

УДК 004:681.121

## ОЦІНКА СКЛАДОВИХ ПОХИБКИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ОБ'ЄМУ ГАЗУ НА ОСНОВІ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*М.В. Кузь*

*Івано-Франківський університет права імені Короля Данила Галицького  
вул. Є. Коновальця, 35, м. Івано-Франківськ, 76018, тел.: (067) 9498731, e-mail: [kuz@list.ru](mailto:kuz@list.ru)*

*Проведений аналіз номенклатури показників якості програмних засобів в залежності від їх призначення та сфери застосування. Проведене ранжування якісних показників програмного забезпечення засобів вимірювання об'єму природного газу для оцінки впливу цих показників на метрологічні характеристики даних засобів вимірювань. З асортименту показників вибрані тільки ті оціночні елементи, для яких можна визначити числові значення впливу на метрологічні параметри. Сформований бюджет похибок програмного забезпечення еталонів одиниці об'єму та об'ємної витрати газу, коректорів та обчислювачів об'єму газу. Розроблена методика визначення метрологічних показників програмних засобів на базі якісних показників.*

*Ключові слова: показники якості, ранжування, метрологічні характеристики, програмне забезпечення, обчислювальний компонент.*

*Проведенный анализ номенклатуры показателей качества программных средств в зависимости от их назначения и сферы применения. Проведенное ранжирование качественных показателей программного обеспечения средств измерения объема природного газа для оценки влияния этих показателей на метрологические характеристики данных средств измерений. Из ассортимента показателей выбраны только те оценочные элементы, для которых можно определить числовые значения влияния на метрологические параметры. Сформирован бюджет погрешностей программного обеспечения эталонов единицы объема и объемного расхода газа, корректоров и вычислителей объема газа. Разработана методика определения метрологических показателей программных средств на базе качественных показателей.*

*Ключевые слова: показатели качества, ранжирование, метрологические характеристики, программное обеспечение, вычислительный компонент.*

*The analysis of the range of quality indices of the software tools, depending on their purpose and scope was made. It was conducted a ranking of the qualitative indices of the software tools used for measurement of the volume of natural gas to evaluate the effect of these indices on the metrological characteristics of these tools. For estimation there were selected only those indices for which it was possible to define the numerical values that influence the metrological parameters. It was formed the budget of software errors of standard units of volume and volumetric gas flow, correctors and gas volume calculators. It was developed a method to define the metrological indices of the software tools on the basis of the qualitative indices.*

*Key words: quality, ranking, metrological specifications, software, computer components.*

В методичних документах на державну метрологічну атестацію та повірку еталонів одиниці об'єму та об'ємної витрати газу наведені методики визначення метрологічних характеристик еталонів та давачів, що входять до складу цих еталонів, та сумарної похибки еталонів.

Однак, в жодному чинному в Україні методичному документі не наведено порядок визначення впливу на похибку еталонів об'єму та об'ємної витрати газу алгоритму оброблення даних програмним забезпеченням, що є

прикладним математичним апаратом обчислювального компоненту інформаційно-виміральної системи еталонів. В методичних документах [1, 2] декларується, що перевірку програмного забезпечення проводять згідно експлуатаційної документації на еталони. В експлуатаційній документації методика визначення похибки програмного забезпечення практично відсутня.

Нормативний документ [3] встановлює номенклатуру якісних показників програмних продуктів. Вибір номенклатури показників

якості для конкретного програмного засобу здійснюється із урахуванням його призначення і вимог сфери застосування.

Програмне забезпечення еталонів об'єму та об'ємної витрати газу, коректорів та обчислювачів об'єму газу, відповідно до [3], відноситься до групи 505 – прикладні програми для керування технічними пристроями і технологічними процесами.

Однак, визначивши якісні показники програмного забезпечення засобів вимірювання об'єму газу відповідно до вимог [3], неможливо оцінити вплив цих якісних показників на метрологічні характеристики цих засобів.

Чинний експлуатаційний документ [4] встановлює методи визначення метрологічних характеристик програмних засобів методом „чорного ящика”, тобто, коли вводяться певні вхідні дані і оцінюються вихідні дані програмного забезпечення. Ні один методичний документ, що поширюється на еталони та робочі засоби вимірювання об'єму газу не вимагає здійснення статичного тестування програмних засобів, тобто перевірки правильності алгоритму роботи програми шляхом аналізу вихідного коду програми. На відміну від цього, при оцінці якісних показників програмних продуктів [3] таке тестування здійснюється.

Метою даної роботи є формування номенклатури метрологічних характеристик та бюджету похибок програмного забезпечення еталонів та робочих засобів вимірювання об'єму газу.

Автором роботи проведено ранжування якісних показників програмного забезпечення для оцінки впливу цих показників на метрологічні характеристики повірочних установок. З асортименту показників вибрані тільки ті оціночні елементи (табл.1), для яких можна визначити числові значення впливу на метрологічні параметри і, в результаті цього, визначити похибку програмних засобів.

Методика визначення метрологічних показників програмних засобів на базі якісних показників у розрізі факторів якості наступна.

Для фактору якості "Надійність" сформовані метрологічні показники (рис. 1), які відповідають якісним показникам, наведеним в [3].

На рис.1 міткою "+" позначено повну ідентичність якісної і метрологічної характеристики, "±" – часткову ідентичність і "-" – повну неідентичність.

Оцінка граничних результатів вимірювання вхідних даних на належність до промахів Н01 здійснюється в такій послідовності.

**Таблиця 1 – Номенклатура якісних показників програмного забезпечення повірочних еталонів, коректорів та обчислювачів об'єму газу, які впливають на метрологічні характеристики.**

Фактор якості	Шифр	Оціночний елемент
1. Надійність	Н0101	Наявність вимог до програми по стійкості функціонування при наявності помилок у вхідних даних
	Н0305	Показник стійкості до спотворюючих дій
	Н0401	Ймовірність безвідмовної роботи
	Н0501	Оцінка по тривалості перетворювання вхідного набору даних у вихідний
2. Супроводжуваність	С1604	Наявність опису даних
	С1608	Наявність опису використовуваних числових методів
3. Зручність використання	31002	Достатність отриманої інформації для продовження роботи
4. Ефективність	Е0305	Кількість знаків після коми в результатах обчислень
	Е0401	Час виконання програми
	Е0402	Час реакції і відповідей
5. Універсальність	Г0704	Оцінка залежності функціонування програми від спеціальних пристроїв вводу-виводу
6. Функціональність	Ф0403	Відсутність суперечностей у виконанні алгоритмів

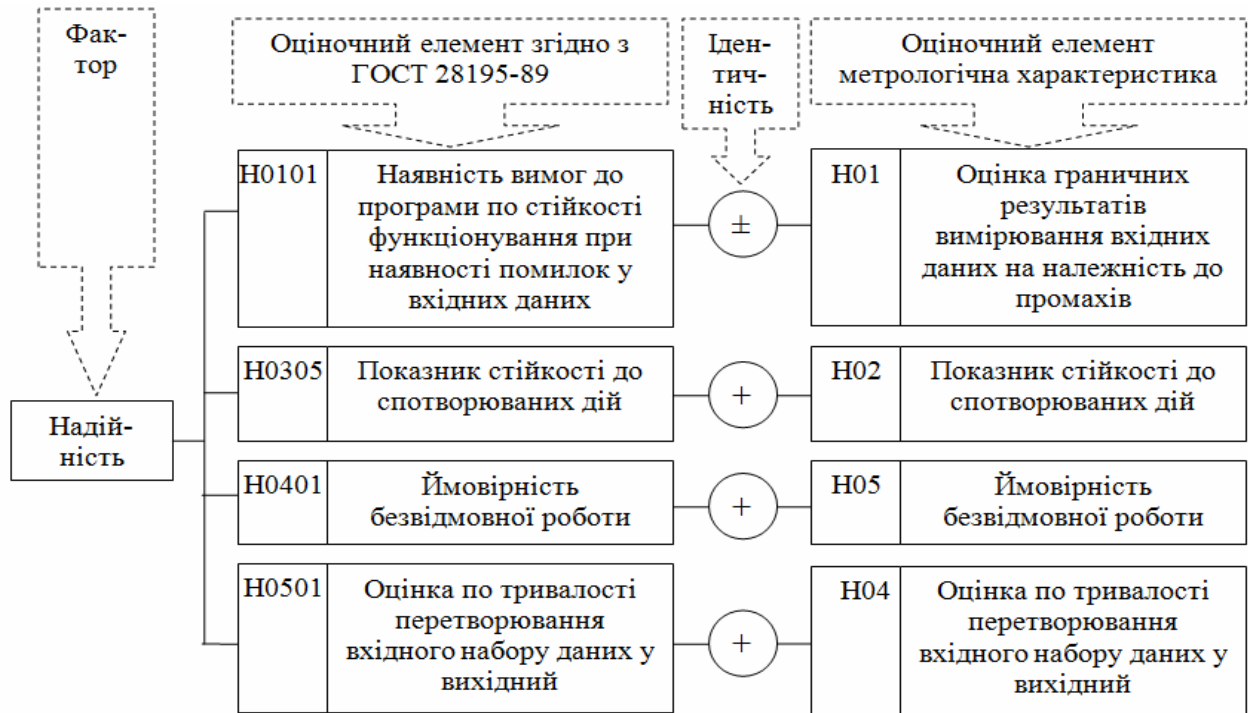


Рисунок 1 – Фактор надійності

Для кожного  $i$ -го вимірювання вхідних даних за даного  $j$ -го значення  $H01_{ji}$  визначають середнє значення  $H01_j$ :

$$\overline{H01_j} = \frac{\sum_{i=1}^n H01_{ji}}{m}, \quad (1)$$

де  $m$  – кількість вхідних даних.

Обчислюють середнє квадратичне відхилення  $S_{H01j}$ :

$$S_{H01j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (H01_{ji} - \overline{H01_j})^2}{m-1}} \quad (2)$$

та вилучають промахи згідно [5]. Для вилучення промахів обчислюють відношення:

$$r_1 = \frac{\overline{H01_j} - H01_{\min}}{S_{H01j}}, \quad (3)$$

$$r_m = \frac{H01_{\max} - \overline{H01_j}}{S_{H01j}}, \quad (4)$$

де  $H01_{\min}$  та  $H01_{\max}$  – мінімальне та максимальне значення із  $m$ -ої кількості вимірювань, відповідно.

Якщо відношення  $r_1$  до  $r_m$  менші або рівні значенню 2,551, то вважають розподіл нормальним і таким, що серед вибірки відсутні промахи. Якщо ці відношення більші значення 2,551, то необхідно те значення  $H01_{\min}$  або  $H01_{\max}$ , що викликало збільшення відношення, відкинути та продовжити без нього обчислення середнього значення та середнього квадратичного відхилення.

Коли відношення  $r_1$  до  $r_m$  стануть менші або рівні значенню 2,551, тоді обчислюють відкориговане середнє значення вхідної величини:

$$\overline{H01_{jk}} = \frac{\sum_{i=1}^m H01_{ji}}{m}. \quad (5)$$

Якщо алгоритм роботи програми не передбачає здійснення оцінки вхідних даних на наявність промахів, то похибка від впливу недостовірних вхідних даних оцінюється за формулами:

$$\delta_{H01_{\min}} = \frac{H01_{\min} - \overline{H01_{jk}}}{\overline{H01_{jk}}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

$$\delta_{H01_{\max}} = \frac{H01_{\max} - \overline{H01_{jk}}}{\overline{H01_{jk}}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Із отриманих значень, обчислених за формулами (6) і (7), вибирають найбільше значення, тобто  $\delta_{H01} = \delta_{H01_{\min}}$ , або  $\delta_{H01} = \delta_{H01_{\max}}$ , відповідно.

Показник стійкості до спотворюючих дій  $H02$  визначають за формулою:

$$\delta_{H02} = \frac{D}{K} \cdot 100 \% , \quad (8)$$

де  $D$  – кількість експериментів, в яких спотворююча дія приводила до відмови,  $K$  – кількість експериментів, в яких імітувалися спотворюючі дії.

Ймовірність безвідмовної роботи  $H03$  визначають за формулою:

$$\delta_{H03} = \frac{Q}{N} \cdot 100 \% ,$$

де  $Q$  – кількість зареєстрованих відмов,  $N$  – кількість експериментів.

Оцінка по тривалості перетворення вхідного набору даних у вихідний  $H04$  здійснюється за формулою:

$$\delta_{H04} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } T_{pi} \leq T_{pi}^{\text{доп}} \\ \frac{T_{pi}^{\text{доп}}}{T_{pi}} \cdot 100 \% , & \text{якщо } T_{pi} > T_{pi}^{\text{доп}} , \end{cases} \quad (10)$$

де  $T_{pi}^{\text{доп}}$  – допустимий час перетворення  $i$ -го вхідного набору даних,  $T_{pi}$  – фактична

тривалість перетворення  $i$ -го вхідного набору даних.

Для фактору якості "Супроводжуваність" метрологічні показники наступні (рис. 2).

Похибка від використання середніх статистичних або приблизних значень параметрів, які не вимірюються  $C01$ , визначається за формулою:

$$\delta_{C01} = \frac{C01_{\text{сер,}\approx} - C01_{\text{вим}}}{C01_{\text{вим}}} \cdot 100 \% , \quad (11)$$

де  $C01_{\text{сер,}\approx}$  – середнє статистичне або приблизне значення параметру, який не вимірюється,  $C01_{\text{вим}}$  – значення параметру у випадку його вимірювання.

Відхилення результатів обчислень програмою у випадку використання числових методів, що відрізняються від описаних в програмній документації  $C02$ , визначається в такій послідовності.

Обчислюють середнє квадратичне відхилення обчислених значень фізичної величини за методом, описаним в програмній документації  $S_1$  та  $S_2$  за методом, відтвореним в програмі:

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{li}^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_{\text{анпл}i} - p_{\text{експ}i})^2}{n(n-1)}} , \quad (12)$$

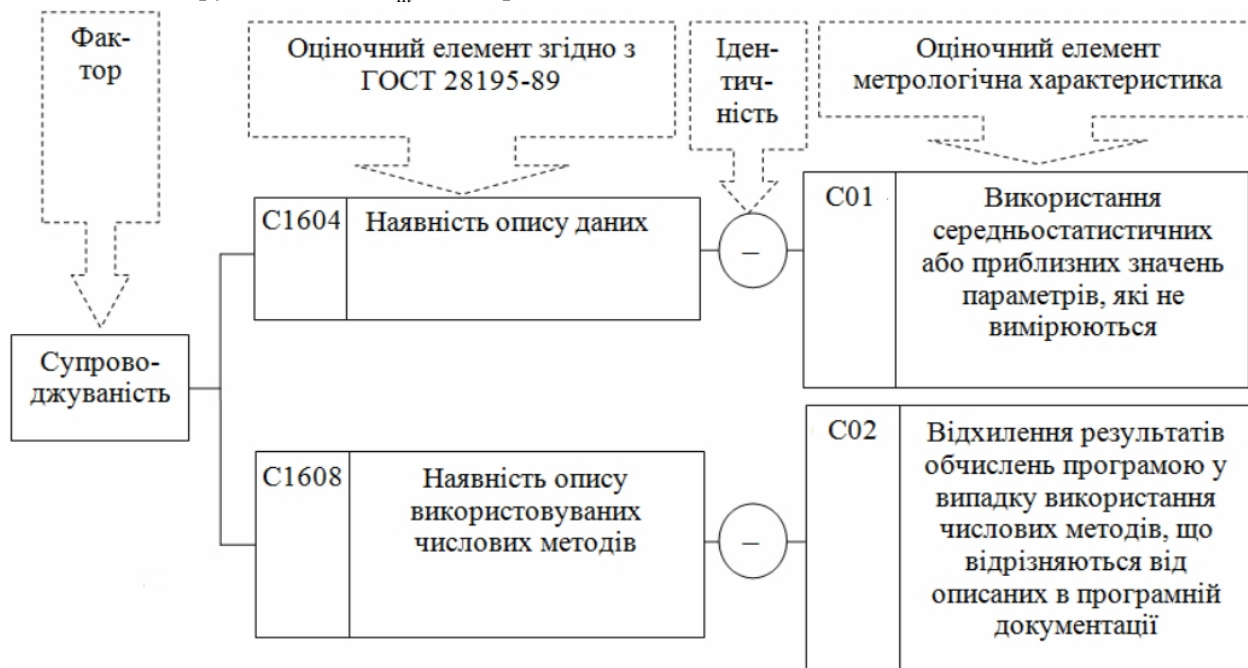


Рисунок 2 – Фактор супроводжуваності

$$S_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{2i}^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{\text{апр}2i} - P_{\text{експ}i})^2}{n(n-1)}}, \quad (13)$$

де  $P_{\text{апр}1}$  та  $P_{\text{апр}2}$  – значення фізичної величини обчислені за за методом, описаним в програмній документації, та за методом, відтвореним в програмі;  $P_{\text{експ}}$  – експериментальні значення,  $n$  – кількість точок вимірювання.

Похибка від впливу даного якісного показника на метрологічні характеристики програми визначається за формулою:

$$\delta_{\text{с02}} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } S_2 \leq S_1, \\ \frac{P_{\text{апр}2i} - P_{\text{експ}i}}{P_{\text{експ}i}} \cdot 100\%, & \text{якщо } S_2 > S_1. \end{cases} \quad (14)$$

Для фактору якості "Зручність використання" метрологічні показники наведені на рис. 3.

Достатність отриманої інформації для продовження роботи 301 оцінюється формулою:

$$\delta_{301} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } l \geq n, \\ \left( \frac{\sum_{i=1}^l 301_i}{l} - \frac{\sum_{i=1}^n 301_i}{n} \right) \cdot 100\%, & \text{якщо } l < n, \\ \frac{\sum_{i=1}^n 301_i}{n} \end{cases} \quad (15)$$

де  $301_i$  – значення фізичної величини,  $n$  – необхідна (достатня) кількість значень фізичної величини,  $l$  – фактична кількість отриманих значень.

Вплив кількості знаків після коми в результатах обчислень  $E01$ , які видаються програмою на метрологічні характеристики повірочних установок, оцінюється похибкою:

$$\delta_{E01} = \frac{10^{-f}}{E01} \cdot 100\%, \quad (16)$$

де  $E01$  – числове значення результату обчислень,  $f$  – наявний в результаті знак після коми.

Оцінка часу виконання програми  $E02$  здійснюється за формулою:

$$\delta_{E02} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } T_{\text{в}} \leq T_{\text{в}}^{\text{доп}}, \\ \frac{T_{\text{в}}^{\text{доп}}}{T_{\text{в}}} \cdot 100\%, & \text{якщо } T_{\text{в}} > T_{\text{в}}^{\text{доп}}, \end{cases} \quad (17)$$

де  $T_{\text{в}}^{\text{доп}}$  – допустимий час виконання програми,  $T_{\text{в}}$  – фактична тривалість виконання програми.

Для фактору якості "Ефективність" метрологічні показники наступні (рис.4).

Оцінка часу реакції і відповідей програми  $E03$  здійснюється за формулою:

$$\delta_{E03} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } T_{\text{р}} \leq T_{\text{р}}^{\text{доп}}, \\ \frac{T_{\text{р}}^{\text{доп}}}{T_{\text{р}}} \cdot 100\%, & \text{якщо } T_{\text{р}} > T_{\text{р}}^{\text{доп}}, \end{cases} \quad (18)$$

де  $T_{\text{р}}^{\text{доп}}$  – допустимий час реакції і відповідей програми,  $T_{\text{р}}$  – фактична тривалість реакції і відповідей програми.



Рисунок 3 – Фактор зручності використання

Для фактору якості "Універсальність" метрологічні показники наведені на рис. 5.

Під оцінкою залежності функціонування програми від спеціальних пристроїв вводу-виводу У01 мається на увазі (в адаптації до повірочних установок лічильників газу)

визначення відхилення внесеної в програму і отриманої за результатами метрологічної атестації градувальних характеристик датчиків фізичних величин, що використовуються в установках.

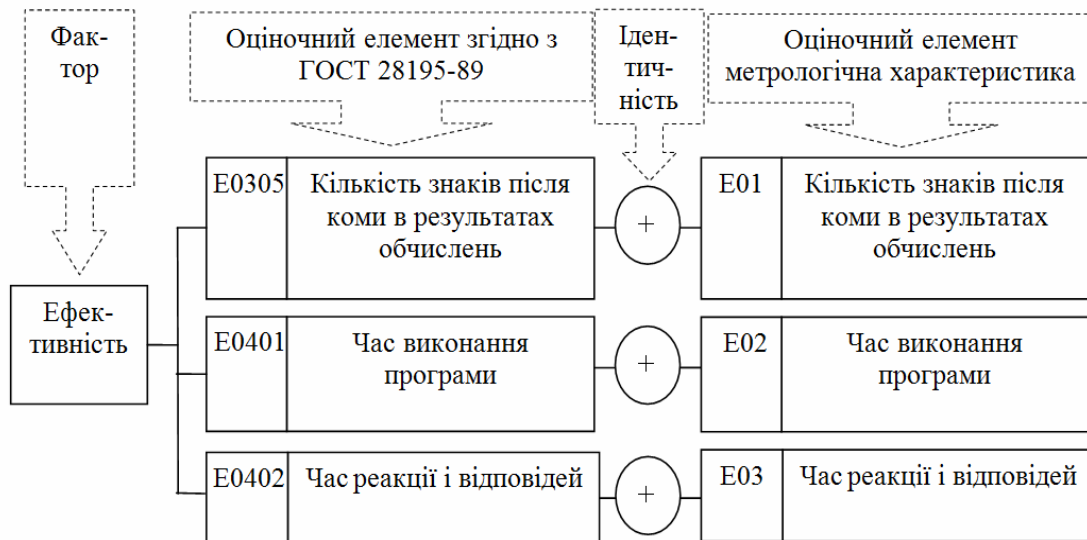


Рисунок 4 – Фактор ефективності

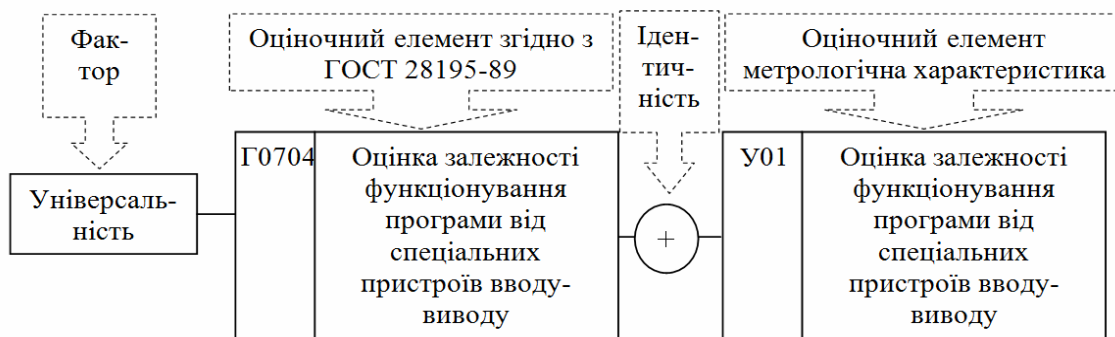


Рисунок 5 – Фактор універсальності

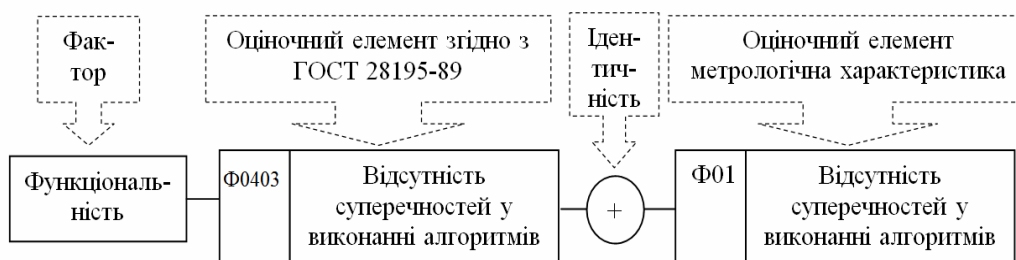


Рисунок 6 – Фактор функціональності

Відхилення градувальних характеристик визначається за формулою:

$$\delta_{y_{0i}} = \frac{Y_{01_{Pi}} - Y_{01_{Mi}}}{Y_{01_{Mi}}} \cdot 100\%, \quad (19)$$

де  $\delta_{y_{0i}}$  – значення відхилення градувальних характеристик на  $i$ -тій точці,  $Y_{01_{Pi}}$ ,  $Y_{01_{Mi}}$  – значення фізичної величини, визначеної за формулою градувальної характеристики датчика, внесеної до програми та визначеної за результатами метрологічної атестації на  $i$ -тій точці, відповідно.

Із отриманих значень, обчислених за формулою (19) вибирають найбільше значення, тобто  $\delta_{y_{01}} = (\delta_{y_{0i}})_{\max}$ .

Суперечності у виконанні алгоритмів  $\Phi 01$  можуть виникнути будь-якого характеру, тому для оцінки цього параметру потрібен індивідуальний підхід. Одним із прикладів суперечності може бути переприсвоєння значення, або функціональної залежності деякому параметру. Наприклад, визначається якийсь параметр за певною функціональною залежністю, аргументами якої є виміряні величини. Програма оцінює обчислені значення і, якщо вони виходять за допустимі межі, переприсвоює їм нові значення, що знаходяться у встановлених межах та визначені за зовсім іншою функціональною залежністю, яка не описана в програмних чи методичних документах.

Для фактору якості "Функціональність" сформовані метрологічні показники (рис. 6), які відповідають якісним показникам, наведеним в [3].

Похибка впливу суперечності у виконанні алгоритму роботи програми на метрологічні характеристики еталонів і засобів вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу визначається за формулою:

$$\delta_{\Phi 01} = \frac{\Phi 01_{\Pi} - \Phi 01_{\text{Д}}}{\Phi 01_{\text{Д}}} \cdot 100\%, \quad (20)$$

де  $\Phi 01_{\text{Д}}$  – значення фізичної величини, обчисленої за алгоритмом описаним в програмних чи методичних документах,  $\Phi 01_{\Pi}$  – значення фізичної величини отримане нею внаслідок впливу суперечності (наприклад,

переприсвоєння).

## ВИСНОВКИ

Результатом цієї роботи є сформована номенклатура метрологічних характеристик та бюджет похибок програмного забезпечення еталонів та робочих засобів вимірювання об'єму газу.

Предметом подальших наукових досліджень буде розроблення методики визначення метрологічних характеристик програмного забезпечення обчислювальних компонентів еталонів та робочих засобів вимірювання об'єму газу.

1. *Метрологія. Установки повірочні дзвонового типу. Типова програма та методика державної метрологічної атестації: МДУ 025/03-2006. - [Чинний від 2006-05-18]. – Івано-Франківськ: Івано-Франківськстандартметрологія 2006. – 47 с. – (Методичний документ з метрології).*
2. *Метрологія. Робочі еталони об'єму газу типу PVT. Програма і методика державної метрологічної атестації. – [Чинний від 2004-04-27]. – Івано-Франківськ: Івано-Франківськстандартметрологія 2004. – 13 с. – (Методичний документ з метрології).*
3. *Оценка качества программных средств. Общие положения: ГОСТ 28195-89. – [Чинний від 1990-07-01]. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 48 с. – (Міждержавний стандарт).*
4. *62.М.Т.407368.024-24 НЕ Установка компьютеризована для визначення та контролю метрологічних характеристик побутових лічильників газу „Темпо-3”МР. Настанова з експлуатації.*
5. *Прикладная статистика. Правила оценки аномальности результатов наблюдений: ГОСТ 11.002-73. - [Чинний від 1974-01-01]. – М.: Издательство стандартов, - 26 с. – (Міждержавний стандарт).*

Поступила в редакцію 26.09.2012р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Середюк О. Є.