

DOI: 10.32347/2076-815X.2023.83.374-385

УДК 622.741.3.022;622.7;620.133

к.т.н., доц. **Човнюк Ю.В.**,

yuchovnyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0608-0203,

доцент **Чередніченко П.П.**,

petro_che@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7161-661X,

к.т.н. **Москвітін А.С.**,

moskvitina.as@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-3352-0646,

к.т.н. **Золотар Л.В.**,

luydmula.z@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9031-2061,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ІННОВАЦІЙНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЗМІНИ ЗАБРУДНЕНОСТІ ТА ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ СПОРТИВНИХ СПОРУД: ФІТНЕС-ЗАЛИ ТА ПЛАВАЛЬНІ БАСЕЙНИ

При використанні сучасних систем автоматизації та управління мікрокліматом приміщень з динамічною зміною надходження шкідливостей необхідно враховувати час реакції системи на зміни та передбачити зміни цих параметрів. Зміна забрудненості вуглекислим газом та вологості повітря спортивних споруд – таких, як фітнес-зали та плавальні басейни, є нестаціонарним випадковим процесом зі складним видом не стаціонарності й може бути описана статистичними характеристиками, отримання котрих ускладнюється імовірнісною природою усього процесу та наявністю випадкових й систематичних похибок вимірювання забрудненості та вологості повітря конкретної спортивної споруди, специфіка функціонування процесів тепломасообміну, вологообміну у приміщеннях спортивних споруд (плавальні басейни, зали для занять фітнесом, тренажерні зали і т. п.) у сучасній науковій літературі практично не вивчена. Тому дане дослідження проведене саме для того, щоб покращити ситуацію і вивести її з глухого кута (невизначеності) щодо спортивних споруд та їх приміщень для занять масовою фізичною культурою, відпочинку, дозвілля. В роботі запропонований комплексний метод дослідження динаміки зміни забрудненості та вологості повітря приміщення спортивної споруди (фітнес-зали, плавальні басейни, та ін.) дозволяє визначити статистичні характеристики процесу та ідентифікувати його за із задовільною для практичних цілей точністю (похибка складає не більше 10%).

Ключові слова: динаміка зміни забрудненості; показники швидкоплинних процесів тепло- масо- вологообміну; забрудненість приміщень викидами CO₂ ; вологонадходження; спортивні споруди; інтелектуальні системи управління мікрокліматом; енергоефективність.

Постановка проблеми. При використанні сучасних систем автоматизації та управління мікрокліматом приміщень з динамічною зміною надходження шкідливостей необхідно враховувати час реакції системи на зміни та передбачити зміни цих параметрів [1]. Зміна забрудненості вуглекислим газом (CO_2) та вологості повітря спортивних споруд – таких, як фітнес-зали та плавальні басейни, є нестаціонарними випадковим процесом зі складним видом не стаціонарності й може бути описана статистичними характеристиками, отримання котрих ускладнюється імовірнісною природою усього процесу та наявністю випадкових й систематичних похибок вимірювання забрудненості (CO_2) та вологості повітря конкретної спортивної споруди [1, 2].

Модель такого процесу можна подати у вигляді:

$$A^c(t) = W^p(t) = B(t) + C(t) + X(t) + N(t) , \quad 1)$$

де: $B(t)$ – повільно змінна (тренд) або неперіодична функція; $C(t)$ – гармонічна функція з фіксованими періодами; $X(t)$ – функція, яка характеризує випадковий стаціонарний процес з нульовим математичним очікуванням; $N(t)$ – функція, що вираховує випадкові завади, обумовлені похибкою стандартного методу опробування повітря чи похибкою вимірювання відповідного приладу.

Аналіз публікацій по темі досліджень. Математичне моделювання і оптимізація теплової ефективності будівель, розрахунки систем вентиляції та кондиціонування повітря, які працюють у нестаціонарних режимах розглянуті у роботах [2-6]. Проте, на думку авторів даного дослідження, специфіка функціонування процесів тепломасообміну, вологообміну у приміщеннях спортивних споруд (плавальні басейни, зали для занять фітнесом, тренажерні зали і т. п.) у сучасній науковій літературі практично не вивчена. Тому дане дослідження проведене саме для того, щоб покращити ситуацію і вивести її з глухого кута (невизначеності) щодо спортивних споруд та їх приміщень для занять масовою фізичною культурою, відпочинку, дозвілля.

Мета роботи. Запропонований комплексний метод дослідження динаміки зміни забрудненості (CO_2) та вологості повітря приміщення спортивної споруди (фітнес-зали, плавальні басейни, та ін.) дозволяє визначити статистичні характеристики процесу та ідентифікувати його за (1) із задовільною для практичних цілей точністю (похибка складає не більше 10%).

Виклад основного матеріалу дослідження. У процесі дослідження необхідно використовувати добові діаграми роботи вимірювачів забрудненості повітря CO_2 та вологомірив у фітнес-залах та плавальних басейнах протягом тривалого періоду часу (>70 діб).

Діаграми слід коригувати із урахуванням випадкових та систематичних похибок вимірювань приладів. Послідовні точки діаграми (з інтервалом $\Delta t = 2\text{хв}$) слід представляти у вигляді часових рядів забрудненості повітря CO_2 ($A_1^c, A_2^c, \dots, A_n^c$) та його вологості ($W_1^p, W_2^p, \dots, W_n^p$). Статистичні характеристики доцільно визначати для кожної з 70 реалізацій часових рядів з числом точок $440 \leq n \leq 700$. Крім математичних очікувань забруднення повітря CO_2 та вологості повітря $\overline{A^c}$ та $\overline{W^p}$ слід визначити їх дисперсію навколо середніх значень $D(A^c)$ та $D(W^p)$ й нормативні автокореляційні функції вихідних часових рядів:

$$R(\mu) = \left\{ \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+\mu} - \bar{x})^2 \right] \right\}^{-1/2} \cdot \left\{ \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n (x_{i+\mu} - \bar{x}) \right] \right\}, \quad (2)$$

де: x – математичне очікування забруднення повітря CO_2 чи вологості; x_i – його поточне значення; μ - гармоніка основної частоти.

$R(\mu)$ обчислюється для $\mu = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$ та $i = 1, 2, \dots, n$.

Для отримання з (2) залежності R від часового зсуву τ достатньо помножити μ на $\Delta t = 2\text{хв}$. Ковзаючі середні k -го спадкування, які дозволяють уникнути випадкових похибок вимірювання й правильно подати динаміку зміни забруднення повітря CO_2 і його вологості, обчислюються за формулою:

$$x_{i+(k-1)/2}^k = (x_i + x_{i+1} + \dots + x_{i+k-1}) \cdot k^{-1}, \quad (3)$$

$$k = 3, 5, \dots, 243; i = 1, 2, 3, \dots, (n-1).$$

Із ковзаючих середніх k -го порядку формується новий згладжений ряд: при $k=3$ з $(n-2)$, при $k=5$ з $(n-4)$ членів і т.д. Дисперсія часового ряду навколо ковзаючого середнього $D^k(x)$ розраховується по формулі:

$$D^k(x) = (n - k)^{-1} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^{n-k} \left(x_{i+(k-1)/2}^k - x_{i+(k-1)/2} \right)^2 \right\} \quad (4)$$

Якщо відома дисперсія вимірювання приладу $\sigma^2(x)$, її порівняння з дисперсією $D^k(x)$ дозволяє повністю позбутися впливу $\sigma^2(x)$ на часовий ряд, який аналізують. Так, за малого значення k матимемо $D^k(x) < \sigma^2(x)$, при великому k - $D^k(x) > \sigma^2(x)$. Рівність $D^k(x) = \sigma^2(x)$ свідчить про те, що у згладженому часовому ряді повністю позбутись похибки вимірювання приладу $\sigma(x)$ й він достовірно представляє істинну динаміку зміни забруднення повітря газом CO_2 чи вологості повітря у спортивній споруді (у конкретному приміщенні плавального басейну чи у фітнес-залі).

Для згладжених часових рядів розраховується достовірні статистичні характеристики зміни забрудненості повітря CO_2 та вологості (цього повітря): математичне очікування $(n-k)$:

$$\bar{x}^k = (n-k+1)^{-1} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n-k} x_{i+(k-1)/2} \right) \quad (5)$$

дисперсія:

$$D(x^k) = (n-k)^{-1} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^{n-k+1} (x_{i+(k-1)/2}^k - \bar{x}^k)^2 \right\} \quad (6)$$

нормована автокореляційна функція:

$$R^k(\mu) = \left\{ \left[\sum_{i=1}^{n-k-\mu} \left(x_{i+\frac{k-1}{2}}^k - \bar{x}^k \right)^2 \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^{n-k-\mu} \left(x_{i+\mu+\frac{k-1}{2}}^k - \bar{x}^k \right)^2 \right] \right\}^{-1/2} \times \\ \times \left\{ \sum_{i=1}^{n-k-\mu} \left(x_{i+(k-1)/2}^k - \bar{x}^k \right) \cdot \left(x_{i+\mu+(k-1)/2}^k - \bar{x}^k \right) \right\} \quad (7)$$

Розраховані по (7) нормовані автокореляційні функції згладжених часових рядів зміни забрудненості повітря CO_2 для $k=q$ й $k=43$ наведені на рис. 1 (як приклад). Послідовне згладжування вихідного часового ряду та порівняння дисперсій $D^k(x)$ й $\sigma^2(x)$ дозволяють знайти такий порядок згладжування k_1 , котрий дає можливість відсторонитись від випадкової похибки вимірювання приладу $\sigma(x)$. У свою чергу нормована автокореляційна функція вихідного часового ряду навколо ковзаючого середнього порядку k_1 :

$$R(\mu)_{k_1} = \left\{ \left[\sum_{i=1}^{n-k_1-\mu} \left(x_{i+\frac{k_1-1}{2}}^{k_1} - x_{i+\frac{k_2-1}{2}} \right)^2 \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^{n-k_1-\mu} \left(x_{i+\mu+\frac{k_2-1}{2}}^{k_2} - x_{i+\mu+\frac{k_1-1}{2}} \right)^2 \right] \right\}^{-1/2} \times \\ \times \left\{ \sum_{i=1}^{n-k_1-\mu} \left(x_{i+\frac{k_1-1}{2}}^{k_1} - x_{i+\frac{k_1-1}{2}} \right) \cdot \left(x_{i+\mu+\frac{k_2-1}{2}}^{k_2} - x_{i+\mu+\frac{k_1-1}{2}} \right) \right\} \quad (8)$$

Є основною статистичною характеристикою компоненти $N(t)$, котра представляє собою стаціонарний випадковий процес.

Компонента $B(t)$ визначається за допомогою методів фільтрації [1.2]. Аналіз згладжених часових рядів зміни забрудненості CO_2 та вологості повітря, показує, що на інтервалі $\Delta N = 150$ точкам, що відповідає інтервалу часу $\Delta t = 300$ хв, компонента $B(t)$ з відносною похибкою не більше 20% апроксимується кубічною параболою:

$$B(t) = a + b \cdot t + e \cdot t^2 + d \cdot t^3 \quad (9)$$

Коефіцієнти a , b , e та d для заданого Δt легко визначити за методом найменших квадратів (МНК) [3]. Виключення (елімінування) з вихідного

часового ряду $N(t)$ та $B(t)$ дозволяє отримати новий часовий ряд, у якому є тільки $C(t)$ й $X(t)$.

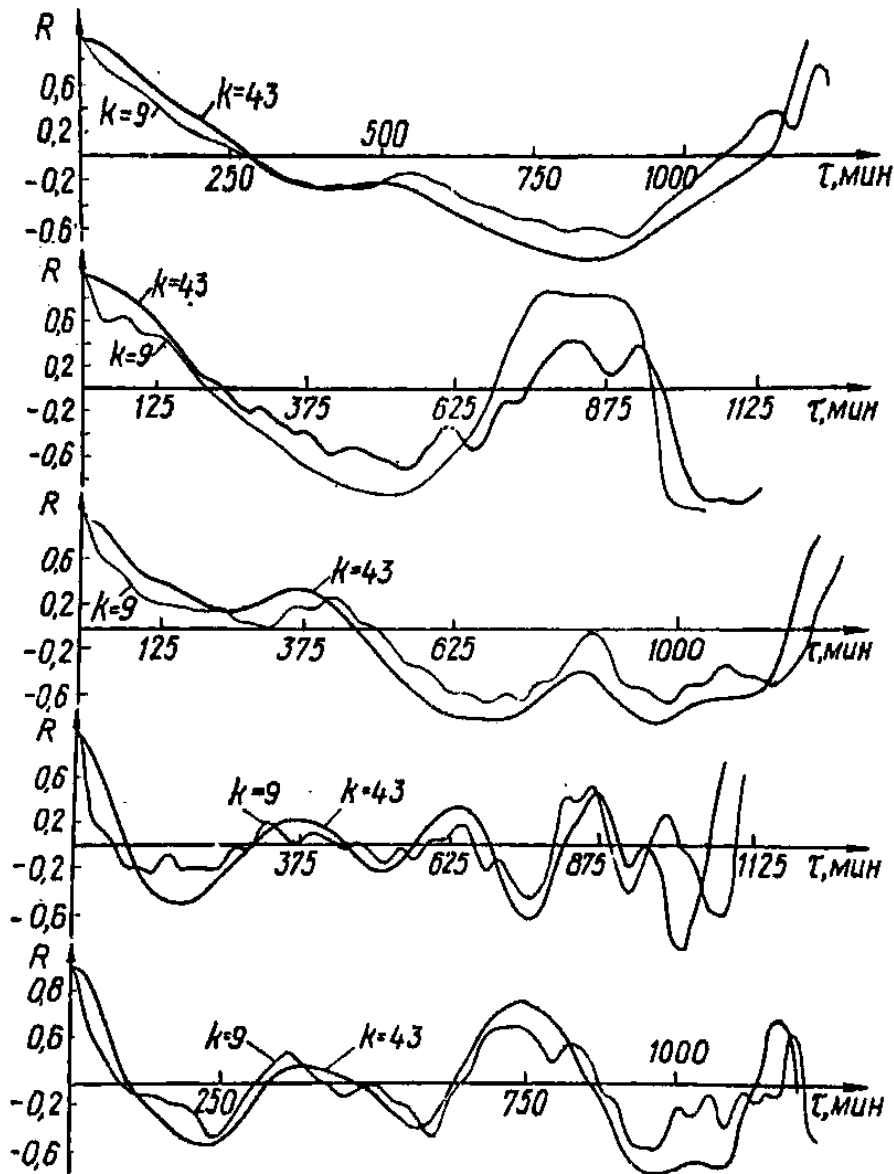


Рис.1. Нормовані автокореляційні функції згладжених рядів зміни забрудненості повітря CO_2 для $k = 9$ й $k = 43$.

Для елімінавання з отриманого ряду $X(t)$ необхідно або точно знати вид функції $C(t)$, що, як правило, неможливо, або прослідкувати деформацію нормованої автокореляційної функції згладженого ряду $R^k(\mu)$ при послідовному збільшенні порядку ковзаючого середнього застосування останнього методу виправдання лише відсутністю апріорних даних про періоди зміни забрудненості повітря CO_2 та вологості цього повітря у залах спортивної споруди.

Сутність методу дослідження деформації $R^k(\mu)$ полягає у наступному. Послідовно збільшують порядок згладжування k і для кожного нового його значення за (3) розраховують значення нового, більш згладженого, ряду, а за

формулою (7) - $R^k(\mu)$ для цих значень ряд. Спочатку при збільшенні k вид нормованої автокореляційної функції не змінюється, а відбувається згладження / згладжування залежності $R^k(\mu) = f(\tau)$. При досягненні k деякого критичного значення $k_{кр}$. починає змінюватись вид функції $R^k(\mu) = f(\tau)$ (змінюється кількість точок перетину цією функцією нульового рівня, вона перестає відтворювати основний характер вихідної функції (її поведінку з полином часу), змінюється її інтервал затухання і т.д.). Це свідчить про те, що у новому, більш згладженому, ряді еліміновано процес $X(t)$. Однак таке виділення залежить від інтуїції та підготовленості дослідника і завжди здійснюється з деякими наближенням. Тому для елімінування компоненти $X(t)$ користуються також відомою теоремою про те, що автокореляційна функція адитивних сигналів $B(t)$, $C(t)$, $X(t)$ та $N(t)$ дорівнює сумі автокореляційних функцій компонент:

$$R_{A^c}(\tau) = R_B(\tau) + R_C(\tau) + R_X(\tau) + R_N(\tau) \quad (10)$$

При відомих після виділення компонент $N(t)$ й $B(t)$ нормованих автокореляційних функціях $R_N(\tau) = R^{k_1}(\mu)$ та $R_B(\tau)$ й нормованої автокореляційної функції вихідного часового ряду $R_{A^c}(\tau) = R(\mu)$ нормована функція суми компонент $C(t) + X(t)$ визначається зі співвідношення:

$$R_{C+X}(\tau) = R(\tau) - R_B(\tau) - R_N(\tau) \quad (11)$$

Згідно до прийнятої структури (1) вихідного часового ряду автокореляційна функція $R_{C+X}(\tau)$ є функцією суми $C(t)$ й $X(t)$. Але $R_X(\tau)$ при часовому зсуві, більшому інтервалу його кореляції, практично дорівнює нулю. Звідси випливає, що функція $R_{C+X}(\tau)$ при $\tau > \tau_{кор}$, де $\tau_{кор}$ - інтервал кореляції $X(t)$, має у своєму складі лише функцію $R_C(\tau)$.

Таке виділення гармонічної функції можливе й виправдане тим, що вихідні часові ряди мають кілька періодів $C(t)$ на довжині реалізації (див. рис.1).

Як показує попередній аналіз, гармонічна функція $C(t)$ має у своєму складі зазвичай низькочастотну й високочастотну складові зі змінними у часі періодами й амплітудами $C_1(t)$ й $C_2(t)$. У розглянутому чисельному прикладі (з використанням ПЕОМ) для обробки добових діаграм обрані наступні дані: періоди низькочастотної складової змінюються від 4 год. до 8 год., періоди високочастотної складової – від 20 до 40 хв., співвідношення амплітуд низькочастотної та високочастотної складової змінюються від 6 до 9.

Комплексною частотною характеристикою вихідного часового ряду є його спектральна щільність потужності. Значення нормованої спектральної щільності

потужності $G(f)$ обчислюється за дискретним варіантом перетворення Фур'є нормованої функції $R(\mu)$:

$$G(f) = \Delta t \cdot \left| \left[R(0) + \sum_{\mu=1}^{n-2} R(\mu) \cdot \cos \left\{ \frac{\pi \cdot \mu \cdot f}{f_c} \right\} + (-1)^{n-1} \cdot R(n-1) \right] \right| \quad (12)$$

де: $0 \leq f \leq m(n-1)^{-1} \cdot (2\Delta t)^{-1}$; $G(f)$ обчислюється для частот, які відповідають μ -ій гармоніці основної частоти при $\mu = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$. У зв'язку зі значними похибками обчислення $G(f)$ для кожного значення частоти перед побудовою цієї залежності здійснюється згладжування поточних значень по формулі:

$$G(f_i) = 0,25 G(f_{i-1}) + 0,5 G(f_i) + 0,25 G(f_{i+1})$$

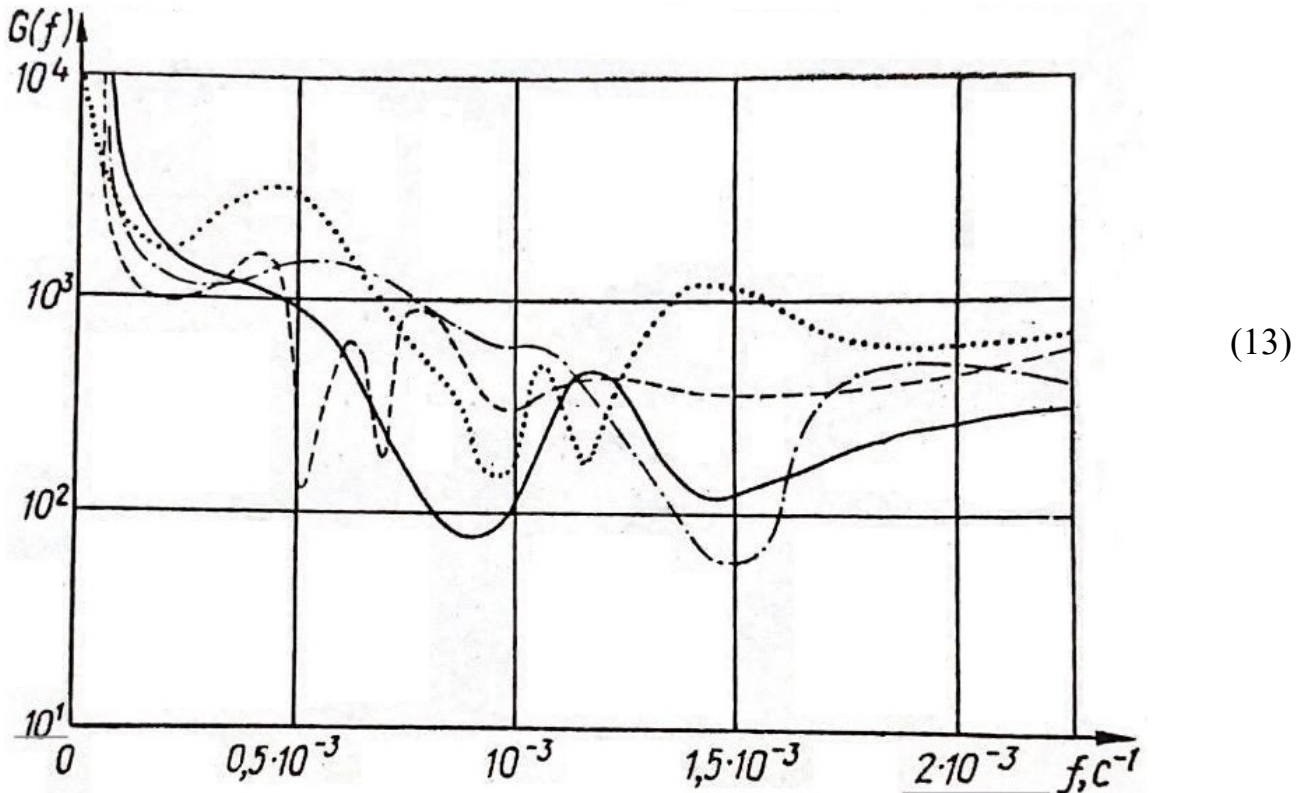


Рис. 2. Спектральні щільності потужності зміни забрудненості повітря CO_2 () та вологості (.) у приміщеннях спортивної споруди (тестовий чисельний приклад, розрахований за допомогою програми на ПЕОМ).

Аналіз наведених на рис. 2 спектральних щільностей потужності вихідних часових рядів забрудненості повітря CO_2 та вологості (у тестовому чисельному прикладі, розглядуваному за допомогою ПЕОМ) підтверджує отримані висновки про те, що основними у випадковому процесі згідно структури (1) є компоненти $B(t)$ й низькочастотна складова $C_1(t)$ періодичної функції $C(t)$, оскільки при $f < 4 \cdot 10^{-4} c^{-1}$ щільність більше, ніж при більш високих значеннях частоти, й різко збільшується при $f < 10^{-4} c^{-1}$.

При $f > 4 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ спектральна щільність потужності обумовлена спільним впливом високочастотної складової $C_2(t)$ та випадкової завади $N(t)$, при $f > 8 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ вона зменшується.

Нормовані автокореляційні функції та спектральні щільності потужності, математичні очікування, дисперсії та згладжування вихідних часових рядів слід розраховувати за складеною згідно наведеним формулам (1)-(13) програмам для ПЕОМ.

Результати розрахунків підтверджують правильність обраної структури (1) випадкового процесу й дозволяють зростати наступні важливі для практичного цілей висновки.

Висновки. Оптимальний потоковий вимірювач забруднення повітря вуглекислим газом (CO_2) чи вологомір повинен будуватись за дискретною схемою з цифровою обробкою інформації, яка надходить від датчика (система штучного інтелекту для управління процесами газообміну повітря у приміщенні спортивної споруди), за алгоритмом визначення ковзаючого середнього (3) із часом усереднення сигналу 10...20 хв. й інтервалом видачі результатів 2...5 хв. Саме це дозволить знижувати випадкові похибки вимірювання і забезпечить точне відтворення динаміки процесів зміни $A^c(t)$ чи $W^p(t)$ (які, до речі, можуть бути доволі швидкоплинними).

Дискретні схеми поточкових приладів для спортивних споруд, виробничих приміщень та ін., для підприємств, де відсутні АСУ і немає ЕОМ/ПЕОМ, доцільно розробляти на базі існуючих міні- чи мікро ЕОМ останніх модифікацій, а для тих установ (спортивні споруди, приміщення для виробничого персоналу і т.д.), які використовують ЕОМ/ПЕОМ, - забезпечувати цифровими інтеграторами, які реалізують алгоритм визначення ковзаючого середнього, й вводити сигнали з їх виходів у ЕОМ (ПЕОМ) для подальшої обробки, тобто, по суті, будувати мережу мехатронних систем управління (газовими потоками у приміщеннях конкретної споруди) з елементами штучного інтелекту.

Викладений підхід може бути у подальшому використаний також для дослідження й аналізу динаміки зміни різноманітних показників якості контрольованих швидкоплинних технологічних потоків або ж для аналізу й ідентифікації різноманітних неперервних технологічних процесів.

Бібліографічний список:

1. Човнюк Ю.В., Диктерук М.Г., Довгалоук В.Б., Скляренко О.М. Концептуальні основи створення мехатронних систем керування мікрокліматом музейних приміщень з використанням нечітких логічних контролерів (регуляторів). Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. №27, С. 6–17.

2. Човнюк Ю.В., Чередніченко П.П., Москвітіна А.С. Моделювання та алгоритм розрахунку параметрів системи регулювання мікроклімату приміщення з елементами штучного інтелекту. Містобудування та територіальне планування. Випуск 79. К.: КНУБА, 2022. С. 446-462.
3. Москвітіна, А.С., Шишина М.О., Корчмінський М. Техніко-економічне та екологічне обґрунтування використання систем зі змінною витратою повітря для адміністративних будівель. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник. Випуск 36. К.: КНУБА, 2021. С.62-79.
4. Москвітіна А.С., Шишина М.О. Дослідження поля температур у приміщенні при роботі систем кондиціонування при змінних теплових навантаженнях приміщення. Молодий вчений - Випуск 3(79). 2020. С. 186-192.
5. Dovhaliuk V., Mileikovskiy V. New approach for refined efficiency estimation of air exchange organization. International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. Vol. 7. №. 3. P. 591-596.
6. TRČKA, Marija; HENSEN, Jan LM. Overview of HVAC system simulation. Automation in construction, 2010, 19.2. P.93-99.
7. Бабак В.П., Хандецький В.С., Шрюфер Е. Обробка сигналів [Текст]: підручник. К.:Либідь, 1999. – 496 с.
8. Лигун, А.А., Шумейко А.А. Асимптотические методы восстановления кривых.: ИМ НАН Украины, 1997. – 358 с.
9. Приставка, П.О. Поліноміальні сплайни при обробці даних. Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. – 236 с.
10. Бабак В.П., Білецький А.Я., Приставка О.П., Приставка П.О. Статистична обробка даних. К.: МІВВЦ, 2001. – 388 с.
11. Stallings, W. (2002). High-Speed Networks and Internets: Performance and Quality of Service. Pearson Education, 744.
12. Pipiras, V., Taqqu, M. (2017). Long-Range Dependence and Self-Similarity. Cambridge University Press, 668.
13. Doob, J. L. (1990). Stochastic Processes. Wiley-Interscience, 664.
14. Волощенко А.Б., Джалладов І.А. Теорія ймовірностей та математична статистика:навч.-метод. Посібник. К.: КНЕУ, 2005. 256 с.
15. Валєєв К.Г., Джалладова І.А. Збірник задач з теорії ймовірностей та математичної статистики: навч.посіб. К.: КНЕУ, 2005. 351 с.
16. Сеньо П.С. Випадкові процеси: підручник. Мін-во освіти і науки України, ЛНУ. Львів: Компакт-ЛВ, 2006. 288 с.
17. Щапов П.Ф., Аврунин О.Г. Повышение достоверности контроля и диагностики объектов в условиях неопределённости: монография. Х.: ХНАДУ, 2011. 191 с.

18. Hinich M.J. A statistical theory of signal coherence. *IEEE J. Oceanic Engineering*. Apr. 2000. Vol. 25, № 2. P. 256—261.
19. Gardner W.A. *Introduction to Random Processes with Application to Signals and Systems*. New York: Macmillan, 1985. 434 p.
20. Letelier J., Weber P. Spike sorting based on discrete wavelet transform coefficients. *Neurosci. Methods*. 2000. Vol. 101. P. 93—106.

PhD, associate professor **Chovniuk Yuriy**,
Associate Professor **Cherednichenko Petro**,
PhD, Assistant **Moskvitina Anna**,
PhD, associate professor **Luydmula Zolotar**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

INNOVATIVE METHOD FOR STUDYING THE DYNAMICS OF POLLUTION AND HUMIDITY CHANGES IN SPORTS FACILITIES: FITNESS ROOMS AND SWIMMING POOLS

It is necessary to take into account the reaction time of the system to changes and provide for changes in parameters when using modern automation systems and indoor microclimate control with a dynamic change in the intake of harmful substances. The change in carbon dioxide (CO₂) pollution and air humidity in sports facilities, such as fitness rooms and swimming pools, is a non-stationary random process with a complex type of non-stationarity and can be described by statistical characteristics. Obtaining these statistical characteristics is complicated by the probabilistic nature of the whole process and the presence of random systematic errors in measuring pollution (CO₂) and air humidity of a particular sports facility, the specifics of the functioning of heat and mass transfer processes, moisture exchange in the premises of sports facilities (swimming pools, fitness halls, gyms, etc.). etc.) and has not been studied in modern scientific literature. Therefore, this study was carried out precisely in order to improve the situation and bring it out of the impasse (uncertainty) regarding sports facilities and premises for mass physical culture, recreation, and leisure. The paper proposes a comprehensive method for studying the dynamics of changes in pollution (CO₂) and air humidity in a sports facility (fitness rooms, swimming pools, etc.). It allows you to determine the statistical characteristics of the process and identify it with an accuracy that is satisfactory for practical purposes (the error is no more than 10%). In the process of research, it is necessary to use daily diagrams of the operation of CO₂ air pollution meters and moisture meters in fitness rooms and swimming pools for a long period of time (70 days). An optimal flow meter of air pollution with carbon dioxide (CO₂) or a moisture meter should be built

according to a discrete circuit with digital processing of information that comes from a sensor (an artificial intelligence system for controlling air gas exchange processes in a sports facility), according to an algorithm for determining a moving average over a period of 10 ... 20 minutes averaging of the signal and the interval for issuing results 2 ... 5 min. This is what will make it possible to reduce random measurement errors and ensure accurate reproduction of the dynamics of the processes of changing $A_c(t)$ or $W_p(t)$ (which, by the way, can be quite fleeting).

Key words: pollution dynamics; indicators of fast processes of heat, mass, moisture exchange; indoor pollution with CO₂ emissions; moisture ingress; sports facilities; intelligent microclimate control systems; energy efficiency.

REFERENCE:

1. Chovnyuk YU.V., Dykteruk M.H., Dovhalyuk V.B., Sklyarenko O.M. Kontseptual'ni osnovy stvorenniya mekhatronnykh system keruvannya mikroklimatom muzeynykh prymishchen' z vykorystanniam nechitkykh lohichnykh kontroleriv (rehulyatoriv). Ventylyatsiya, osvittleniya ta teplohazopostachannya. №27, S. 6–17. {in Ukrainian}
2. Chovnyuk YU.V., Cherednichenko P.P., Moskvitina A.S. Modelyuvannya ta alhorytm rozrakhunku parametriv systemy rehulyuvannya mikroklimatu prymishchennya z elementamy shtuchoho intelektu. Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya. Vypusk 79. K.: KNUBA, 2022. S. 446-462. {in Ukrainian}
3. Moskvitina, A.S., Shyshyna M.O., Korchmins'kyi M. Tekhniko-ekonomichne ta ekolohichne obgruntuvannya vykorystannya system zi zminnoyu vytratoyu povitrya dlya administratyvnykh budivel'. Ventylyatsiya, osvittleniya ta teplohazopostachannya: naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. Vypusk 36.K.: KNUBA, 2021. S.62-79. {in Ukrainian}
4. Moskvitina A.S., Shyshyna M.O. Doslidzhennya polya temperatur u prymishchenni pry roboti system kondytsionuvannya pry zminnykh teplovykh navantazhennyakh prymishchennya. Molodyy vchenyy - Vypusk 3(79). 2020. S. 186-192. {in Ukrainian}
5. Dovhaliuk V., Mileikovskiy V. New approach for refined efficiency estimation of air exchange organization. International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. Vol. 7. №. 3. P. 591-596.
6. TRČKA, Marija; HENSEN, Jan LM. Overview of HVAC system simulation. Automation in construction, 2010, 19.2. P.93-99.
7. Babak V.P., Khandets'kyi V.S., Shryufer E. Obrobka syhnaliv [Tekst]: pidruchnyk. K.:Lybid', 1999. – 496 s. {in Ukrainian}
8. Lyhun, A.A., Shumeyko A.A. Asymptoticheskiye metody vosstanovlenyya kryvykh. .: YM NAN Ukrayny, 1997. – 358 s. {in Russian}

9. Prystavka, P.O. Polinomial'ni splayny pry obrobtisi danykh. D.: Vyd-vo Dnipropetr. un-tu, 2004. – 236 s. {in Ukrainian}
10. Babak V.P., Bilets'kyu A.YA., Prystavka O.P., Prystavka P.O. Statystychna obrobka danykh. K.: MIVVTS, 2001. – 388 s. {in Ukrainian}
11. Stallings, W. (2002). High-Speed Networks and Internets: Performance and Quality of Service. Pearson Education, 744.
12. Pipiras, V., Taqqu, M. (2017). Long-Range Dependence and Self-Similarity. Cambridge University Press, 668.
13. Doob, J. L. (1990). Stochastic Processes. Wiley-Interscience, 664.
14. Voloshchenko A. B., Dzhalladov I. A. Teoriya ymovirnostey ta matematychna statystyka:navch.-metod. Posibnyk. K.: KNEU, 2005. 256 s. {in Ukrainian}
15. Valyeyev K. H., Dzhalladova I. A. Zbirnyk zadach z teorii ymovirnostey ta matematychnoyi statystyky: navch.posib. K.: KNEU, 2005. 351 s. {in Ukrainian}
16. Sen'о P.S. Vypadkovi protsesy: pidruchnyk. Min-vo osvity i nauky Ukrayiny, LNU. L'viv: Kompakt-LV, 2006. 288 s. {in Ukrainian}
17. Shchapov P.F., Avrunyn O.H. Povyshenye dostovernosti kontrolya y dyahnostyky ob"ektov v uslovyakh neopredelennosti: monohrafiya.KH.: KHNADU, 2011. 191 s. {in Russian}
18. Hinich M.J. A statisticals theory of signal coherence. IEEE J. Oceanic Engineering. Apr. 2000. Vol. 25, № 2. P. 256—261.
19. Gardner W.A. Introduction to Random Processes with Application to Signals and Systems. New York: Macmillan, 1985. 434 p.
20. Letelier J., Weber P. Spike sorting based on discrete wavelet transform coefficients. Neurosci. Methods. 2000. Vol. 101. P. 93—106.