

УДК 621.317.3 + 681.51

В.О. Багацький, О.В. Багацький

МЕТОДИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

Багацький Валентин Олексійович

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, м. Київ,
orcid: 0000-0003-2550-3133

bagatskijva@gmail.com

Багацький Олексій Валентинович

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, м. Київ,
orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2969-6630>

bagatskyu.o.v@gmail.com

В Україні окремого ДСТУ з контролю немає, контроль пов'язаний в існуючих нормативних документах з діагностуванням технічного стану та контролем якості готової продукції. У нормативних документах введено термін «вимірвальний контроль», який формально об'єднує процеси вимірювання та контролю. Це єдиний вид контролю, стосовно якого в документах зазначено не термін «inspection», а «control by measurement». Фактично цей термін розділяє процеси вимірювання та контролю і переводить процес власне допускового контролю у цифрове середовище, де він реалізується за допомогою програмних засобів. На думку авторів, вимірвальний контроль надає великі можливості для реалізації різних методів контролю і зводити його до допускового контролю (inspection), як це зроблено у нормативних документах, нецільно. Автори запропонували в процесі вимірвального контролю визначати не «відповідність» параметрів заданим в документах величинам, а «ступінь відповідності нормі», яка розраховується згідно з вибраною у вікні контролю функцією відповідності і дозволяє прогнозувати вихід контрольованого параметра за межі максимально дозволених значень. Запропоновано та досліджено як функцію відповідності нормі степеневу параболічну функцію виду $y_p^m = (a \cdot x^2 + b \cdot x + c)^m$, яка за зміною одного параметра m може змінюватися від прямокутної функції до дельта-функції. Показано, що за допомогою функції відповідності нормі можливо організувати як процеси контролю, так і процеси діагностики. Наведено два нові методи вимірвального контролю: миттєвий контроль параметра та технічного стану обладнання в цілому і моніторинговий контроль параметра та технічного стану.

Ключові слова: вимірвальний контроль, стандарти, діагностика, методи контролю, функція відповідності нормі, технічний стан, якість продукції.

Вступ

Технічний контроль з кількісними судженнями широко застосовується в промисловості при діагностуванні та контролю технічного стану обладнання [1], випробуванні і контролю якості готової продукції [2], для оцінки параметрів навколишнього середовища, фізіологічного стану людини, метрологічних характеристик засобів вимірювання та ін. Технічний контроль також є однією з основних функцій сучасних систем Інтернету речей (Internet of Things — IoT) [3], автоматичних та автоматизованих систем управління об'єктами.

Окремого ДСТУ з контролю немає. В [1] контроль пов'язаний з діагностуванням та контролем технічного стану, а в [2] — з контролем якості готової продукції.

У нормативних документах з контролю [1, 2] введено термін «вимірювальний контроль», який формально об'єднує процеси вимірювання та контролю, а терміни діагностики та контролю визначені в одному й тому ДСТУ [1], що вказує на тісний зв'язок процесів вимірювання, контролю та діагностики.

Основними складовими процесів контролю є порівняння, запам'ятовування результатів порівняння та формування вихідного цифрового коду результатів контролю. Процеси порівняння та запам'ятовування результатів порівняння можуть виконуватися з аналоговою (c_A, m_A), цифровою (c_D, m_D) та аналого-цифровою ($c_A, m_D; c_D, m_A$) формами інформації [4].

Визначення основних термінів в існуючих нормативних документах з контролю формуються з точки зору функціонального призначення цих процесів.

Аналіз існуючої літератури та нормативних документів з контролю

В [5] розглянуто структури і особливості функціонування основних різновидів інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), які характеризуються за допомогою змістовних логічних схем алгоритмів. Висловлена думка про подібність операцій вимірювання, контролю та діагностики. Описані мікропроцесорні засоби, стандартні інтерфейси та інші системні засоби інтеграції ІВС. Викладаються основи системотехнічного проектування ІВС.

У [6] висвітлені питання забезпечення заданої вірогідності та ефективності вимірювального контролю. Запропоновано адаптивну послідовну процедуру контролю з адаптивною керованою невизначеністю. Застосування послідовних процедур при контролю дозволяє підвищити вірогідність рішень, що приймаються при мінімальних часових та матеріальних витратах.

В [4] запропоновано класифікувати процеси контролю за формою інформації, яка обробляється в складових процесах порівняння та запам'ятовування.

Розглянемо деякі найпростіші визначення контролю, наведені в нормативних документах з контролю [1, 2]. За цими документами існує декілька видів контролю.

Контроль за альтернативною ознакою — контроль, за якого певні характеристики оцінюються і класифікуються як відповідні або не відповідні встановленим вимогам без виміру (inspection by attributes — «контроль за параметрами» або «контроль параметрів») [1].

Альтернативний контроль відбувається при порівнянні контрольованої величини з однієї межею, як і процес однорозрядного вимірювання, тобто стан контрольованої величини розділяється на дві області, одну з яких можна вважати областю нормального стану [5].

Допусковий контроль — контроль, який установлює перебування дійсного значення параметра відносно його гранично допустимих значень без вимірювання значення параметра [1].

Процес допускового контролю можна класифікувати як процес двоєзового порівняння. Межами є максимально та мінімально допустимі значення контрольованої величини. За результатом такого контролю формується сигнал тривоги, вимкнення обладнання або зупинки технологічного процесу.

Ці два типи контролю відбуваються за типом (c_A, m_D) . Це означає, що процес порівняння проводиться за допомогою аналогових вимірювальних компараторів з цифровим виходом, а результати порівнянь запам'ятовуються у цифровому вигляді.

За цим же типом працює контроль в аналого-цифрових пристроях контролю [4].

Вимірювальний контроль установлює факт перебування дійсного значення параметра відносно його гранично допустимих значень шляхом вимірювання значення параметра (control by measurement) [1]. У цьому визначенні формально об'єднані терміни «вимірювання» та «контроль».

Це єдиний вид контролю, щодо якого в ДСТУ зазначено не термін «inspection», а «control by measurement». Останній перекладається як «управління за допомогою вимірювання», фактично він розділяє процеси вимірювання та контролю і переводить процес власне допускового контролю у цифрове середовище, де реалізується за допомогою програмних засобів.

За вимірювальним контролем вимірювання проводиться за типом (c_A, m_D) , а власне контроль — за типом (c_D, m_D) .

Перелічені види контролю відносяться до контролю окремих параметрів.

Мета роботи

Визначити додаткові можливості вимірювального контролю та розробити нові методи вимірювального контролю на основі визначення «ступінь відповідності» контрольованої величини нормі.

Вимірювальний контроль

У зв'язку з появою мікросхем аналого-цифрових перетворювачів та аналого-цифрових контролерів широке застосування одержав вимірювальний контроль.

Вхідними даними для вимірювального контролю є контрольований параметр в аналоговій формі та гранично допустимі значення у цифровому вигляді. Після вимірювань цифрові значення параметрів порівнюються з їх гранично допустимими значеннями в цифровому вигляді. Передатна характеристика вимірювального допускового контролю (прямокутне вікно контролю) наведена на рис. 1.

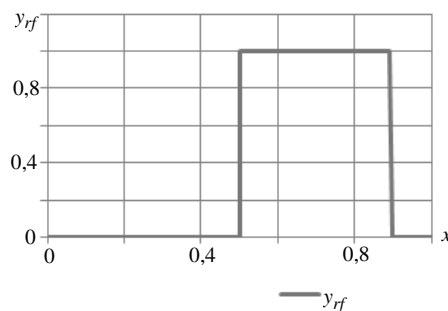


Рис. 1

На осі абсцис графіка зображена нормована за діапазоном контрольована аналогова величина x , а на осі ординат — значення передатної функції контролю y_{rf} . Якщо функція контролю дорівнює одиниці, то контрольована величина знаходиться в межах допуску, якщо нулю — то виходить за межі допуску.

На рис. 1 нижнє граничне допустиме значення $x_{b\min} = 0,5x$, а верхнє граничне допустиме значення $x_{b\max} = 0,9x$.

Аналітично передатна характеристика вимірювального допускового контролю безперервного параметра x відображається системою рівнянь

$$y_{rf}(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_{b\max} > x > x_{b\min}, \\ 0, & \text{якщо } x_{b\min} \geq x \geq x_{b\max}, \end{cases} \quad (1)$$

де x — безперервна величина параметра, що контролюється, $x_{b\min}$, $x_{b\max}$, — нижнє та верхнє гранично допустимі значення x , $y_{rf}(x)$ — прямокутна функція контролю.

На думку авторів, вимірювальний контроль надає великі можливості для реалізації різних методів контролю і зводити його до допускового контролю (inspection), як це зроблено у визначенні [1], недоцільно.

За допусковим контролем неможливо визначити, де в межах вікна знаходиться контрольована величина. Перехід через верхню або нижню межі гранично допустимих значень завжди виникає миттєво та, головне, неочікувано, за незначною зміною контрольованої величини параметра.

Функція відповідності нормі

У нормативних документах з вимірювального контролю нормою вважається знаходження контрольованої величини в межах гранично допустимих значень. Поняття «номінальне значення» контрольованої величини відсутнє [6].

Будемо вважати, що відхилення параметра x від номінального значення в менший або більший бік однаково небажані, а номінальне значення параметра найкраще.

Якщо за норму прийняти номінальне значення та межі гранично допустимих значень, то, крім прямокутної передатної функції контролю, можна використовувати інші (віконні) функції [7].

Автори запропонували та розробили метод визначення ступеня відповідності параметра нормі за допомогою віконних функцій [8], які автори назвали *функціями відповідності нормі*. В роботі використовується не часове [7], а діапазонне вікно, в якому побудовані ці функції. Кожному значенню контрольованого параметра x відповідає певне значення функції відповідності, яке є *коефіцієнтом ступеня відповідності нормі* Q_x .

Якщо прийняти визначення: *якість є ступенем відповідності нормі*, то коефіцієнт Q_x характеризує якість контрольованого параметра відповідно до норми. Таким чином, якість зведена до числової оцінки, яка в абсолютному значенні буде залежати від вибору форми функції відповідності. Однак незалежно від форми функції співвідношення уподобань для всіх функцій відповідності залишається однаковим.

Функція відповідності нормі може бути кусково-лінійною, квадратичною або степеневу квадратичною. За цими функціями коефіцієнт ступеня відповідності для номінального значення параметра дорівнює одиниці. Для параметрів з відхиленнями, меншими за гранично допустимі, коефіцієнт ступеня відповідності може змінюватися від одиниці до нуля, залежно від величини відхилення від номінального значення. Якщо відхилення більше гранично допустимих значень, то коефіцієнт ступеня відповідності дорівнює нулю.

Доцільно використовувати функцію, форму якої можна змінювати за допомогою показника ступеня, тобто функція повинна бути достатньо універсальною.

Автори пропонують як функцію відповідності нормі використовувати параболічні степеневі функції виду $y_p^m = (a \cdot x^2 + b \cdot x + c)^m$, в яких m може бути заданим від 0 до ∞ .

Якщо показник степеня m змінюється від одиниці до нуля, то y_p^m буде прагнути до прямокутної функції контролю, зображення якої наведено на рис. 1.

Якщо m дорівнює одиниці, то функція відповідності є параболою.

Якщо m змінюється від 1 до ∞ , то степенева функція буде прагнути до дельта-функції, в якій за найменшого відхилення параметра від номінального значення функція відповідності буде дорівнювати нулю.

На рис. 2 наведено графіки степеневих параболічних функцій $y_p^m = (a \cdot x^2 + b \cdot x + c)^m$ з $m = 1/8$, $m = 1$, $m = 8$, для вікна контролю $\pm 0,1x$ з номінальним значенням $0,7x$. Наведені графіки підтверджують універсальність функції.

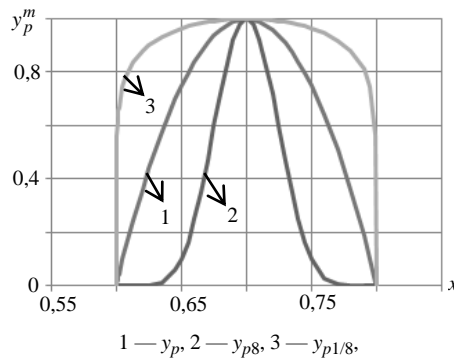


Рис. 2

В аналітичному вигляді така функція представлена наступною системою рівнянь. У подальшому будемо розглядати функції, у котрих m може бути цілим числом від 1 до m .

$$y_p^m(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x = x_{nom}, \\ (a \cdot x^2 + b \cdot x + c)^m, & \text{якщо } x_{bmax} > x > x_{bmin}, \\ 0, & \text{якщо } x_{bmin} \geq x \geq x_{bmax}, \end{cases} \quad (2)$$

де a , b , c , m — параметри степеневі параболічної функції, що задаються, x — значення контрольованого параметра, x_{nom} — номінальне значення контрольованого параметра, x_{bmin} , x_{bmax} — нижнє та верхнє гранично допустимі значення x , $y_p^m(x)$ — степенева параболічна функція.

На рис. 3 зображені параболічні степеневі функції для вікна з номінальним значенням $0,7x$ та максимально допустимими відхиленнями $\pm 0,1x$ для різних постійних коефіцієнтів $m_1 = 1$, $m_2 = 2$, $m_3 = 3$, $m_4 = 4$, $m_8 = 8$.

Особливі точки цих функцій визначимо за допомогою аналізу першої та другої похідних від функцій.

Аналітично перша похідна від степеневі параболічної функції дорівнює виразу, що наведено в формулі

$$(y_p^m(x))' = ((a \cdot x^2 + b \cdot x + c)^m)' = m \cdot (a \cdot x^2 + b \cdot x + c)^{m-1} \cdot (2a \cdot x + b) = K_x, \quad (3)$$

де K_x є коефіцієнтом підсилення для кожної точки функції відповідності нормі.

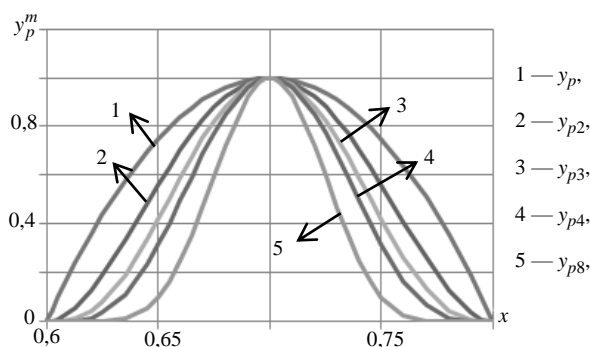


Рис. 3

На рис. 4 наведено графіки перших похідних від функцій відповідності з різними коефіцієнтами m . За цими графіками можливо визначити особливі точки функцій відповідності та першої похідної.

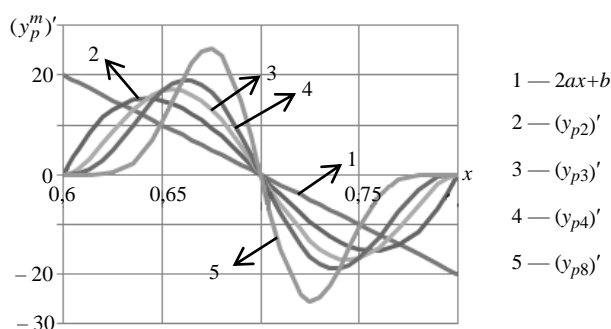


Рис. 4

Квадратична складова дорівнює нулю на краях вікна для $m > 1$, а лінійна складова — у точці $x = x_{nom}$. Це означає, що в цих точках функція відповідності має екстремуми, тобто коефіцієнти підсилення K_x в них дорівнюють нулю. Для звичайної параболи з $m_1 = 1$ квадратична складова дорівнює одиниці, тому перша похідна має тільки лінійну частину, що дорівнює нулю на середині осі абсцис, де функція відповідності має екстремум (максимум).

Особливими точками на графіках першої похідної також є точки, де вони досягають максимального значення K_{mmax} . Для різних функцій значення K_{mmax} та їхні координати в діапазоні $0,6x \div 0,7x$ наведені в таблиці.

Таблиця

m	1	2	3	4	8
K_{mmax}	20	15	17	19	25
x_m	0,6	0,645	0,655	0,66	0,675
y_{pm}	0	0,4865	0,5072	0,4978	0,597

Якщо припустити, що $(a \cdot x^2 + b \cdot x + c) = P$, а $(2a \cdot x + b) = L$, то вираз для другої похідної від степеневі функції відповідності буде таким:

$$(y_p^m(x))'' = m \cdot (m-1) \cdot P^{m-2} \cdot L^2 + m \cdot P^{m-1} \cdot 2a. \quad (4)$$

На рис. 5 зображені графіки других похідних від функцій відповідності з різними m .

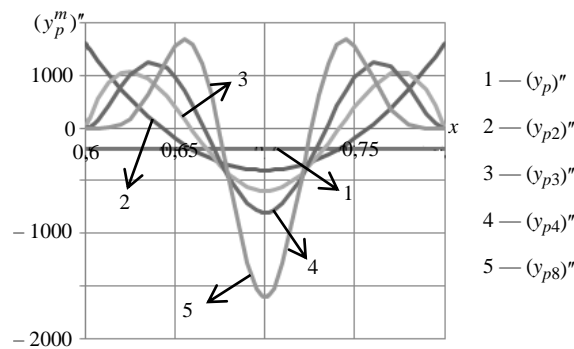


Рис. 5

Похідна функції відповідності з $m = 1$, тобто параболи, є постійною величиною і має розриви на краях вікна. Похідна функції відповідності з $m = 2$ на краях вікна контролю також має розриви.

Передатні та перехідні функції ланок систем регулювання та управління можна формувати за допомогою степеневих параболічних функцій. Для управління в електромеханічних системах суттєве значення має характер другої похідної від передатної та перехідних функцій. Вона характеризує прискорення, а прискорення пов'язано з силою. Оскільки друга похідна має розриви на кінцях максимально допустимих значень, то використання функцій відповідності другого степеня може призводити на початку виходу на режим слідування за нормою до виникнення сил, подібних до удару. В таких системах необхідно використовувати ланки з передатними степеневими параболічними функціями, які не мають розривів другої похідної на краях вікна контролю, тобто функцій з коефіцієнтом $m = 3$ і більше.

Дослідження нелінійної функції відповідності за допомогою аналізу першої та другої похідних дозволило для кожного значення контрольованої величини розрахувати коефіцієнт підсилення і визначити максимальний коефіцієнт підсилення K_{\max} та розрахувати похибки процесу вимірювального контролю [9].

Для кусково-лінійної функції відповідності (трикутна функція Бартлета) похибка контролю однакова для всього вікна контролю і дорівнює похибці квантування за рівнем аналого-цифрового перетворення, що помножена на коефіцієнт підсилення K_x .

Для степеневих параболічних функцій відповідності з $m \geq 2$ похибка контролю змінюється від нуля на початку, кінці та на рівні номінального значення $x_{\text{ном}}$ вікна контролю до величини похибки квантування, помноженої на максимальний коефіцієнт підсилення K_{\max} [9].

Для того щоб вихід контрольованого параметра за гранично допустимі значення не відбувався раптово та неочікувано, за значеннями функції відповідності встановлюється рівень попередження, наприклад рівень $0,1y_p$. Якщо значення коефіцієнта ступеня відповідності нормі стане менше $0,1y_p$, то подається попередження про небезпечне наближення параметра до гранично допустимого значення.

Після кожного процесу вимірювання одержане у цифровому вигляді значення контрольованого параметра (відлік) перетворюється через функцію відповідності на коефіцієнт ступеня відповідності нормі, який також формується у вигляді цифрового коду. Розрахунок коефіцієнта ступеня відповідності нормі одного відліку контрольованого параметра провадиться за системою рівнянь (2). Перше та третє рівняння подібні до рівнянь допускового контролю, а друге рівняння може

використовуватися для контролю та діагностики параметра шляхом розділення вікна контролю на види технічного стану, залежно від похибок контролю [9]. Тому можна вважати, що контроль з використанням функції відповідності нормі виконує завдання контролю та діагностики.

Автори пропонують наступне визначення.

Контроль (діагностика) параметра — експериментальний керований процес порівнянь вхідної контрольованої (діагностованої) величини з номінальним та залежними від нього значеннями величин, запам'ятовування результатів порівнянь та формування результатів контролю (діагностики) у вигляді вихідного цифрового коду, який є коефіцієнтом ступеня відповідності нормі відліку контрольованої величини (кодом виду технічного стану діагностованої величини).

Моніторинг одного параметра

Існує багато завдань, в яких необхідно контролювати, як змінюється параметр у часі, тобто провадити процес моніторингу. Це моніторинг параметрів оточуючого середовища, фізіологічних параметрів здорової та хворої людини, параметрів технологічних процесів та ін. Моніторингові вимірювання та контроль параметра провадяться періодично через певний зазначений проміжок часу.

При допусковому контролі результатом моніторингу є один з двох можливих випадків: «параметр відповідає нормі» або «параметр не відповідає нормі». У другому випадку формується сигнал тривоги.

Якщо виконується вимірвальний контроль з використанням функції відповідності нормі, то результатом його буде вихідний цифровий код, який характеризує ступінь відповідності параметра нормі при зміні його у часі. При виході параметра за зону максимально допустимих значень на виході з'являється нульовий цифровий код і в той же час формується сигнал тривоги.

Процес моніторингу триває значний час відносно проміжку часу між окремими послідовними операціями вимірювання та контролю. Виникає проблема «великих даних», які необхідно характеризувати за допомогою інтегрального показника. Найпростішим способом одержання такого показника є усереднення величин.

Пропонуємо [10] використовувати показник зміни параметра у часі як поточне зважене середнє значення коефіцієнта ступеня відповідності нормі, який розраховується за формулою

$$Q_{avTp} = (T_1 / T_{all}) \cdot Q_1 + (T_2 / T_{all}) \cdot Q_2 + \dots + (T_i / T_{all}) \cdot Q_i + \dots + (T_n / T_{all}) \cdot Q_n, \quad (5)$$

де Q_{avTp} — поточне зважене середнє за часом значення коефіцієнта ступеня відповідності нормі, T_i — час перебування контрольованого параметра на ділянці з коефіцієнтом ступеня відповідності нормі Q_i , Q_i — коефіцієнт ступеня відповідності нормі для i -го відліку, T_{all} — загальний час контролю на даний момент часу, n — загальна кількість відліків на даний момент часу.

Кожен технологічний процес реалізується для того, щоб одержати певну продукцію. У найпростішому випадку якість продукції характеризується тільки одним параметром якості. Якщо технологічний процес виконується визначений час, продукція накопичується в якомусь резервуарі або споживається будь-коли під час виготовлення, то можливо визначити якість виробленої або спожитої продукції за допомогою формули

$$Q_{avAp} = (A_1 / A_{all}) \cdot Q_1 + (A_2 / A_{all}) \cdot Q_2 + \dots + (A_i / A_{all}) \cdot Q_i + \dots + (A_n / A_{all}) \cdot Q_n, \quad (6)$$

де Q_{avAp} — зважене поточне середнє за кількістю продукції коефіцієнта ступеня відповідності нормі, A_i — кількість продукції з коефіцієнтом ступеня відповідності нормі Q_i , Q_i — коефіцієнт ступеня відповідності нормі для i -го відліку показника якості продукції, A_{all} — загальна кількість виробленої або спожитої продукції, n — загальна кількість відліків показника якості продукції на даний момент часу.

Формула (6) подібна до формули (5), але усереднення коефіцієнта ступеня відповідності нормі, що характеризує якість, відбувається за спожитою або виробленою кількістю продукції.

Визначення усередненого коефіцієнта ступеня відповідності нормі виконується за формулами (5) та (6). При цьому необхідно одержувати як результат поточне значення коефіцієнта ступеня відповідності нормі та усереднений за часом або кількістю продукції показник коефіцієнта ступеня відповідності нормі змін одного параметра за довільний проміжок часу.

Контроль за декількома параметрами

Такі види контролю, як контроль технічного стану об'єкта, контроль функціонування об'єкта, контроль заданих параметрів технологічного процесу та його безпеки, контроль якості продукції, зазвичай проводяться за декількома параметрами.

Оцінку ступеня відповідності нормі об'єкта контролю за кількома параметрами, відліки яких одержані в один момент часу (миттєво), пропонуємо [8] виконувати за формулою

$$Q_G = \prod_{j=1}^k Q_j, \quad (7)$$

де Q_G — миттєвий узагальнений коефіцієнт ступеня відповідності нормі для об'єкта в цілому, Q_j — миттєвий коефіцієнт ступеня відповідності параметра j , k — кількість контрольованих параметрів.

Для одержання узагальненого за часом коефіцієнта відповідності нормі об'єкта та узагальненого за кількістю продукції коефіцієнта якості продукції Q_{GavA} в режимі моніторингу [10] коефіцієнти відповідності нормі Q_{GavT} параметрів j та коефіцієнти якості параметрів j об'єднуються мультиплікативно.

Значення коефіцієнтів ступеня відповідності відліків всіх параметрів можуть змінюватися в діапазоні від нуля (найгірший сценарій) до одиниці (найкращий сценарій). Якщо помножити дві або більше величин, менші за одиницю, то результат буде менше за менший множник. Тому такий критерій об'єднання коефіцієнтів має назву «гірший або гірше гіршого». Фактично це критерій найгіршого сценарію, який займає чільне місце в проектуванні елементів та пристроїв комп'ютерних керуючих систем.

Між мультиплікативним критерієм для оцінки технічного стану або якості за кількома параметрами та степеневими параболічними функціями відповідності нормі існує прямий зв'язок. Якщо для оцінки кожного параметра технічного стану використовувати параболічну функцію з $m = 2$, то для чотирьох параметрів після множення узагальненою оцінкою буде степенева функція з $m = 8$. Тому для розрахунку похибки оцінювання можна використовувати результати з [8].

Три наведені коефіцієнти ступеня відповідності нормі: миттєвий, усереднений та узагальнений, можуть бути різними для одного й того ж об'єкта контролю та для одного й того ж часу.

Висновок

В процесі вимірювального контролю запропоновано визначати не «відповідність» параметрів заданим в документах величинам, а «ступінь відповідності нормі», яка розраховується згідно з вибраною у вікні контролю функцією відповідності і дозволяє прогнозувати вихід контролюваного параметра за межі максимально дозволених значень.

Як функцію відповідності нормі запропоновано степеневу параболічну функцію виду $y_p^m = (a \cdot x^2 + b \cdot x + c)^m$, яка за зміною одного параметра m може змінюватися від прямокутної функції до дельта-функції.

Показано, що за допомогою функції відповідності нормі можливо організувати процеси як контролю, так і діагностики.

Наведено два нові методи вимірювального контролю: миттєвий контроль параметра та технічного стану обладнання в цілому і моніторинговий контроль параметра та технічного стану.

V. Bahatskyi, O. Bahatskyi

METHODS OF CONTROL BY MEASUREMENT

Valentin Bahatskyi

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv,

bagatskijva@gmail.com

Oleksji Bahatskyi

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv,

bagatskyi.o.v@gmail.com

In Ukraine, there are no separate regulatory documents for inspection; term «inspection» is used in the existing regulatory documents for diagnosis technical state and quality inspection of finished products. In regulatory documents, the term «control by measurement» was introduced, which formally combines the processes of measurement and inspection. This is the only type of control, in relation to which the English term «inspection» is not used in the documents. In fact, this term separates the processes of measurement and inspection and translates the actual acceptance inspection process into a digital environment, where it is implemented using software tools. According to the authors, control by measurement provides great opportunities for the implementation of various control by measurement methods, and reducing it to acceptance inspection, as is done in regulatory documents, is impractical. The authors suggested that in the process of control by measurement, it is not the «conformity» of the parameters with the values specified in the documents that should be determined, but «degree of conformity with the norm», which is calculated according to the compliance function selected in the control by measurement window and allows predicting the output of the controlled parameter beyond the maximum allowed values. A m -degree parabolic function of the compliance $y_p^m = (a \cdot x^2 + b \cdot x + c)^m$, which can change from a rectangular function to a delta function by changing one parameter, is proposed and investigated as a compliance function the

norm. It is shown that with the help of the compliance function, it is possible to organize both control by measurement processes and diagnostic processes. Two new methods of control by measurement are given: instant control by measurement of the parameter and technical state of the equipment as a whole and monitoring control by measurement of the parameter and technical state.

Keywords: control by measurement, normative documents, diagnosis, method of inspection, function of conformity with the norm, technical state, quality inspection.

ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. Держстандарт України, 1994. 24 с.
2. ДСТУ 3021-95. Випробовування і контроль якості продукції. Терміни та визначення. Держстандарт України, 1995. 71 с.
3. Ashton K. That 'Internet of Things'. *RFID Journal* (June 22, 2009). Appeal date: November 30, 2012. Archived January 24, 2013. <https://www.itrc.jp/libraries/RFIDJournal-That%20Internet%20of%20Things%20Thing.pdf>
4. Багацкий В.А., Грешицев Ю.М., Самус И.В., Фабричев В.А. Преобразователи формы информации с обработкой данных. К. : Наук. думка, 1992. 264 с.
5. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы. М. : Энергоатомиздат, 1985. 439 с.
6. Володарський Є.Т., Кошева Л.О., Клевцова М.О. Адаптивний вимірювальний контроль. Теоретичні та практичні аспекти: монографія. Вінниця : ВНТУ, 2021. 162 с.
7. Марпл мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М. : Мир, 1990. 584 с.
8. Спосіб визначення ступеня відповідності багатofакторного процесу нормі; пат. 123138 Україна: G05B 23/00, G06Q 50/00 (212.01), G06F 15/00. № a201606093; заявл. 06.06.2016; опубл. 24.02.21, Бюл. № 8. 8 с.
9. Багацкий В.А., Багацкий А.В. Преобразование погрешностей на передаточных функциях измерения и контроля. *Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики»*. 2021. № 4. С. 92–104. DOI: <https://doi.org/10.34229/1028-0979-2021-4-9>
10. Спосіб визначення ступеня відповідності інерційного багатofакторного процесу нормі; пат. 119554 Україна: G06F 15/04, G05B 23/00, G06F 17/10. № a201609824; заявл. 26.09.2016; опубл. 10.07.19, Бюл. № 13. 10 с.

Отримано 13.06.2022