которых являются:

- наличие явно выраженного "лидера". Несмотря на то, что в качестве опорного выбирается наиболее стабильный и надежный хранитель в случае его отказа, перевод единиц ГРЭ на другую "опору" потребует значительных усилий, связанных с изменением схемы сличений, учетом задержек в кабелях, а, зачастую, и с изменением математического обеспечения, используемого в штатном цикле ведения эталона;

- жесткая схема сличений, организованная по принципу "каждый с опорным". При этом результаты других сличений (хранителей между собой, но не с опорным) используются только для дополнительного контроля и не поступают в непосредственную обработку. И наоборот, отсутствие прямых сличений какого – либо хранителя с "лидером" затрудняет возможность его использования для формирования групповой единицы величины, так как косвенный пересчет единиц физических величин через третий хранитель существенно снижает точность и достоверность измерений.

Таким образом, традиционный алгоритм ведения групповых рабочих эталонов, с одной стороны не обеспечивает достаточной точности при смене опорного хранителя, а с другой стороны, имеет низкий коэффициент использования измерительной информации.

Цель работы – разработка методики определения максимально правдоподобной оценки единицы ФВ ГРЭ по результатам взаимных сличений между хранителями группы с учётом прогнозируемого дрейфа погрешностей хранителей.

Пусть в момент времени t_1 в период повседневной деятельности войск произвели сличение хранителей единицы ФВ ГРЭ с исходным рабочим эталоном (ИРЭ) и получили следующие погрешности хранителей

$$\Delta_{i/1} = X_{i/1} - X_0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где $\Delta_{i/1}$ - погрешность i – го хранителя ГМ в момент времени t_1 (индекс « $i/1$ » означает i – ый момент времени); $X_{i/1}$ - значение единицы физической величины i – го хранителя ГРЭ в момент времени t_1 ; X_0 – значение единицы физической величины ИРЭ; n – количество хранителей в ГРЭ.

Тогда в момент времени t_2 , в условиях метрологической автономности (МА), проведём сличения хранителей по схеме взаимных сличений. В общем случае, при количестве хранителей равном n , возможно провести $n(n-1)/2$ сличений. С учетом (1) запишем уравнения сличений

$$\begin{aligned}
 X_{2/2} - X_{1/2} &= (X_{\vartheta} + \Delta_{2/2}) - (X_{\vartheta} + \Delta_{1/2}) = \Delta_{2/2} - \Delta_{1/2} = \gamma_{12/2} \\
 X_{3/2} - X_{1/2} &= (X_{\vartheta} + \Delta_{3/2}) - (X_{\vartheta} + \Delta_{1/2}) = \Delta_{3/2} - \Delta_{1/2} = \gamma_{13/2} \\
 &\dots\dots\dots \\
 X_{j/2} - X_{i/2} &= (X_{\vartheta} + \Delta_{j/2}) - (X_{\vartheta} + \Delta_{i/2}) = \Delta_{j/2} - \Delta_{i/2} = \gamma_{ij/2}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где $X_{i/2, j/2}, \Delta_{i/2, j/2}, i, j = \overline{1, n}$ - соответственно значения $X_{i, j}, \Delta_{i, j}$ в момент времени t_2 ; $\gamma_{ij/2}$ - результат сличения в момент времени t_2 .

Для случая неравноточных измерений в ГРЭ введём матрицу весовых коэффициентов взаимных сличений.

$$W_{ij} = \frac{\Delta_{\vartheta \min}}{\Delta_{\vartheta i} \cdot \Delta_{\vartheta j}}, \tag{3}$$

где $\Delta_{\vartheta \min}$ - основная допустимая погрешность самого высокоточного хранителя ГРЭ; $\Delta_{\vartheta i}, \Delta_{\vartheta j}$ - соответственно основные допустимые погрешности i - го и j - го хранителя, участвующие в соответствующем сличении.

Запишем уравнения (2) с учётом соответствующих весов сличений $W_{ij}, i, j = \overline{1, n}$ (3) и выберем из полученной системы $n - 1$ уравнений, содержащих погрешности каждого хранителя ГРЭ. Дополним получившуюся систему выражением для оценки суммарной погрешности ГМ $\lambda_{\Sigma/2}^*$, добившись тем самым вынужденной инвариантности системы из n уравнений.

$$\lambda_{\Sigma/2}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_{i/2}^*, \tag{4}$$

где $\lambda_{i/2}^*$ - оценка погрешности i - го хранителя ГРЭ.

Оценки $\lambda_{i/2}^*$ определяем на основе математического аппарата оценки максимального межповерочного интервала ГРЭ [2].

Матрицу оценок Δ^* с учётом (4) находим из уравнения

$$\Delta^* = M^{-1}N. \tag{5}$$

где
$$M = \begin{vmatrix} W_{12} - W_{12} & O & \dots & O \\ W_{13} & O - W_{13} & O & \dots & O \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{1n} & O & \dots & \dots & -W_{1n} \\ 1 & 1 & \dots & \dots & 1 \end{vmatrix}, \quad \Delta^* = \begin{vmatrix} \Delta_{1/2}^* \\ \Delta_{2/2}^* \\ \dots \\ \dots \\ \Delta_{n/2}^* \end{vmatrix}, \quad N = \begin{vmatrix} \gamma_{12/2} W_{12} \\ \gamma_{13/2} W_{13} \\ \dots \\ \dots \\ \gamma_{1n/2} W_{1n} \\ \lambda_{\Sigma/2}^* \end{vmatrix},$$

Уравнение оптимальной оценки значения единицы ФВ ГРЭ $X_{i/2}^*$ по критерию максимального правдоподобия имеет вид [3]

$$X_{i/2}^* = \frac{(X_{1/2}) \sigma_{2/2}^2 \sigma_{3/2}^2 \times \dots \times \sigma_{n/2}^2 + \dots + (X_{n/2}) \sigma_{1/2}^2 \sigma_{2/2}^2 \times \dots \times \sigma_{(n-1)/2}^2}{\sigma_{2/2}^2 \sigma_{3/2}^2 \times \dots \times \sigma_{n/2}^2 + \dots + \sigma_{1/2}^2 \sigma_{2/2}^2 \times \dots \times \sigma_{(n-1)/2}^2}. \tag{6}$$

где $\sigma_{i/2}^2$ - дисперсия $X_{i/2}$.

Итоговое уравнение оценивания значения единицы ФВ записываем с учётом статистических дисперсий $\varepsilon_{i/2}^2$, характеризующих изменение погрешности хранителей относительно предыдущей поверки $X_{i/1}$ (1)

$$\begin{aligned}
 X_{i/2} &= X_{i/1} + \Delta_{i/2}^*, \\
 \sigma_{i/2}^2 &= \varepsilon_{i/2}^2 = (\Delta_{i/2}^* - \Delta_{i/1})^2,
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Согласно (6,7) выражение для максимально правдоподобной оценки значения единицы ФВ ГРЭ примет вид

$$X_{i/2}^* = \frac{(X_{1/1} + \Delta_{1/2}^*) \varepsilon_{2/2}^2 \varepsilon_{3/2}^2 \times \dots \times \varepsilon_{n/2}^2 + \dots + (X_{n/1} + \Delta_{n/2}^*) \varepsilon_{1/2}^2 \varepsilon_{2/2}^2 \times \dots \times \varepsilon_{(n-1)/2}^2}{\varepsilon_{2/2}^2 \varepsilon_{3/2}^2 \times \dots \times \varepsilon_{n/2}^2 + \dots + \varepsilon_{1/2}^2 \varepsilon_{2/2}^2 \times \dots \times \varepsilon_{(n-1)/2}^2}. \tag{8}$$

Таким образом, методика формирования максимально правдоподобной оценки значения единицы ФВ ГРЭ по результатам внутригрупповых сличений сводится к последовательности следующих операций:

- 1) по результатам взаимных сличений записываем систему уравнений (2);
- 2) формируем матрицу весов (3);
- 3) записав уравнения (2) с учётом соответствующих весов сличений (3) и выбрав из полученной системы $n - 1$ уравнений, содержащих погрешности каждого хранителя ГРЭ, записываем вынужденно инвариантную систему из n уравнений в матричном виде (5) с учётом оценки суммарной погрешности ГРЭ (4);
- 4) из (5) находим оценки основных погрешностей единиц ФВ хранителей;
- 5) рассчитываем значения статистических дисперсий погрешностей хранителей ГРЭ согласно (7);
- 6) максимально правдоподобную оценку значения единицы ФВ ГРЭ по результатам внутригрупповых сличений находим из уравнения (8).

В результате проведённого вычислительного эксперимента установлено, что погрешность полученной оценки единицы частоты, хранимой ГРЭ, в три раза меньше допустимой погрешности данного ГРЭ, а методическая погрешность, возникающая при использовании в группе как равноточных, так и разноточных хранителей, на порядок меньше допустимой.

Выводы.

Таким образом, разработанная в ходе решения поставленной задачи методика максимально правдоподобной оценки значения единицы физической величины группового рабочего эталона позволяет повысить эффективность статистического метода обработки измерительной информации взаимных сличений, осуществляемых без применения опорного хранителя (схема сличений, организованная по принципу «каждый с опорным», является частным случаем предложенной методики) и значительно увеличить устойчивость формируемой единицы физической величины к изменению состава ГРЭ информационных измерительных систем.

В ходе решения поставленной задачи получены аналитические выражения для максимально правдоподобной оценки единицы физической величины группового рабочего эталона, введены понятия матрицы весовых коэффициентов сличений и статистической дисперсии погрешности группового хранителя.

Важными достоинствами предложенного алгоритма являются рациональный и достаточно высокий коэффициент использования измерительной информации, уменьшение временных и экономических затрат на обработку результатов измерений и проводимую поверку СИ, а также существенное повышение точности определения оценки единицы физической величины ГРЭ.

Литература

1. Донченко С.И., Крошин А.Н. Новый подход к формированию групповой частоты и шкалы автономного времени на ансамбле характеристик //Измерительная техника 1999. №7. с.3-5.
2. Безуглов Д.А., Поморцев П.М. Методика увеличения межповерочного интервала групповой меры //Измерительная техника 1998. № 11. с.3-5.
3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и её инженерные приложения. - М.: Наука, 1991. – 346 с.



RATING OF UNIT OF PHYSICAL SIZE OF THE GROUP WORKING STANDARD BY RESULTS OF PROCESSING THE MEASURING INFORMATION INSIDE GROUP CHECKINGS

Bezuglov D.A., Pomortsev P.M.

The Rostov military institute of rocket armies
344027, Rostov-on-Don, 27, RMI RA, faculty metrology
The Rostov military institute of rocket armies
344027, Rostov-on-Don, 27, RMI RA, faculty metrology

The modern information measuring systems represent complex(difficult) complexes of the equipment of reproduction, storage and transfer of the sizes of units of physical sizes, which basis makes the group keeper of the measuring information.

Target units of the group working standard usually are analytical sizes generated on ensemble of the keepers by statistical data processing of mutual checkings between elements of group. Therefore stability of the group keeper is defined(determined) not only metrology by the characteristics, but also efficiency of statistical methods of data processing of mutual checkings [1]. The traditional algorithm of conducting the group working standards, on the one hand does not provide sufficient accuracy at change of the basic keeper, and on the other hand, has low operating ratio of the measuring information.

The purpose of work - development of a technique of definition of a maximum plausible rating of unit of physical size of the group working standard by results of mutual checkings between the keepers of group in view of the forecast of drift of errors of the keepers [2,3].

Developed during the decision of the put task the technique of a maximum plausible rating of value of unit of physical size of the group working standard allows to raise(increase) efficiency of a statistical method of processing of the measuring information of mutual checkings which are carried out without application of the basic keeper and much(significant) to increase stability of formed unit of physical size to change of structure of the group working standard of information measuring systems.

During the decision of the put task the analytical expressions for a maximum plausible rating of unit of physical size of the group working standard are received, the concepts of a matrix of weight factors of checkings and statistical dispersing of an error of the group keeper are entered.

The literature

1. Dontchenko S.I., Krochin A.N. New approach to formation of group frequency and scale of independent time on ensemble of the characteristics // Measuring engineering 1999. №7. p. 3-5.
2. Bezuglov D.A., Pomortsev P.M. Technique of increase between verifying interval of a group measure // Measuring engineering 1998. № 11. p. 3-5.
3. Ventzel E.S., Ovcharov L.A. The theory of casual processes and its applications. - M.: Science, 1991. – 346 p.