

В.П. Калінчик, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0003-4028-0185
 В.В. Калінчик, канд. техн. наук, ORCID 0000-0003-3931-646X
 Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ДИСКРЕТНОМУ ПРЕДСТАВЛЕННІ ІНФОРМАЦІЇ

В роботі розглядаються принципи побудови систем контролю фізичних факторів виробничого середовища, які засновані на застосуванні аналогових датчиків і перетворювачів аналог-частота для передачі інформації. Сукупність джерел інформації контролю шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища розглядається як набір датчиків випадкових процесів. Формування дискретних повідомлень в динаміці відбувається з частотою, що відбиває в часі процес зміни фізичного параметру. При цьому точність вихідної інформації залежить від частоти надходження імпульсів і від інтервалу часу, за який подається інформація. Представлена узагальнена структура системи контролю небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища

Ключові слова: небезпечні та шкідливі фактори, виробниче середовище, датчики, перетворювачі.

Вступ. У системах контролю параметрів виробничого середовища важливим є оперативне отримання достовірної інформації, що значною мірою обмежується функціональними можливостями датчиків і пропускнуною спроможністю каналів зв'язку. На практиці, як правило, використовуються аналогові датчики, як такі, що більш прості і набагато дешевші цифрових [1-3]. Проте, в існуючих системах передачі даних за принципом фіксованого розподілу пропускнуною спроможності каналу застосування таких датчиків для створення систем контролю малоефективне.

Метою роботи є побудова системи контролю шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, в основу якої положено застосування аналогових первинних вимірювачів, підключених до каналів передачі даних через перетворювачі аналог-частота.

Викладення основного матеріалу.

При автоматизованому контролі джерелами інформації (датчиками) є первинні вимірювачі фізичних небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища.

Формування дискретних повідомлень в динаміці відбувається з частотою, що відображає в часі процес змін контрольованого параметру. При цьому точність вихідної інформації залежить від частоти надходження імпульсів і від інтервалу часу, за який подається інформація.

Очевидно, що підвищення точності досягається шляхом збільшення частоти вихідних імпульсів.

Проте, максимальна частота вихідних імпульсів обмежена пропускнуною спроможністю каналу зв'язку.

При дискретному представленні інформації (рисунок 1) накоплене значення контрольованого параметру визначається шляхом підрахунку числа імпульсів в цьому проміжку.

$$E_i' = K_i N_i, \quad (1)$$

де K_i - коефіцієнт порогового значення контрольованого процесу на один імпульс.

Реальне значення контрольованого параметру відрізняється і визначається за формулою

$$E_i = K_i N_i - \Delta E_{i-1} + \Delta E_i, \quad (2)$$

де ΔE_{i-1} і ΔE_i помилки вимірювань відповідно в $(i-1)$ -му та i -му інтервалах.

Середнє значення контрольованого процесу за час T_i дорівнює $P_i = E_i / T_i$.

Необхідно відмітити, що зазначені помилки істотно впливають на поведінку прогнозуючої системи.

Знаючи оцінку реальну оцінку контрольованого процесу в моменти часу між інформаційними імпульсами датчика, можна зменшити похибку представлення інформації.

Вимірювальний тракт даної системи включає в себе первинні аналогові вимірювачі фізичних факторів і перетворювачі аналог - частота. Тоді узагальнена модель такого вимірювального тракту може бути описана рівнянням

$$\frac{d}{dt} \omega(t) + K_1 \omega(t) = K_2 p(t), \quad (3)$$

де $\omega(t)$ - швидкість зміни контрольованого процесу; $p(t)$ - поточне значення контрольованого параметру;

K_1, K_2 -коефіцієнти моделі.

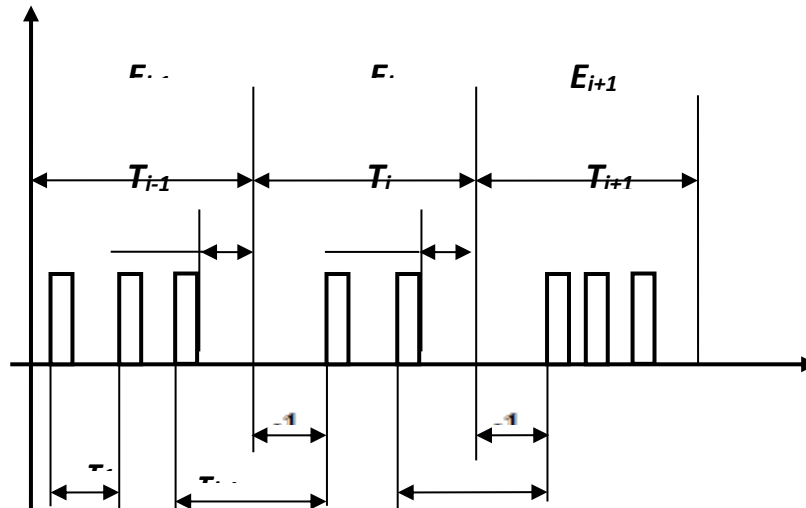


Рисунок 1- Принцип вимірювання фізичних факторів при дискретному представленні інформації

Датчик в такій системі вимірів працює за принципом порогового інтегратора і кожен черговий імпульс надходить після досягнення величиною $p(t)$ порогового значення. Тоді співвідношення паузи між імпульсами пов'язано із швидкістю наступним співвідношенням

$$\int_{t_i}^{t_{i+1}} \omega(t) dt = K_i \quad (4)$$

Для оцінки поточного значення контрольованого параметру $p(t)$ в деякій точці t_i скористаємося наступною процедурою.

Розглядаючи поточне значення контрольованого параметру як деякий випадковий нестационарний процес [4,5] проаналізуємо характер перетворення його ймовірнісних характеристик при проходженні через ланки (3) і (4) вимірювального тракту.

При проходженні випадкового процесу $p(t)$ через лінійну динамічну ланку (3) справедливі наступні залежності [4,5].

$$m_\omega(t) = \int_0^t m_p(t-\tau)g(\tau)d\tau, \quad (5)$$

$$r_\omega(t_1, t_2) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} r_p(t_1-\tau_1, t_2-\tau_2)g(\tau_1)g(\tau_2)d\tau_1d\tau_2,$$

де $m_\omega(t)$, $m_p(t)$ - математичні очікування процесів $p(t)$ і $\omega(t)$;

$r_\omega(t_1, t_2)$, $r_p(t_1, t_2)$ - кореляційні функції випадкових процесів $p(t)$ і $\omega(t)$;

$g(\tau) = e^{-\tau}$ - імпульсна характеристика ланки.

Виходом датчика є дискретний випадковий процес з елементів

$$\omega_i = \frac{1}{\tau_i} \int_{t_i}^{t_{i+1}} \omega(t) dt \quad (6)$$

де $\tau_i = t_{i+1} - t_i$ - інтервал між $(i+1)$ -м та i -м імпульсами.

Іншими словами, згідно з (4) вихідний дискретний сигнал складається з сходинок виду (6), що мають однакову площу, але різні тривалості. Математичне сподівання i -ї сходинки дорівнює

$$M_i = M\{\omega_i\} = \frac{1}{\tau_i} \int_{t_i}^{t_{i+1}} M\{\omega(t)\} dt = \frac{1}{\tau_i} \int_{t_i}^{t_{i+1}} m_\omega(t) dt, \quad (7)$$

а кореляція між i -ю та $(t + k)$ -ю сходинками дорівнює

$$M_i = M\{\omega_i\} = \frac{1}{\tau_i} \int_{t_i}^{t_i+1} M\{\omega(t)\}dt = \frac{1}{\tau_i} \int_{t_i}^{t_i+1} m_\omega(t)dt. \quad (8)$$

Представимо оцінку поточного параметру у вигляді

$$\tilde{p}(t) = \sum_{i \in I} a_i \omega_i, \quad (9)$$

де $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$.

В якості критерію оцінки приймемо відомий критерій середньоквадратичного відхилення (СКВ)

$$\varepsilon^2(t) = M\left\{[\tilde{p}(t) - p(t)]^2\right\}. \quad (10)$$

Запишемо (9) у вигляді

$$\tilde{p}(t) = \vec{\omega}^T \vec{a}. \quad (11)$$

Мінімізуючи (11) методом найменших квадратів, приходимо до необхідності вирішення системи лінійних рівнянь

$$K \vec{a}_{opt} = \vec{K}_p(t), \quad (12)$$

де K - кореляційна матриця, що складається з елементів (8), $\vec{K}_p(t)$ - вектор, що складається з елементів $K_{pr}(t) = M\{\omega_{ir} p(t)\}$.

Формально записавши

$$\vec{a}_{opt} = K^{-1} \vec{K}_p(t) \quad (13)$$

приходимо до оптимальної лінійної оцінки

$$\tilde{p}(t) = \vec{\omega}^T K^{-1} \vec{K}_p(t). \quad (14)$$

Розглянемо вектор $\vec{K}_p(t)$. Його компонента $\vec{K}_r(t)$ представляє собою кореляцію між сходинкою ω_{ir} і значеннями випадкового процесу $p(t)$ в точці t . Процес $p(t)$ формально можна представити у вигляді

$$p(t) = D_t[\omega(t)], \quad (15)$$

де $D_t = \frac{1}{k_2} \frac{d}{dt} + \frac{k_1}{k_2}$ - лінійний диференціальний оператор першого порядку.

Використовуючи властивості лінійних операторів, виконаємо перетворення

$$\begin{aligned} K_{pr}(t) &= M\{\omega_{ir} p(t)\} = M\{\omega_{ir} D_t[\omega(t)]\} = \frac{1}{\tau_{ir}} D_t \left[\int_{t_{ir}}^{t_{ir}+1} M\{\omega(\tau)\omega(t)\}d\tau \right] = \\ &= D_t \left[\frac{1}{\tau_{ir}} \int_{t_{ir}}^{t_{ir}+1} r_\omega(\tau, t) d\tau \right]. \end{aligned} \quad (16)$$

Відмітимо, що

$$K_{\omega r}(t) = \frac{1}{\tau_{ir}} \int_{t_{ir}}^{t_{ir}+1} r_\omega(\tau, t) dt \quad (17)$$

представляє собою кореляцію між сходинкою ω_{ir} і значеннями випадкового процесу $\omega(t)$ в точці (t) .

Тоді

$$\tilde{p}(t) = D_t \left[\vec{\omega}^T K^{-1} \vec{K}_\omega(t) \right] = D_t[\tilde{\omega}(t)] \quad (18)$$

де $\tilde{\omega}(t)$ - оцінка реалізації процесу $\omega(t)$.

Таким чином, оцінка випадкового процесу $p(t)$ складається з двох етапів (рис.3): побудова оцінки $\tilde{\omega}(t)$ і застосування до неї диференціального оператора D_t . Оцінка $\tilde{\omega}(t)$ - це відновлене з-під інтеграла (4) значення $\omega(t)$. Така оцінка носить суто статистичний характер.

Відповідно до (18):

$$\tilde{\omega}(t) = \bar{\omega}^T K^{-1} \bar{K}_\omega(t). \quad (19)$$

її математичне очікування

$$\tilde{m}_\omega(t) = \bar{m}_\omega K^{-1} \bar{K}_\omega(t) \quad (20)$$

і кореляційна функція

$$\tilde{r}_\omega(t_1 t_2) = M\{\omega(t_1)\omega(t_2)\} = \bar{K}_\omega^T(t_1) K^{-1} \bar{K}_{10}. \quad (21)$$

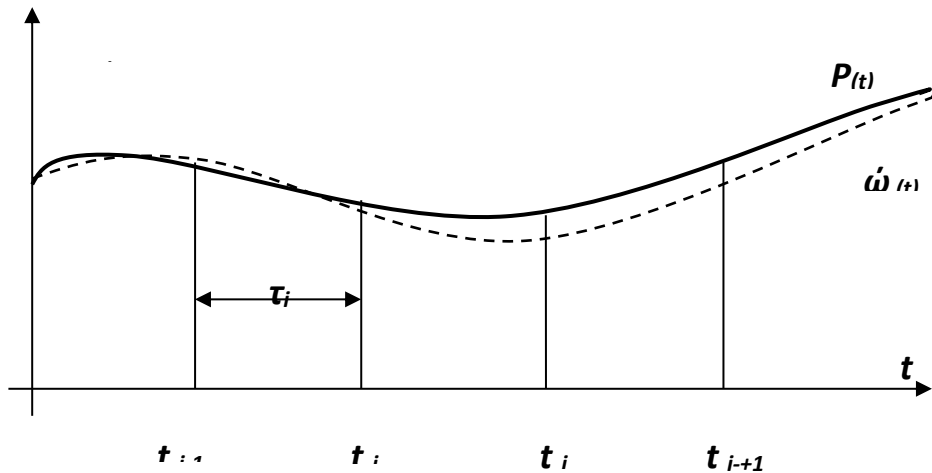


Рисунок 2- Зміна $\omega(t)$ і $P(t)$ у часі

При осередненні $\tilde{\omega}(t)$ на деякому інтервалі $\Delta = [t_1 t_2]$

$$\omega_\Delta = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \tilde{\omega}(t) dt = \bar{\omega}^T K^{-1} \bar{K}_\Delta, \quad (22)$$

де r -а компонента представляє собою кореляцію сходинок ω_{ir} і ω_Δ .

Якщо інтервал Δ збігається з інтервалом однією зі сходинок ω_i , $i \in I$, то $\omega_\Delta = \omega_i$.

Розглянемо можливість побудови квазіоптимальної оцінки $\tilde{\omega}(t)$. З огляду на те, що компоненти вектора $\bar{a}_{opt}(t) = K^{-1} \bar{K}_\omega(t)$ є ваговими функціями для вектора сходинок $\bar{\omega}^T = (\omega_{i1}, \dots, \omega_{in})$, то для зменшення витрат на обчислення $\bar{a}(t)$ можна використовувати апіорну інформацію про випадкові процеси $\omega(t)$ і $p(t)$.

Так, наприклад, якщо процес зміни параметрів має кореляційну функцію, близьку до експоненційної, то можна прийняти

$$r_\omega(t_1 t_2) \approx e^{-a|t_1 - t_2|}, \quad (23)$$

де параметр a вибирається з апіорних міркувань і може коригуватися в темпі процесу. Компоненти вектора $\bar{a}(t)$ визначаються із виразів (8) і (17) за вихідними даними тривалостей інтервалів між імпульсами $[t_{ir} t_{ir+1}]$.

Таким чином, запропонований підхід дозволяє здійснити поточну оцінку контрольованого параметру для довільного моменту часу по вихідній послідовності імпульсів.

Виходячи з поставленого завдання і на підставі проведених досліджень, розроблена узагальнена структура системи контролю небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища [6], яка представлена на рисунку 3.

В цій системі:

Д₁, Д₂, ..., Д_n - датчики контрольованих параметрів (первинні вимірювачі фізичних небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища);

U/f₁, U/f₂, ..., U/f_n – перетворювачі аналог-частота;

Мікросервер WEB – блок попереднього збору і накопичення даних;

Центр обробки та аналізування даних – сервер комунікацій та бази даних.

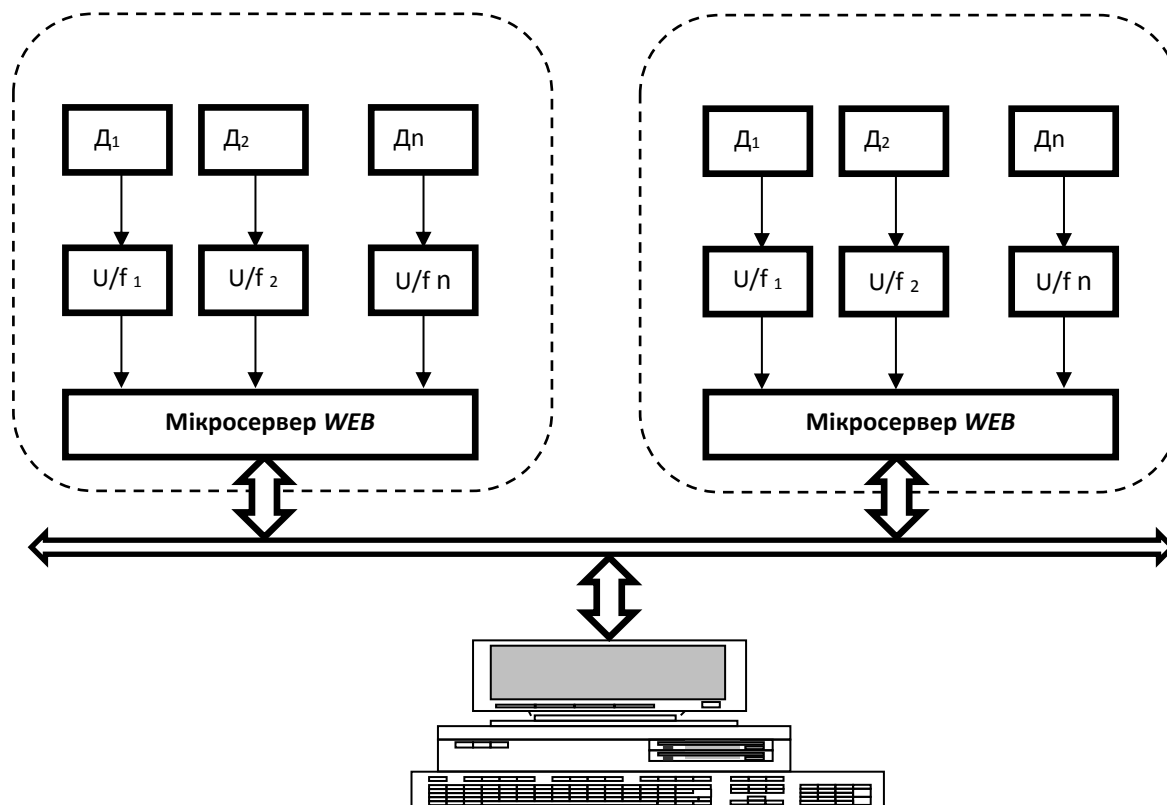


Рисунок 3 - Узагальнена структура системи контролю факторів виробничого середовища

До складу первинних вимірювачів входять вимірювачі шуму та вібрації, вимірювачі запиленості, освітленості, мікроклімату, іонізуючих та електромагнітних випромінювань, інші. Первинні вимірювачі повинні мати достатню чутливість у всіх діапазонах нормованих фізичних величин, а також повинні забезпечити можливість подальшого перетворення вихідного аналогового сигналу в цифровий код.

Всі первинні прилади представляються як сукупність первинних вимірювачів (датчиків), підключених через перетворювачі аналог-код (аналог-частота) до блоків попереднього збору і накопичення даних (мікросервери WEB). Управління периферійними комплексами та здійснення загального моніторингу здійснюється центром обробки та аналізування даних, що представляє собою сервер комунікацій та бази даних.

Висновок. Запропоновано процедуру оцінювання параметрів виробничого середовища при дискретному представленні інформації, що забезпечує підвищення точності їх контролю за рахунок оцінки параметру в моменти часу між інформаційними імпульсами.

Список літератури

1. Посудін Ю.І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища [Текст] /Посудін Ю.І. /.— Київ: Світ, 2003. —288 с .
2. Посудін Ю.І. Фізика і біофізика навколишнього середовища[Текст] /Посудін Ю.І. / — Київ: Світ, 2000. - 303 с.
3. Федин С.И. Автоматизированный мониторинг физических опасных и вредных производственных факторов: дис. канд. техн. наук: 05.26.01 «Охрана труда». – С.-Петербург, – 2004. – 229 с.
4. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники [Текст] / Левин Б.Р./ - М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
5. Липкин И.А. Статистическая радиотехника. Теория информации и кодирования [Текст] / Липкин И.А./-М.: Вузовская книга, - 2002. — 216 с.
6. Калінчик В.В. Вибір принципів побудови системи контролю шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища/ *Енергетика: економіка, технології, екологія* – 2016. - № 1. – С. 116 – 121.

V. Kalinchyk, Ph.D., ORCID 0000-0003-4028-0185
V. Kalinchyk, Ph.D., ORCID 0000-0003-3931-646X
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

PRODUCTION ENVIRONMENT ASSESSMENT WITH DISCRETE PRESENTATION

The paper describes the principles of physical factors control systems construction that are based on the use of analog sensors and analog-frequency converters for the transmission of information. The assembly of monitoring hazards factors of the working environment information sources is regarded as a set of random processes. The discrete messages formation in the dynamics occurs with a frequency that reflects the process of changing the physical parameter in time. In this case, the accuracy of the output information depends on the pulse frequency and the time interval over which the information is supplied. It is shown that the maximum frequency of the output pulses is limited by the bandwidth of the communication channel, which leads to significant errors in the physical factors control system. It is shown that the maximum frequency of the output pulses is limited by the bandwidth of the communication channel, which leads to significant errors in the physical factors control system. These errors significantly affect the behavior of the forecasting system. The actual evaluation of the controlled process at moments between sensor information pulses allows to reduce the information representations error. The measuring path of the control system includes primary analog physical factor meters and analog - frequency converters. The current value of the controlled parameter is considered to be some random non-stationary process. The sensor in such measurement system operates on the threshold integrators principle and each regular pulse is received after reaching the threshold value. The procedure of estimation of parameters of a production environment at a discrete presentation of information provides increase of accuracy of their control at the expense of estimation of a parameter in the moments of time between information pulses. The general structure of the control of dangerous and harmful factors of the production environment system is presented.

Keywords: dangerous and harmful factors, hazards factors, the production environment, sensors, converters.

REFERENCES

1. Posudin Y.I. Methods of Measurement of the Environmental Parameters [text] / Posudin Y.I. - Kyiv: Svit, 2003. – 288 p.
2. Posudin Y.I. Physics and Biophysics of the Environment [text] / Posudin Y.I. - Kyiv: Svit, 2000. – 303 p.
3. Fedin S.I. Automated monitoring of physical hazards and harmful production factors: Ph.D.Thesis 05.26.01 «Occupational safety and health» - Saint Petersburg: 2004. - 229 p.
4. Levin B.R. Theoretical fundamentals of statistical radio engineering [text] / Levin B.R. - M.: Radio i sviaz, 1989. – 656 p.
5. Lipkin I.A. Statistical radio engineering. Information and coding theory [text] / Lipkin I.A. - M.: Vuzovskaya kniga, 2002. – 216 p.
6. Kalinchyk V.V. Selection guidelines for creating hazard environment factors control systems / Kalinchyk V.V. / *Energetica: ekonomika, tehnologiya, ekologiya* – 2016. - № 1. – p. 116 – 121.

Надійшла 13.01.2020
Received 13.01.2020