

дуції ДУ «ІГМЕ ім. О.М. Марзєєва АМНУ» (далі Лабораторія), що може представляти як об'єктивний інтерес, зокрема для гігієністів, так і інтерес для виробників лікарської та іншої продукції. Аналіз продукції представленої на ринку, здійснюваній Уповноваженою (атестованою на це Лабораторією) має деякі фундаментальні аналітичні особливості, які розглядаються в статті. Крім того, розглядаються деякі типові джерела невідтворюваності і помилок методик контролю якості продукції і даються рекомендації по їх запобіганню.

### **SOME ASPECTS OF QUALITY CONTROL OF PRODUCTS ON THE BASIS OF WORKING EXPERIENCE OF QUALITY CONTROL LABORATORY**

*N.V. Ostanina, M.H. Levin, E.M. Kuznetsova, V.V. Briazkalo, I.V. Nemchinova*

*This publication is dedicated to some aspects of quality control of mainly pharmaceutical products and generated in State Laboratory approaches for solving them. The experience and approaches can be of general analytical interest to hygienist and colleagues from other State or Private Analytical Laboratories as well as for manufacturers of medicinal and other kinds of products for the Ukrainian market. The analysis of products introduced on the market executed by our accredited Laboratory has some fundamental features which are considered in this publication besides this there are examined some typical sources of analytical irreproducibility and errors in methods of quality control of production and suggested some recommendations for their prevention.*

### **ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОШУКУ ГІГІЄНИЧНОГО КРИТЕРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОКАЛЬНОГО РЕЦИРКУЛЯЦІЙНОГО ПОВІТРООЧИСНИКА**

*Русакова Л.Т., Акіменко В.Я., Шокало Є.О., Харченко С.О.*

*ДУ «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України», м. Київ*

**Актуальність проблеми.** На теперішній час питанням нормування та забезпечення параметрів мікроклімату, повітрообміну в житлових приміщеннях, вентиляції та збереження енергії приділяється значна увага [1].

Багато відомих у світі фірм створили і продовжують удосконалити прилади для очищення повітря приміщень від аерозольного забруднення [2]. На сьогодні прилади, що використовуються найчастіше, мають так званий рециркуляційний режим.

Основними характеристиками, за якими проводиться оцінка повітроочисних приладів, є: обсяг повітря, що прокачується, коефіцієнт фільтрації (чим вищим є його значення, тим якісніше відбувається очищення повітря) і продуктивність [3], проте ці характеристики не дозволяють проводити ефективну оцінку використовуваних рециркуляційних повітроочисників через деякі відмінності в принципі роботи.

Для оцінки ефективності повітроочисних приладів з рециркуляційним режимом роботи найбільш прийнятними є методи кількісної та експертної оцінки роботи приладу [4]. У випадку використання методу експертної оцінки сама лише суб'єктивна думка експерту без проведених підрахунків не може в достатній мірі допомогти в оцінці роботи приладу. А методи кількісної оцінки ефективності використання повітроочисника вимагають тривалого періоду контролю роботи приладу. Зрозуміло, що необхідна розробка адекватного методу, спроможного значно прискорити процес оцінювання ефективності повітроочисника.

Саме тому **мета даної роботи** полягала в розробці з використанням інформаційної технології (ІТ) математичного методу визначення ефективності локальних рециркуляційних повітроочисників (ЛРП) в реальних умовах їх експлуатації.

ІТ, що запропонована в даній роботі, складається з трьох основних блоків:

- блок 1 (експеримент) – передбачає натурні дослідження динаміки осідання пилу при використанні та без використання рециркулятора;
- блок 2 (комп'ютерний аналіз) – спрямований на формування бази даних, розробку математичного методу оцінки ефективності ЛРП та розрахунок кількісної оцінки ефективності;
- блок 3 (верифікація) – перевірка адекватності отриманих моделей.

Експериментальна частина досліджень та верифікація результатів застосування запропонованого математичного методу проводилась в лабораторії гігієни шуму та житлових і громадських споруд ДУ «Інститут гігієни та медичної екології АМН

України» (д.м.н. Акіменко В.Я., н.с. Харченко С.О.).

Експеримент проводився в три етапи:

- 1) визначення фонові концентрації аерозольного забруднення приміщення;
- 2) визначення динаміки концентрації аерозолу в приміщенні без застосування очищувача повітря (контроль);
- 3) визначення динаміки концентрації аерозолу в приміщенні з використанням локального рециркуляційного очищувача повітря «ТІОН А310 МЕД» – дослід. Кожен етап дослідження був проведений в трьох повтореннях.

**Схема дослідження.** На рисунку 1 наведено схему інформаційної технології оцінки ефективності ЛРП, що нами запропонована.



Рисунок 1. Схема інформаційної технології оцінки ефективності ЛРП.

### Опис роботи.

**БЛОК 1.** Експеримент. В рамках експерименту проведено два типи дослідження: перший – спрямовувався на визначення динаміки зміни концентрації штучно створеного аерозольного забруднення в приміщенні з нульовим повітрообміном (тобто без ЛРП), другий – при використанні ЛРП. Додатково вимірювались фонові значення концентрації пилу в приміщенні.

**БЛОК 2.** Комп'ютерний аналіз складався з наступних етапів.

*2.1. Формування бази даних експерименту* для подальших розрахунків. Експериментальні дані були зведені в таблиці Excel. В стовпцях розміщені фонові показники та дані двох дослідів при використанні ЛРП та без нього. Кожна з стрічок таблиці – окреме спостереження.

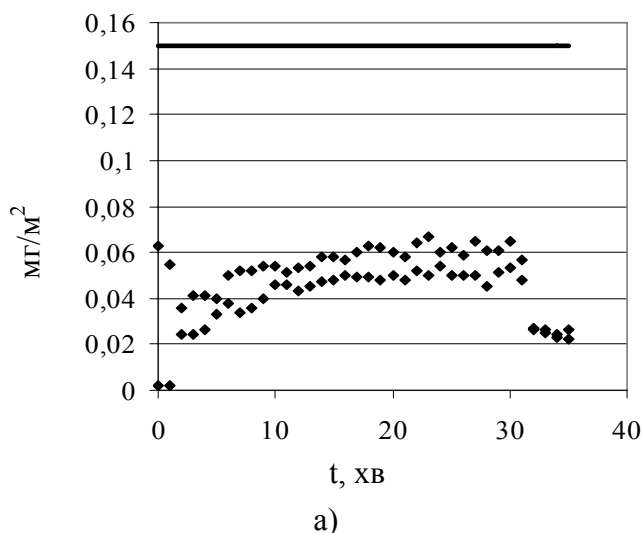
*2.2. Візуалізація та графічний аналіз* містить побудову графіків із зазначенням на них вимірюваних фонових значень концентрації пилу і значення гранично допустимої концентрації середньодобової пилу (ГДК)

згідно з ДСП 201-97 (рис. 2 а), а також зміни концентрації пилу за часом при контролі та при роботі ЛРП (відповідно до рис. 2 б). Саме значення ГДК пилу нами використовувалось далі в дослідженні як нормативне обмеження.

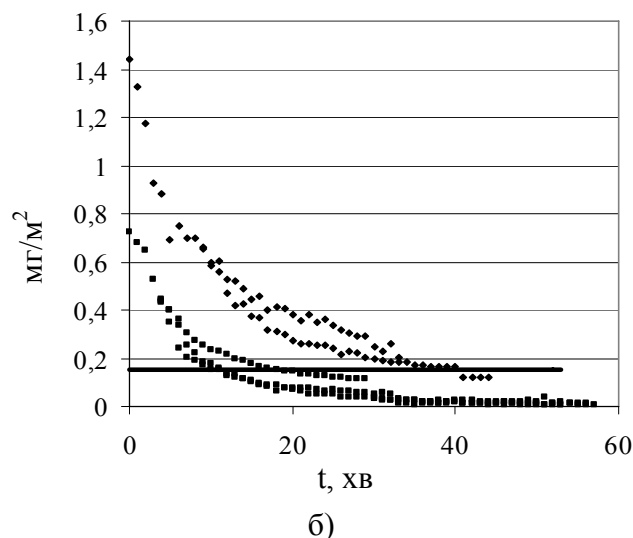
Візуалізація результатів дослідження проводилась за допомогою програмного па-

кету SPSS [5], як одного з найбільш популярних статистичних пакетів для обробки даних [6].

На рисунку 2 показано графіки, побудовані за результатами експерименту, що є вихідними даними нашого дослідження.



◆ фонові значення зміни концентрації пилу  
– значення ГДК пилу.



◆ зміна концентрації пилу без використання рециркулятора;  
■ зміна концентрації пилу при використанні рециркулятора;  
– значення ГДК пилу.

Рисунок 2. Вихідні дані, отримані при експерименті: а) порівняння фонових значень зміни концентрації пилу зі значенням ГДК пилу; б) зміна концентрації пилу без та з використанням рециркулятора із зазначенням ГДК пилу.

Як вбачається з графіку, виміряні фонові значення знаходяться нижче значення ГДК пилу, отже їх можна не враховувати при будівництві моделей та подальшому дослідженні.

2.3. Вибір математичної моделі. Зниження концентрації протікає за експоненціальним законом, тому пропонується модель вигляду:

$$y = b \cdot e^{-mt}, \quad (1)$$

де  $y$  – концентрація пилу, мг/м<sup>2</sup>;  $t$  – час, хв.;  $b$  і  $m$  – невідомі параметри.

2.4. Оцінка параметрів моделі проводилася в два етапи: визначення початкових значень параметрів та їх уточнення.

2.4.1. Визначення початкових значень параметрів. Для проведення розрахунків не-

обхідно знайти початкові значення ( $b_0$ ,  $m_0$ ) параметрів  $b$  і  $m$ .

За  $b_0$  приймемо виміряне значення пилу ( $y_0$ ) на початку експерименту (при  $t=0$ ).

Значення  $m_0$  знаходимо після логарифмування формули (1):

$$m_0 = -\frac{\ln(y^*/b_0)}{t^*}, \quad (2)$$

де  $y^*$  і  $t^*$  – деякі характерні точки, які визначаються за графіком.

Наприклад, якщо припустимо:

$$y^* = \frac{b_0}{e} \tag{3}$$

тоді  $m_0$  дорівнює:

$$m_0 = \frac{1}{t^*} \tag{4}$$

2.4.2. Уточнення параметрів. Ітераційна схема проводилась до досягнення точності  $\varepsilon=0,05$ . При цьому стандартні похибки на кінцевому кроці ітерації становили:  $\delta_b=0,033$ , для  $\delta_m=0,002$  (у контрольному дослідженні) та  $\delta_b=0,018$ ,  $\delta_m=0,004$  (при використанні ЛРП).

В таблиці наведено ітераційну процедуру уточнення параметрів моделей. Жирним шрифтом виділено остаточні параметри за четвертою ітерацією, що використовувались для побудови моделей.

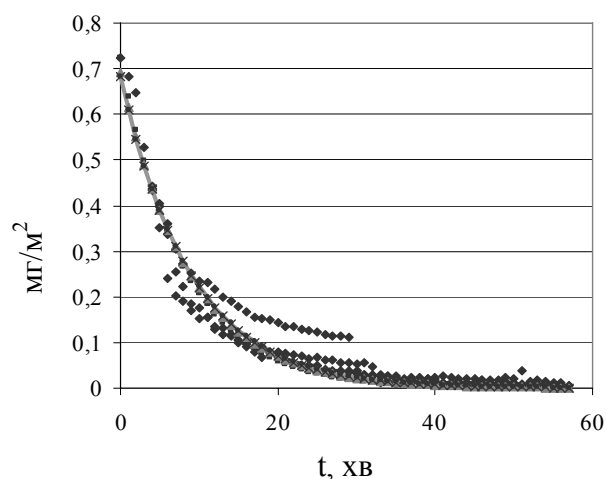
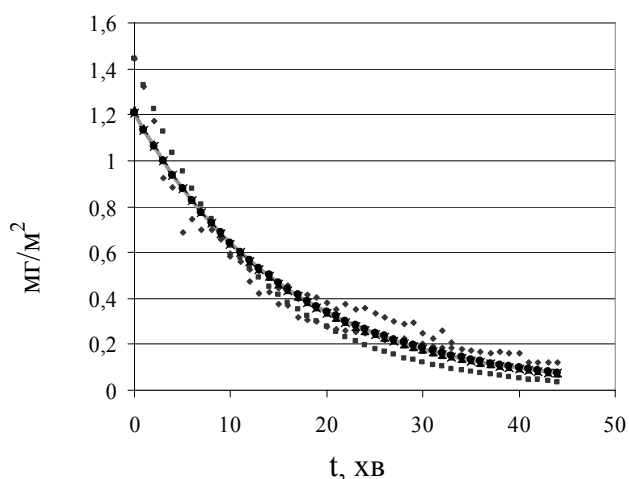
Таблиця. Ітераційна процедура уточнення параметрів моделей.

Контрольного дослідження			
Номер ітерації	Залишкова сума квадратів	Параметр	
		$b$	$m$
0	0,640	1,443	-0,083
1	0,359	1,223	-0,065
2	0,354	1,210	-0,064
3	0,354	1,207	-0,063
4	<b>0,354</b>	<b>1,206</b>	<b>-0,063</b>

При використанні рециркулятора			
Номер ітерації	Залишкова сума квадратів	Параметр	
		$b$	$m$
0	0,206	0,725	-0,125
1	0,195	0,692	-0,115
2	0,194	0,684	-0,113
3	0,194	0,682	-0,112
4	<b>0,194</b>	<b>0,681</b>	<b>-0,112</b>

На рисунку 3 наведено графіки ітераційної процедури зниження концентрації пилу при контрольному дослідженні і викорис-

танні ЛРП з виділенням суцільною лінією моделі, побудованої з урахуванням остаточних значень параметрів.



а)  $\blacklozenge$  – експериментальні значення;  $\blacksquare$  – ітерація № 0;  $\blacktriangle$  – ітерація № 1;  $\times$  – ітерація № 2;  $\bullet$  – ітерація № 3;  $—$  – ітерація № 4;

Рисунок 3. Візуалізація процесу ітераційного визначення параметрів експоненційної моделі при: а) контрольному дослідженні; б) використанні рециркулятора.

2.6. Оцінка ефективності ЛРП. В роботі запропоновано визначати інтенсивність процесу очищення повітря від пилу як від-

ношення площ, обмежених побудованими моделями і значенням ГДК, тобто за формулами:

$$i_{\text{бр}} = S_1 - S_{\text{ГДК}}, \quad (5)$$

$$i_p = S_2 - S_{\text{ГДК}}, \quad (6)$$

де  $i_{\text{бр}}$  і  $i_p$  – це визначені нами інтенсивність зниження концентрації в контролі та досліді (використання ЛРП) відповідно;  $S_1$  і  $S_2$  – площі обмежені графіками моделей зниження концентрації пилу без використання ЛРП та з ним відповідно (параметри моделей приведені в таблиці 1);  $S_{\text{ГДК}}$  – площа під графіком значень ГДК пилу.

Обрахування площ  $S_1$  і  $S_2$  здійснюється за загальною формулою:

$$S = \int_{t_0}^{t_1} b \cdot e^{-mt} dt = b \cdot \int_{t_0}^{t_1} e^{-mt} dt = b \cdot \frac{e^{-mt}}{-m} \Big|_{t_0}^{t_1} = b \cdot \frac{e^{-mt_1} - e^{-mt_0}}{-m}, \quad (7)$$

де  $t_1$  – це точка перетину моделей з графіком значень ГДК пилу;  $t_0$  – початкове значення часу, тобто  $t_0=0$ ;  $b$  і  $m$  – остаточні значення параметрів моделей, що наведені в таблиці 1.

Точка перетину  $t_1$  знаходиться за формулою:

$$t_1 = \frac{\ln(y_1/b)}{-m}, \quad (8)$$

де  $y_1$  – концентрація пилу, що відповідає значенню ГДК пилу, мг/м<sup>3</sup>;  $b$  і  $m$  – розраховані параметри моделі.

Площа  $S_{\text{ГДК}}$  обраховувалася як:

$$S_{\text{ГДК}} = \int_{t_0}^{t_1} 0,15 dt = 0,15 t \Big|_{t_0}^{t_1} = 0,15(t_1 - t_0) \quad (9)$$

Оцінка ефективності локального рециркулярного повітроочисника розраховувалася як відношення інтенсивності зниження

концентрації пилу в контролі до інтенсивності в досліді:

$$I = \frac{i_{\text{бр}}}{i_p}, \quad (10)$$

де  $I$  – оцінка ефективності ЛРП, ум.од.;  $i_{\text{бр}}$  і  $i_p$  – це визначені нами інтенсивність зниження концентрації в контролі та досліді відповідно.

Результати здійсненого нами розрахунку при використанні експоненціальної моделі показують, що концентрація пилу в повітря знижується приблизно в чотири рази швидше при використанні ЛРП, ніж без нього (вираховане відношення  $I$  становить 4,35 ум. од.).

Оскільки процес будування більш точних експоненціальних моделей є доволі складним та вимагає затрати часу, для експрес-оцінки пропонується використовувати набагато простішу лінійну модель у вигляді:

$$y = a + k \cdot t, \quad (11)$$

де  $y$  – концентрація пилу,  $\text{мг}/\text{м}^2$ ;  $t$  – час, хв.;  $a$  і  $k$  – невідомі параметри моделі.

Ми можемо її використовувати тому, що будь-яку нелінійну функцію у першому наближенні можна апроксимувати кусково-лінійною функцією.

В випадку лінійної моделі обрахування значень площ  $S_1$  і  $S_2$  в зазначених раніше формулах (5) і (6) здійснюється за загальною формулою:

$$S = \int_{t_0}^{t_1} (a + k \cdot t) dt = \int_{t_0}^{t_1} a dt + \int_{t_0}^{t_1} k \cdot t dt = a \cdot t \Big|_{t_0}^{t_1} + k \cdot \frac{t^2}{2} \Big|_{t_0}^{t_1} = a(t_1 - t_0) + k \frac{t_1^2 - t_0^2}{2}, \quad (12)$$

де  $t_1$  – це точка перетину моделей з графіком значень ГДК пилу;  $t_0$  – початкове значення часу, тобто  $t_0=0$ ;  $a$  і  $k$  – розраховані параметри моделей.

Точка перетину  $t_1$  знаходиться за формулою:

$$t_1 = \frac{y_1 - a}{k}, \quad (13)$$

де  $y_1$  – концентрація пилу, що відповідає значенню ГДК пилу,  $\text{мг}/\text{м}^2$ ;  $a$  і  $k$  – розрахункові параметри моделі.

Аналогічно оцінка ефективності ЛРП ( $I$ ) для лінійних моделей розраховується за формулою (10).

Провівши розрахунки за наведеними вище для лінійної моделі формулами, встановлено, що інтенсивність зміни концентра-

ції пилу при використанні ЛРП буде більшою в 6 раз (вираховане значення  $I = 5,77$  ум. од.).

Візуальне порівняння динаміки концентрацій пилу за обома моделями наведено на рисунку 4.

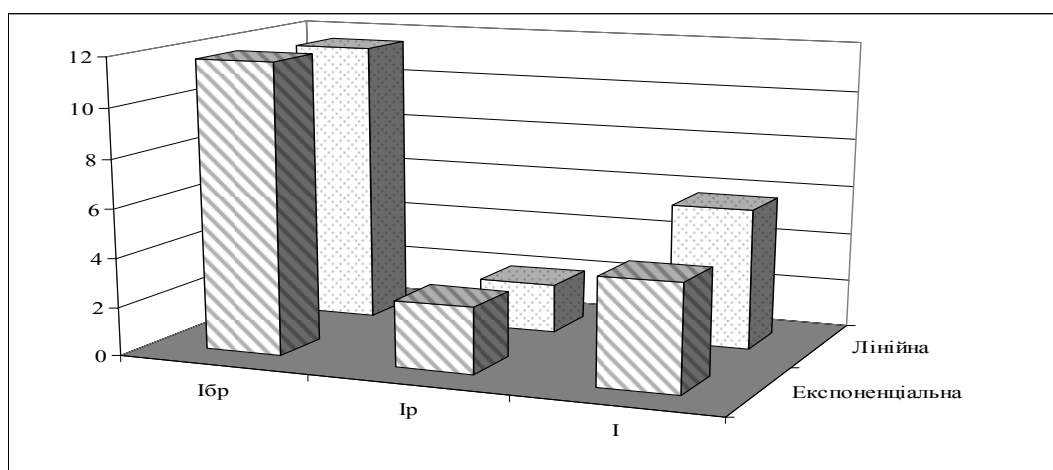


Рисунок 4. Порівняння вирахованих інтенсивності динаміки концентрації пилу з ЛРП і без ЛРП та їх відношення за експоненціальною та лінійною моделями.

**БЛОК 3.** Верифікація (експертна оцінка).

При проведенні верифікації було розраховано  $t$ -критерій Стьюдента, який показав, що в обох випадках розраховане нами

значення менше за значення табличного при 0,05%-вому рівні значимості. Це вказує на незначні відмінності між цими моделями. Отже при будіванні моделі інтенсивності динаміки концентрації пилу доцільніше ви-

користувати значно простішу та легшу в сприйманні лінійну модель, проте необхідно ввести обмеження для цієї моделі.

Таким чином розроблена методика дозволяє оцінити ефективність роботи ЛРП в умовах, наближених до реальних.

Процес пройшов верифікацію та може використовуватись надалі.

### Висновки

В роботі розроблений математичний метод оцінки ефективності процесу очищення повітря від пилу, який визначає оцінку як відношення площ, обмежених побудованими моделями і значенням ГДК, та дозволяє провести оцінку ефективності роботи ЛРП в реальних умовах експлуатації та порівнювати їх між собою за інтенсивністю зміни концентрації аерозолі в контрольованих умовах.

Найбільш точна для опису зниження концентрації пилу в приміщенні є експоненціальна модель.

При потребі експрес-оцінювання пропонується використовувати лінійну модель.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Акіменко В.Я. Гігієнічні проблеми забезпечення параметрів мікроклімату і вентиляції сучасних житлових і громадських будинків / В.Я. Акіменко, А.В. Яригін // Гігієна населених місць. 2009. – Вип.53. – С. 27-33.
2. Очистители воздуха завоевывают мир. Журнал «Мир Климата №78, 2013» [Електронний ресурс]. – Режим електронного доступу: <http://www.hvacnews.ru/anons/111/7017/>.
3. Войналович О.В. Виробнича санітарія: навчальний посібник / О.В. Войналович, Т.О. Білько. – К., 2009. – 77 с.
4. Вараксин А.Н. Статистические модели регрессионного типа в экологии и медицине / А.Н. Вараксин. – Екатеринбург, 2006. – 256 с.
5. Статистика + Большой набор программ для SPSS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=183532> SPSS.V15.0.
6. Антомонов М.Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных / М.Ю. Антомонов. – К., 2006. – 558 с.

Куратор розділу – д. мед. наук Нікітіна Н.Г.