

УДК 538.69.331.45

С. В. Сукач, канд. техн. наук
(Кременчуцький Національний університет ім. М. Остроградського),
О. В. Сидоров, канд. техн. наук (Національний авіаційний університет)

МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КОНТРОЛЮ АЕРОІОННОГО СКЛАДУ ПОВІТРЯ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА

На основі вибору оптимальної та достатньої кількості вимірювань з урахуванням формування та динаміки концентрації аероіонів розроблено методику контролю якості повітря з похибкою не більше ніж 20 %. Перевірка коректності методики на тестовому джерелі іонів показала її достовірність і доцільність використання.

Ключові слова: аероіон, виробниче середовище, лічильник аероіонів, похибка вимірювань.

На основе выбора оптимального и достаточного количества измерений с учетом формирования и динамики концентрации аэроионов разработана методика контроля качества воздуха с погрешностью

полученных результатов не более чем 20 %. Проверка корректности методики на тестовом источнике ионов показала ее достоверность и целесообразность использования.

Ключевые слова: аэроион, производственная среда, счетчик аэроионов, погрешность измерения.

Based on the selection of the optimal s a sufficient number of measurements taking into account the formation and dynamics concentration of ions the method of air quality control with an accuracy of the obtained results is not more than 20 %. Validation of the methodology on a test ion source have demonstrated its reliability and appropriateness of use.

Keywords: airion, production environment, airion counter, measurement error.

Актуальність роботи. Інструментальні вимірювання кількісних значень будь-якого параметра виробничого середовища або кількох параметрів мають певні особливості. У першу чергу, це обумовлено значними паспортними похибками деяких приладів. Наприклад, паспортні похибки всіх лічильників аероіонів складають до 40 %. При цьому, з урахуванням низької концентрації іонів у виробничих приміщеннях, які фактично наближаються до межі чутливості приладів із похибкою вимірювань близько 40 %. Це обумовлює необхідність проведення численних серій експериментів із подальшою спеціальною обробкою результатів.

Особливістю контролю як зазначеного параметра, так й інших мікрокліматичних показників є те, що їх кількісні значення пов'язані між собою, тобто якщо під час проведення вимірювань якийсь параметр змінює своє значення, то це впливає на достовірність результатів кожного із наступних параметрів. Особливо критичним є зв'язок електричних показників і відносної вологості повітря – навіть за незначних змін відносної вологості повітря змінюється електризація діелектричних поверхонь, а це змінює розподіл за полярностями аероіонів та їх фактичні концентрації. Частково це стосується і магнітних, і електромагнітних полів, оскільки їх напруженості у промислових будівлях залежать від фактичного навантаження на силову електромережу та режимів роботи технологічного обладнання. При цьому необхідно знати напруженість і переважну спрямованість стаціонарного магнітного (геомагнітного) поля та міру його спотворення за рахунок феромагнітного оточення. Таким чином, проведення однієї серії вимірювань потребує досить багато часу і постійного контролю всіх необхідних параметрів за максимально малі проміжки часу. Це накладає жорстке обмеження на планування експерименту, що особливо слід урахувати під час проведення експериментальних досліджень у реальних виробничих умовах.

Стан питання. Як уже зазначалось, найбільш трудомістким є вимірювання концентрацій аероіонів. Ці дослідження виконувалися за допомогою лічильника аероіонів «Сапфир-3к» [1]. Використання приладу відповідно до інструкції з експлуатації та ознайомлення з функціональними можливостями іншого лічильника аероіонів, дозволеного Держспоживстандартом України до використання, МАС–01 дозволило дійти висновку про незадовільну коректність отриманих результатів під час використання стандартних методик оброблення результатів вимірювання. Про це свідчить також аналіз досліджень із цієї проблематики [2–4].

Мета статті – розроблення методичних підходів до оброблення результатів вимірювань концентрацій аероіонів, які максимально підвищують достовірність контролю.

Матеріали досліджень. З метою зниження похибки вимірювань, принаймні до 20–22 %, було розроблено методику оброблення результатів натурних експериментів.

Визначення достатньої кількості вимірювань для отримання найбільш достовірних даних реалізувалося таким чином.

Похибка вимірювань Δ дорівнює системній інструментальній похибці δ , якщо випадкова похибка $\Delta_p < \delta/3$, $\Delta = \Delta_p$ при $\Delta_p > 3\delta$, та у випадку $\delta/3 \leq \Delta_p \leq 3\delta$ похибка вимірювань визначається як $\Delta = \pm 0,76 \cdot (\delta + \Delta_p)$. У роботі використовувались п'ять масивів даних вимірювань концентрацій легких аероіонів. При цьому кожний масив становив значну вибірку даних безперервних вимірювань протягом дії (або за відсутності впливу) чинника. Для всіх масивів даних результатів вимірювань була проведена перевірка на нормальність розподілу за допомогою вбудованих статистичних функцій та процедур у програмі Excel. Аналіз показав, що всі масиви даних підпорядковуються закону нормального розподілу згідно з критерієм Пірсона (при довірчій імовірності 0,95), а також, що загальна випадкова похибка в усіх масивах не перевищує 1/10 системної похибки. Серед трьох стандартних, відповідно до інструкції з експлуатації, визначення похибки вимірювань за першим варіантом є найбільш оптимальним, оскільки дає, в нашому випадку, найнижчу похибку вимірювань. Систематична похибка буде дорівнювати приблизно $\delta \approx 0,4$ (перший варіант), другий варіант є взагалі нереальним, оскільки Δ_p не може бути більшим за $3\delta = 1,2$, і похибка вимірювань не може становити більше 120 %. При третьому варіанті нехай $\Delta_p = \delta/3 = 0,4/3 = 0,13$, тоді $\Delta = \pm 0,76 \cdot (0,4 + 0,13) = 0,41$, тобто у третьому випадку загальна похибка буде завжди трохи більша за системну похибку. Отже, завдання зводилось до знаходження такого значення кількості вимірювань, за якого б у всіх випадках (або у більшості випадків) витримувалась нерівність $\Delta_p < \delta/3$.

Для подальшого дослідження масиви було поділено на менші вибірки. При виборі розміру вибірки виходили з того, що вибірка має підкорюватись

закону нормального розподілу, мати невеликий розмір і зручний часовий інтервал. З огляду на це, у роботі розглядалися вибірки із 48-ми значеннями концентрацій легких аероіонів кожної полярності, які відповідали результатам чотирьох хвилин безперервних вимірювань.

Далі у кожній отриманій вибірці за допомогою розробленого шаблону розрахунків у програмі Excel розраховувалось співвідношення $\Delta\rho/\delta$ для кількості вимірів 2; 3; 4; ..; 48 окремо для аероіонів кожної полярності. При цьому фіксувалось, для якої найменшої кількості вимірів в усіх випадках буде справджуватись нерівність $\Delta\rho/\delta < 1/3$, тобто, для якої мінімальної кількості вимірів із 48-ми вимірів похибка вимірювання буде дорівнювати похибці приладу. У результаті у вибірках були отримані значення в діапазоні від 11 до 30 вимірів, при середньому значенні за всіма вибірками у 18 вимірів.

Завдання визначення мінімальної кількості необхідних вимірів є актуальним лише за відсутності динаміки концентрацій. У разі, якщо наявна динаміка, то безперечно слід здійснювати безперервні вимірювання і переходити на перервні вимірювання тільки за відносної стабілізації концентрацій.

Наступним кроком було обґрунтування припущення про мінімально достатню кількість вимірів із 48, що забезпечать достатній рівень достовірності результатів. При цьому було враховано, що середнє значення за всіма вибірками становило 18 вимірів, і в 17 вибірках мінімально достатня кількість вимірів була вищою за це середнє значення. Відкидаючи вибірки з даними, де була зафіксована динаміка концентрацій, та беручи до уваги необхідність відповідності обраної кількості вимірів зручному часовому інтервалу, було обрано значення 24-х вимірів, як таке, що задовольнило умову $\Delta\rho/\delta < 1/3$ для всіх вибірок, окрім вибірок із динамікою, та відповідало зручному часовому інтервалу в дві хвилини.

Щоб перевірити, чи буде відповідати середнє значення концентрацій, отримане за 24-ма вимірами, середньому значенню по 48-ми вимірам, було застосовано гіпотезу про рівність середніх. Для перевірки використовували статистичну процедуру «Двовибірковий *t*-тест із різними дисперсіями» програми Excel. Нульова гіпотеза про рівність середніх значень обох вибірок була підтверджена в усіх вибірках, окрім вибірок даних, де було відмічено динаміку концентрацій аероіонів. Для перевірки висунутого припущення про достатність 24-х вимірів із 48-ми було також проаналізовано дані повторного експерименту (проведений в тих же умовах, з тією ж кількістю вимірювань, з тим же чинником). Результат повторної перевірки був аналогічним – гіпотеза про рівність середніх значень обох вибірок була підтверджена в усіх вибірках, окрім вибірок із динамічними даними.

Результати проведених розрахунків дають підстави про включення до методики вимірювань таких положень:

1) при дослідженні концентрацій легких аероіонів, що динамічно змінюються під впливом певного чинника або групи чинників виробничого середовища, необхідно проводити безперервні вимірювання задля отримання достовірних результатів;

2) при дослідженні концентрацій легких аероіонів, що перебувають у стані динамічної рівноваги, задля зменшення трудомісткості експерименту замість безперервних вимірювань можна проводити вимірювання у режимі «дві хвилини вимірювань – дві хвилини перерви», які будуть характеризувати аероіонний склад повітря з тією ж точністю, що й безперервні вимірювання.

Одним із завдань при розробці методики вимірювання було встановлення інтервалу часу, через який, після встановлення лічильника аероіонів на місце вимірювання, прилад починає давати стабільні результати вимірювань, на яких не відображаються збурення, що були спричинені людиною при встановленні приладу.

Результати багаторазових вимірювань показали, що при витраті на процедури калібрування та перевірки на нуль п'яти хвилин, після 2 хв. 45 сек. від початку вимірювань відхилення отриманих результатів від середнього значення (за результатами п'ятихвилинних безперервних вимірювань) не перевищують 20 %.

Як показали подальші дослідження, в деяких випадках сам спостерігач, який проводить вимірювання, здатен впливати на вимірювану концентрацію легких аероіонів. Відбувається це у випадках, коли спостерігач одягнений в одяг, що електростатично заряджений. У такому разі одяг спричиняє деіонізацію повітря, ступінь якої пропорційний величині напруженості електростатичного поля. При виникненні підозри на ці обставини і за відсутності можливості визначити наявність статички на одязі слід провести перевірку з метою ідентифікації впливу одягу спостерігача на легкі аероіони та виключення цього впливу. Для цього слід провести коротку серію вимірювань концентрації легких аероіонів при знаходженні спостерігача на відстанях 1, 2 і 3 м з інтервалом у дві хвилини на кожну позицію спостерігача. Якщо результати вимірювань будуть вказувати на чітку залежність концентрацій легких аероіонів від відстані спостерігача до лічильника аероіонів – збільшення концентрації зі збільшенням відстані, – то за таких обставин проводити вимірювання ні в якому разі не можна. Спостерігачу слід позбутися електростатичного заряду на одязі і лише після цього приступати до проведення вимірювань.

Узагальнюючі викладене зазначимо, що оброблення результатів вимірювань зводиться до такого:

1. Результатом вимірювання є концентрація легких аероіонів ($n_{\text{изм}}$), що визначена як середнє арифметичне 24-х показів приладу, зареєстрованих безперервно протягом двох хвилин вимірювань, та виражена в см^{-3} .

2. Перед визначенням середнього арифметичного із вибірки показань приладу виключаються похибки за критерієм «трьох сігм».

3. Оцінка середнього квадратичного відхилення для отриманої вибірки результатів розраховується за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (n_i - n_{\text{сред}})^2}{m - 1}},$$

де n_i – результат одиничного вимірювання концентрації легких аероіонів, см^{-3} ;
 $n_{\text{сред}}$ – середнє арифметичне значення концентрації легких аероіонів, см^{-3} ;
 i – номер вимірювання (показання лічильника аероіонів);
 m – кількість показань лічильника аероіонів (з урахуванням виключення промахів).

4. Відносна похибка вимірювань θ визначається виразом:

$$\theta = 0,4 + 0,01 \cdot (n_k / n_i - 1).$$

5. Результат вимірювань має бути приведено у вигляді:

$$n = n_{\text{изм}} \pm \Delta,$$

де $n_{\text{изм}}$ – середнє арифметичне показань приладу за дві хвилини проведених вимірювань, см^{-3} ;

Δ – межі похибки результату вимірювань, см^{-3} .

6. Розрахунок меж похибки надається в абсолютних одиницях, розрахованих за математичним виразом

$$\Delta = \theta \cdot n_{\text{изм}}.$$

Досвід використання розробленої методики довів, що вона придатна для оброблення результатів вимірювань концентрацій аероіонів будь-яким лічильником аероіонів аспіраційного типу.

Висновки

1. Враховуючи приладні похибки лічильників аероіонів за малих їх концентрацій необхідно використовувати спеціальну методику оброблення експериментальних даних за достатньої кількості вимірювань в одній серії.

2. Кількість вимірювань в одній серії обумовлено наявністю або відсутністю динаміки концентрацій аероіонів. В умовах їх складних змін необхідний безперервний контроль цього параметра.

3. Розроблена методика дозволяє на серійному приладі отримати похибку вимірювань 20 %, що відповідає показнику найкращого закордонного лабораторного обладнання.

4. Наведений методологічний підхід може бути використаний для оброблення результатів вимірювань інших фізичних чинників, приладу контролю, які мають великі похибки вимірювань.

5. Перспективним є узгодження процесу контролю аероіонного складу повітря з динамікою інших фізичних чинників.

Список літератури

1. Счётчик аэроионов «Сапфир-3к». Государственный реестр № 18295-99. Руководство по эксплуатации. Бд2.899.000 РЭ. – 29 с.
2. Котляров А. А. Средства контроля уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений и их метрологическое обеспечение / А. А. Котляров, А. А. Мавлютов, С. В. Колерский // АНРИ. – 2000. – № 4. – С. 39–42.
3. Колерский С. В. Основные требования к измерениям концентрации аэроионов на рабочих местах / С. В. Колерский, А. А. Котляров // АНРИ. – 2002. – № 2. – С. 17–20.
4. Bartusek K. Experiments of accuracy air ion filed measurement / K. Bartusek, P. Fiala, T.Tirku, E. Kadlecova // Progres In Electromagnetics Research Symposium, 27–30 August 2007, unpublished. – Praga, 2007. – P. 273–278.

*Дата подання статті до збірника – 11.08.2016
Рецензент – д-р техн. наук Глива В. А.*