

ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «ІНСТИТУТ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я  
ім. О.М. МАРЗЄЄВА  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ»

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**МАРЕМУХА ТЕТЯНА ПЕТРІВНА**

УДК 614.71/72: 621.311:616-053.2/5

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**ГІГІЄНИЧНА ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**  
**ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ**

14.02.01 – Гігієна та професійна патологія  
(медичні науки)

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата медичних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Т.П. Маремуха

Науковий керівник: Турос Олена Ігорівна, докторка медичних наук, професорка

Київ – 2021

## АНОТАЦІЯ

*Маремуха Т.П.* Гігієнічна оцінка забруднення атмосферного повітря теплоенергетичними об'єктами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата медичних наук спеціальністю 14.02.01 – «Гігієна та професійна патологія» (222 – Медицина). – Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», Київ, 2020.

Дисертація присвячена удосконаленню методів гігієнічної оцінки забруднення атмосферного повітря теплоенергетичними об'єктами (ТЕО).

У дисертаційній роботі на основі проведених комплексних досліджень (аналітичних та натурних) узагальнено та поглиблено розуміння щодо небезпеки для здоров'я населення забруднення атмосферного повітря ТЕО та удосконалено методичні підходи до їх гігієнічної оцінки.

В роботі проведено аналіз сучасних вітчизняних та міжнародних інформаційних джерел стосовно загальних тенденцій світового споживання первинних енергетичних ресурсів та відповідності вітчизняного законодавства вимогам ЄС у секторі енергетичної політики та охорони атмосферного повітря. Вивчено та проаналізовано вплив забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення, обумовленого діяльністю ТЕО, сучасні міжнародні методичні підходи до оцінки якості повітря та його впливу на здоров'я.

На підставі проведення натурних досліджень (індикативні та фіксовані вимірювання проведенні з використанням стандартних методів, які відповідають вимогам Постанови КМУ від 14.08.2019 р. за № 827 та Директиви 2008/50/ЄС) вивчені особливості формування забруднення атмосферного повітря азоту діоксидом, сірки діоксидом, оксидом вуглецю, озоном, пилом недиференційованим за складом (НДЗС),  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  в зонах впливу ТЕО в м. Київ та Київській області. Отримані результати досліджень свідчать про те, що вугільні теплоелектростанції

(ТЕС) є джерелом забруднення атмосферного повітря пилом НДЗС,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  та сприяють утворенню тропосферного озону внаслідок викидів його прекурсорів, що доводить необхідність розширення переліку потенційно небезпечних хімічних речовин, за рахунок твердих часток пилу та озону.

Індикативні вимірювання проведені у населених пунктах Київської області встановили максимальне перевищення вітчизняних гігієнічних нормативів та міжнародних критеріїв оцінки якості повітря для: пилу НДЗС (ГДК<sub>м.р.</sub>) – у 5,4 раза ( $0,10 \div 2,68$  мг/м<sup>3</sup>),  $PM_{10}$  (Директива 2008/50/ЄС) – 1,1 раза ( $10,0 \div 53,4$  мкг/м<sup>3</sup>),  $PM_{2.5}$  (ВООЗ) – 1,5 раза ( $5,8 \div 36,6$  мкг/м<sup>3</sup>). Визначено, що концентрації пилу НДЗС перевищували ГДК<sub>м.р.</sub> на відстані до 6 км від джерела забруднення; перевищення граничних значень  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  спостерігалось на відстанях до 1 та 3 км відповідно.

На підставі проведених фіксованих вимірювань встановлено, що середньорічні концентрації твердих часток пилу в м. Київ знаходились на рівні для  $PM_{10}$  – 33,0 мкг/м<sup>3</sup>,  $PM_{2.5}$  – 21,0 мкг/м<sup>3</sup> та не перевищували граничні значення вказані в Директиві 2008/50/ЄС, але обумовлювали небезпечний рівень, згідно з рекомендаціями ВООЗ. Водночас кількість днів з перевищенням середньодобової концентрації становила для  $PM_{10}$  – 54 дні;  $PM_{2.5}$  – 95 днів, зокрема 79 днів протягом опалювального періоду (жовтень-березень), що перевищує рівні рекомендовані Директивою 2008/50/ЄС ( $PM_{10}$  – не більше 35 днів на рік) та ВООЗ ( $PM_{2.5}$  – не більше трьох днів на рік). Показано достовірний кореляційний зв'язок між концентраціями  $PM_{2.5}$  та  $PM_{10}$  ( $r_s = 0,89$ ,  $p < 0,001$ ). Розраховано середньорічне співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$ , яке знаходилось на рівні 0,65 та не суперечить даним міжнародних досліджень ( $PM_{2.5}$  50-80% від  $PM_{10}$ ), а також співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  для опалювального сезону – 0,75 та міжопалювального періоду – 0,56, що свідчить про переважний вклад ТЕО в забруднення атмосферного повітря  $PM_{2.5}$ , а також про підвищення небезпеки для здоров'я населення від впливу  $PM_{2.5}$  в опалювальний період.

Науково обґрунтовано можливість застосування коригувальних коефіцієнтів при розрахунках середньодобових концентрацій  $PM_{2.5}$  на основі лінійної регресії, окремо для опалювального сезону та міжопалювального періоду, що підвищує точність збігів розрахованих та вимірних концентрацій до 76 % та дозволяє скоротити невизначеність при оцінках експозиції.

Натурні дослідження рівнів озону в атмосферному повітрі м. Києва та Київській області виявили перевищення, як чинного гігієнічного нормативу України, так і граничних значень встановлених Директивою 2008/50/ЄС та ВООЗ в теплий період року, що свідчить про додатковий ризик для здоров'я населення.

Доведено необхідність розробки офіційного інтегрального показника якості атмосферного повітря, як інструменту оперативного інформування населення. Встановлено, що більш прийнятною методологією розрахунку індексу якості повітря в Україні є методологія запропонована Європейським агентством з навколишнього середовища. В роботі проведено аналіз індексів якості повітря (AQI) отриманих при застосуванні «американського» (AQI EPA) та «європейського» (EU AQI) підходів. Проведені розрахунки вказують на те, що використання американського підходу може недооцінювати рівень небезпеки атмосферного повітря та його вплив на здоров'я, а отже інформування населення відбуватиметься не в повному обсязі. При оцінці якості повітря сельбищних територій в зоні впливу ТЕО встановлено, що протягом року AQI був визначений у 39,2 % (136 днів) як «поганий» – шкідливий для всього населення; у 17,2 % (60 днів) як «помірний» – шкідливий для чутливих груп; у 3,8 % (13 днів) як «дуже поганий». В холодний період року шкідливий вплив атмосферного повітря був обумовлений високими рівнями  $PM$ , влітку – озону.

В роботі змодельовано 1-годинні, добові та річні концентрації азоту діоксиду, оксиду вуглецю, сірки діоксиду, пилу  $NDZC$ ,  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  в приземному шарі атмосферного повітря в зоні впливу вугільної ТЕС (радіусом до 10 км від джерела забруднення підприємства). Виявлено перевищення неканцерогенного ризику ( $HQ \geq 1$ ), за умови гострого інгаляційного впливу, для пилу  $NDZC$  ( $HQ_{acute}$  до 1,5) та

PM<sub>10</sub> (HQ<sub>acute</sub> до 2,5), що демонструє необхідність вимірювань твердих часток пилу. Встановлено, що на сельбищних територіях, які знаходяться в зоні впливу ТЕО, залежно від індивідуальних характеристик територіального розташування та умов поширення забруднення, рівні індивідуального ризику смерті для PM<sub>10</sub> коливаються в межах від  $3,6 \times 10^{-5}$  до  $7,7 \times 10^{-4}$  та характеризувались як недопустимі для експонованого населення.

Доведено, що тривалий вплив концентрацій PM<sub>2.5</sub> на рівні – 21,2 мкг/м<sup>3</sup> та 17,7 мкг/м<sup>3</sup>, PM<sub>10</sub> на рівні – 33,47 мкг/м<sup>3</sup> та 27,8 мкг/м<sup>3</sup> відповідно у м. Київ та Київській області, можуть бути передбачуваною причиною значної кількості випадків відворотних смертей та захворюваності на хронічний бронхіт серед дорослих. Встановлено, що атрибутивна частка смертей у м. Київ та Київській області, яка пов'язана з експозицією PM<sub>2.5</sub>, становить, відповідно: 9,2 та 6,4 % від раку легень; 8,8 та 6,6 % від хронічного обструктивного захворювання легень; 4,9 та 3,7 % від ішемічної хвороби серця; 4,4 та 3,4 % від інсульту. Експозиція PM<sub>10</sub> може призвести до 13,9 % випадків захворюваності на хронічний бронхіт серед дорослих у м. Київ та 8,3 % у Київській області.

На підставі проведених досліджень розроблено алгоритм кількісної оцінки впливу на здоров'я населення атмосферного повітря, забрудненого ТЕО, який передбачає використання комплексу натурних вимірювань, змодельованих сценаріїв забруднення, ймовірнісну оцінку впливу та його наслідків для здоров'я населення. Зважаючи на те, що в холодний період року шкідливий вплив атмосферного повітря був обумовлений високими рівнями твердих часток пилу, а влітку – озону, це може стати науковим підґрунтям для впровадження сезонних профілактичних програм щодо зниження рівня передчасної смертності та захворюваності населення, пов'язаних з патологією серцево-судинної, дихальної систем та розробки адаптаційних програм зі змін клімату.

**Ключові слова:** теплоенергетичні об'єкти, атмосферне повітря, тверді частки пилу, кількісна оцінка ризику, здоров'я населення, AQI, AirQ+.

## SUMMARY

***Maremukha T.P.*** Hygienic assessment of air pollution resulting from operation of thermal power plants – Manuscript.

Dissertation for the Candidate of Medical Sciences degree in speciality 14.02.01 – «Hygiene and Occupational Pathology» (222 – Medicine)– State Institution «O.M. Marzieiev Institute for Public Health, National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to the enhancement of methodological approaches to assessment of ambient air pollution resulting from operation of the coal-fired thermal power plants, and further improvement of the quantitative evaluation criteria by adopting a probabilistic approach.

In this dissertation analysis of the latest available data on current trends of global primary energy demand by fuel and compliance of Ukrainian domestic legislation with the EU energy policy and air quality regulations was performed. Further, the health impacts associated with exposure to air pollution resulting from operation of thermal power plants along with international methodological approaches to assessing air quality and related health impacts were investigated.

Based on field studies (air sampling conducted in accordance with the standard guidelines as defined in the Resolution of Cabinet of Ministers of Ukraine on August 14, 2019 № 827 and in Directive 2008/50/EC), the variability and spatial patterns of nitrogen dioxide, sulfur dioxide, carbon monoxide, ozone, TSP and particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) were studied in the areas exposed to industrial emissions from thermal power facilities in Kyiv city and Kyiv region. It was identified that thermal power plants (TPP) were the major sources of TSP, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> pollution in the area and, additionally, contributed to the formation of tropospheric ozone due to emissions of its precursors. This indicates the need for reviewing the national list of the hazardous air pollutants to include solid particles of dust and ozone.

Indicative measurements, that were conducted in urban settlements in Kyiv region, revealed exceedance of national air quality hygienic standards and international limits for

TSP ( $MPC_{OT}$  by 5.4 times ( $0.10 \div 2.68 \text{ mg/ m}^3$ ),  $PM_{10}$  (Directive 2008/50/EC) - 1.1 times ( $10.0 \div 53.4 \text{ } \mu\text{g / m}^3$ ),  $PM_{2.5}$  (WHO) - 1.5 times ( $5.8 \div 36.6 \text{ } \mu\text{g / m}^3$ ). TSP concentrations exceeding  $MPC_{OT}$  were registered as far as up to 6 km from the pollution source. In case of  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$ , concentrations breaching limits were observed at distances up to 1 and 3 km, respectively.

To investigate the air quality in Kyiv city,  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  concentrations were monitored from June 1, 2017 till May 31, 2018. Pollution data was acquired from the stationary monitoring station located in Kyiv city (50 Popudrenka str.). This station is equipped with APDA371 (HORIBA) analyzers providing automatic continuous measurements of concentrations averaged over 1 hour period. The monitoring campaign revealed that observed  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  concentrations were often exceeding the WHO Air Quality Guideline values, though remained well below the limits defined in European Union Council Directive 2008/50/EC. Averaged  $PM_{10}$  exposure levels were  $33 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ , while for  $PM_{2.5}$  slightly lower values of  $21 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  were observed. It was identified that  $PM_{10}$  concentrations were exceeding the average daily concentration for 54 days registered. As for  $PM_{2.5}$ , same trends were observed for 95 morning days (79 during heating period).

$PM_{2.5}$  concentrations were found to have significant positive correlation with observed  $PM_{10}$  values ( $r_s = 0,89$ ,  $p < 0,001$ ). The mass concentration ratio of  $PM_{2.5}$  to  $PM_{10}$  was 0.65 for the average annual concentrations; even stronger agreement of 0.75 was observed during the heating season, and in non-heating season, the ration dropped to only 0.56. This highlights the predominant contribution of TPP to  $PM_{2.5}$  air pollution as well as to increased health risks associated with  $PM_{2.5}$  exposure during the heating season.

A multiple linear regression model was established for estimating daily averaged  $PM_{2.5}$  concentrations resulting from operation of thermal power plants for two separate scenarios: heating and non-heating seasons. Scientific reasoning was provided for the correction factors to be applied in the calculations of daily averaged  $PM_{2.5}$  concentrations. This allowed to improve the agreement between calculated and measured concentrations up to 76% and, therefore, to reduce uncertainty in exposure estimates.

The field studies of ozone levels conducted in Kyiv city and Kyiv region revealed that during the warm period of the year, observed concentrations were exceeding both the national hygienic air quality standards and the limit values set by Directive 2008/50/EC and WHO, which may contribute to additional health risks within population.

Based on the research findings, the need to provide an official integrated ambient air quality indicator that would serve as communication toolkit for general public was recognized. The relevance and transferability of the Air Quality Indices (AQIs) developed by U.S. EPA ("American") and European Environment Agency ("European") was explored. It was acknowledged the "European" approach was more relevant to Ukrainian context and can be implemented as a baseline for computing the air quality index in Ukraine. The cross-validation calculations indicated that "American" approach to air quality assessment may underestimate the real levels of ambient air hazard and related impacts, which would result in misinformation. A study conducted to assess the air quality in the residential areas affected by emissions from thermal power facilities reported "poor" AQI, i.e., harmful to the whole population, for 39.2% of the year (136 days), "moderate", i.e., harmful to sensitive groups, for 17.2% (60 days) of observations, and "very poor" for 3.8% (13 days). In cold season, harmful effects of air pollution were linked primarily to high PM concentrations, while in summer, the impacts of ozone-related exposure were more pronounced.

Non-cancer health risks (HQ) associated with TSP, PM<sub>10</sub>, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, carbon monoxide concentrations and individual risks of mortality (IRM) from PM<sub>10</sub> were estimated for the area affected by emissions from thermal power plants. It was identified that non-cancer risks related to acute exposure to TSP (HQ<sub>acute</sub> up to 1.5) and PM<sub>10</sub> (HQ<sub>acute</sub> up to 2.5) by inhalation were exceeding established reference level (HQ<sub>acute</sub> ≥ 1). The PM<sub>10</sub>-related individual risk of mortality was found to vary across the study area from  $3.6 \times 10^{-5}$  to  $7.7 \times 10^{-4}$ . The estimated risks levels were defined as unacceptable for the exposed population.

Furthermore, in this study, human health impacts from long-term exposure to ambient PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> were projected by means of AirQ+ software. It was estimated



that in Kyiv and Kiev region respectively 4.9 and 3.7 % of IHD, 8.8 and 6.6 % of COPD, 9.2 and 6.4 % of LC, 4.4 and 3.4 % of stroke cases were attributed to the long-term exposure to PM<sub>2.5</sub> concentrations exceeding 10 µg/m<sup>3</sup>. Additionally, 776 (13.9 %) and 196 (8.3 %) new cases of bronchitis in adults in Kyiv and Kiev region respectively were associated with PM<sub>10</sub> exposure.

The findings reported in this thesis were translated into the framework for quantitative assessment of health impacts associated with exposure to air pollution from thermal power plants. The proposed framework employs fixed and indicative measurements, air pollution simulation scenarios, probabilistic assessment of pollution impacts and related health implications, which allows to account for the specifics of thermal power facilities as local sources of industrial air pollution.

Considering the seasonal variability of the air pollution, as TSP was the dominant pollution during the cold period, while in summer the role of ozone increased, the given research provided a solid scientific evidence for the development of local climate change adaptation plans and implementation of seasonal prevention programs targeted at reduction of premature mortality and morbidity associated with cardiovascular and respiratory disorders.

**Key words:** thermal power plants, ambient air, particular matter, quantitative risk assessment, public health, AQI, AirQ+.

## СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

**1) наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

*- у наукових фахових виданнях України:*

1. Турос О.І., Петросян А.А., Маремуха Т.П., Моргульова В.В. Переваги використання оцінки ризику для здоров'я населення при обґрунтуванні розмірів санітарно-захисних зон для теплоенергетичних об'єктів // Довкілля та здоров'я.

2018. №3(88). С. 45-49. (збір і обробка матеріалу, участь в написанні та оформленні статті).

2. Турос О.І., Маремуха Т.П., Петросян А.А., Брезіцька Н.В. Дослідження забруднення атмосферного повітря зваженими частинками пилу (PM<sub>10</sub> та PM<sub>2,5</sub>) у м. Києві // Довкілля та здоров'я. 2018. №4(89). С. 36-39. (ідея роботи, статистична обробка даних, участь у написанні та підготовці висновків).

3. Turos O., Maremukha T., Petrosian A., L. Mykhina, Morhulova V. Integral indicators as tools for air quality assessment. Довкілля та здоров'я. 2019. №1(90). С. 51-55. (ідея роботи, аналіз наукової літератури, участь у написанні статті).

**- у періодичних наукових виданнях інших держав:**

4. Маремуха Т.П., Петросян А.А. Загрязнение атмосферного воздуха фракциями мелкодисперсной пыли (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) в районе функционирования угольной ТЭС // Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр. Минск, 2016. Вып. 26. С. 39-42. (ідея роботи, статистична обробка даних, участь у написанні та підготовці висновків).

**2) наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

5. Маремуха, Т. П., Кобзаренко І.В. До питання необхідності оцінок впливу викидів забруднюючих речовин на здоров'я населення в атмосферне повітря при зміні паливного балансу в Енергосистемах України // Східноєвропейський журнал громадського здоров'я : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2013 р. № 1. С.186-187.

6. Турос О.І., Петросян А.А., Ананьєва О.В., Маремуха Т.П. Оцінка ризику для здоров'я населення як інструмент управління якістю повітря // Казантип Еко-2013 : сб. тр. XXI Международной научно-практ. конф. (3-7 июня 2013 г.). Том 2. Щелкино, АР Крым, 2013. С. 256-261.

7. Петросян А.А. Кобзаренко І.В., Маремуха Т.П. Перспективи впровадження національного плану скорочення викидів від великих спалювальних

установок // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (одинадцяті марзеєвські читання). зб. тез доп. наук.-практ. конф. Київ, 2015. С. 41 – 43.

8. Турос О.І., Петросян А.А., Михіна Л.І., Маремуха Т.П. Проблеми якості повітря в Україні та оцінки його впливу на громадське здоров'я // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (дванадцяті марзеєвські читання) : зб. тез доп. наук.-практ. конф. Київ, 2016. С. 131-132.

9. Турос О.І., Маремуха Т.П., Петросян А.А., Моргульова В.В. Використання даних дистанційного зондування Землі високої роздільної здатності (космічні знімки) при вирішенні еколого-гігієнічних питань // Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки. Шоста Всеукраїнська конференція «GEO-UA». К., 2018. С. 66-67.

10. Morhulova V., Petrosian A., Maremukha T. Improved methods of assessing the impact of air pollution on public health // ISES, ISIAQ – 2019. SU-PO-18. P.19.

11. Turos O., Petrosian A., Kobzarenko I., Kharchenko K., Maremukha T., Ananyeva O. Measurement of ambient ozone (O<sub>3</sub>) levels, correlation with the NO<sub>x</sub> levels and the development of the monitoring network for O<sub>3</sub> // ISES, ISIAQ – 2019. SU-PO-14. P.41.

**3) наукові праці, що додатково відображають наукові результати дисертації:**

12. Турос О.І., Петросян А.А., Ананьєва О.В., Маремуха Т.П., Кобзаренко І.В. Використання оцінки ризику для здоров'я населення в системі управління якості повітря // Збірник законодавчих та нормативно-правових актів, які регулюють діяльність суб'єктів господарювання в частині запобігання несприятливого впливу на стан здоров'я і життя людини шкідливих факторів атмосферного повітря. Київ, 2014. С. 15-21.

13. Турос О.І., Маремуха Т.П., Кобзаренко І.В., Петросян А.А., Михіна Л.І., Брезіцька Н.В., Давиденко Г.М., Харченко К.О. Забруднення атмосферного повітря

зваженими частками пилу (ЗЧ10 и ЗЧ2,5) у Деснянському районі м. Києва // Гігієна населених місць: зб. наук. пр. Вип. 67. К., 2017. С. 31-37.

14. Турос О.І., Петросян А.А., Маремуха Т.П., Черненко Л.М. Використання оцінки ризику для здоров'я населення при розробці технологічних нормативів допустимих викидів / ДУ «Ін-т гігієни та мед. екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України»; Санітарно-епідеміологічна станція Державного управління справами. К., 2015. 3 с. (Укрмедпатентінформ МОЗ України / Інформаційний лист про нововведення № 334-2015).

15. Турос О.І., Петросян А.А., Слаутенко Є.Г., Моргульова В.В., Маремуха Т.П. Деклараційний патент на корисну модель (51) А61В 10/00. Спосіб визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі». Заявник і власник ДУ «ІГЗ ім. О. М. Марзєєва НАМНУ». № 131880 (11); заявл. 11.02.2019; Бюл. № 3.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	16
ВСТУП .....	18
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ (аналітичний огляд літератури)	
1.1 Загальні тенденції світового споживання первинних енергетичних ресурсів.....	24
1.2 Аналіз відповідності вітчизняного законодавства вимогам Європейського союзу у секторі енергетичної політики та охорони атмосферного повітря .....	27
1.3 Оцінка впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення, обумовленого діяльністю теплоенергетичних об'єктів	33
1.4 Інструменти оцінки якості атмосферного повітря та його впливу на здоров'я населення в країнах Європи та США	42
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА ОБСЯГИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
2.1 Методичний підхід та програма дослідження	56
2.2 Методи натурних досліджень визначення концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі	59
2.3 Статистичні методи обробки даних	61
2.4 Методи математичних (моделювання) досліджень визначення концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі атмосферного повітря	64
2.5 Оцінка ризику для здоров'я населення (використання класичних підходів та програмного комплексу AirQ+)	66
2.6 Методи міжнародної інтегральної оцінки якості атмосферного повітря (індекс якості повітря – AQI)	70

## РОЗДІЛ 3 ГІГІЄНИЧНА ОЦІНКА ТА АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ ТРИПІЛЬСЬКОЇ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ (ТЕС)

3.1 Натурні дослідження забруднення атмосферного повітря в зоні впливу Трипільської ТЕС ..... 75

3.2 Моделювання розсіювання концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери зони впливу Трипільської ТЕС..... 99

## РОЗДІЛ 4 ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТВЕРДИМИ ЧАСТКАМИ ПИЛУ ( $PM_{10}$ та $PM_{2.5}$ ) ТА ОЗОНОМ У М. КИЇВ

4.1 Гігієнічна оцінка забруднення атмосферного повітря  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  у м. Київ (за даними фіксованих вимірювань)..... 106

4.2 Оцінка взаємозв'язку та співвідношення між окремими фракціями твердих часток пилу ( $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ )..... 111

4.3 Гігієнічна оцінка забруднення атмосферного повітря озоном у м. Київ (за даними індикативних вимірювань)..... 120

## РОЗДІЛ 5 ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДИЧНИХ ПІДХОДІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ

5.1 Оцінка експозиційних навантажень та інгаляційного ризику для здоров'я населення, обумовлених викидами Трипільської ТЕС..... 124

5.2 Кількісна оцінка впливу забрудненого атмосферного повітря на здоров'я населення за допомогою інструментів програмного забезпечення AirQ+..... 129

5.3 Розрахунок та аналіз індексу якості повітря, відповідно до міжнародних вимог ..... 139

## РОЗДІЛ 6 НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМУ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗАБРУДНеноГО ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ (аналіз та узагальнення результатів)

148

	15
ВИСНОВКИ	155
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	158
ДОДАТКИ	191

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ**

HQ	неканцерогенний ризик
ICR	індивідуальний канцерогенний ризик
IRM	індивідуальний ризик смерті
AQI	Індекс якості повітря
PM <sub>10</sub>	тверді (зважені) частки пилу з діаметром до 10 мікрон
PM <sub>2.5</sub>	тверді (зважені) частки пилу з діаметром до 2.5 мікрон
RfC	референтна концентрація
EEA	Європейське агентство з навколишнього середовища
US EPA	Агентство з охорони довкілля США
IEA	Міжнародне енергетичне агентство
AP-HRA	оцінка ризику для здоров'я від забруднення повітря
ВООЗ	Всесвітня організація охорони здоров'я
ВСУ	великі спалювальні установки
ГДК <sub>с.д.</sub>	гранично допустима середньо добова концентрація
ГДК <sub>м.р.</sub>	гранично допустима максимально разова концентрація
ГІС	геоінформаційна система
ДСП	Державні санітарні правила
ДУ «ІГЗ НАМНУ»	Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. М.О. Марзєєва Національної академії медичних наук України»
ЄС	Європейський союз
КМУ	Кабінет Міністрів України
ЛОС	леткі органічні сполуки
МОЗ	Міністерство охорони здоров'я України
МОРЗН	методологія оцінки ризику для здоров'я населення
НПСВ	Національний план скорочення викидів



НІЗ	неінфекційна захворюваність
ОБРВ	орієнтовні безпечні рівні впливу
ОВД	оцінка впливу на довкілля
ОР	оцінка ризику
Пил НДЗС	пил недиференційований за складом
ПША	приземний шар атмосфери
СЗЗ	санітарно-захисна зона
ТЕС	Теплоелектростанція
ТЕО	теплоенергетичні об'єкти
ТНДВ	технологічний норматив допустимих викидів
ТЕЦ	Теплоелектроцентрально

## ВСТУП

За даними Міжнародного енергетичного агентства станом на 2018 рік приблизно 40 % світових потреб в електроенергії були забезпечені теплоелектростанціями, що працюють на вугіллі [1]. На їх частку припадає три чверті викидів сірки діоксиду, 70 % оксидів азоту та більше 90 % твердих часток пилу (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) від загальних обсягів викидів енергетичного сектору [2].

Забруднення атмосферного повітря, пов'язане зі спалюванням викопного палива, залишається одним з головних факторів захворюваності та смертності у всьому світі [2, 3]. Середня смертність від вугільної енергетики є однією з найвищих у світі та становить близько 100 000 смертей на 1000 ТВт·год [4].

За даними наукових досліджень, виконаних у різні періоди, встановлено наявність взаємозв'язку між рівнями забруднення атмосферного повітря, що обумовлені викидами теплоенергетичних об'єктів (ТЕО) та станом здоров'я населення, зокрема К.А. Буштуева, В.Ф. Бабій, В.В. Жданов, S. Penney et al., Б.О. Ревич, І.О. Черниченко та О.М. Литвиченко, М. Holland, С.К. Lin et al., 2019 [5-15]. Науково доведено, що такі забруднюючі речовини (ЗР) як сірки діоксид, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> та оксиди азоту завдають хронічної та незворотної шкоди здоров'ю як прямо, так і опосередковано (С.А. Pore et al., Л.І. Власик, О.І. Турос, А.І. Севальнев, А.А. Петросян, Г.М. Давиденко, Б.О. Ревич, І.А. Просвірякова [16-30].

Слід зазначити, що в Європейському Союзі (ЄС), відповідно до оприлюднених у 2013 році оцінок, викиди вугільних електростанцій Польщі, Німеччини, Великобританії, Румунії, Болгарії, Іспанії та Чехії призвели до 22900 передчасних смертей, 11800 випадків хронічного бронхіту у дорослих, 51 700 випадків бронхіту та понад 538 000 нападів астми у дітей за рахунок впливу твердих часток пилу, приземного озону та азоту діоксиду [31]. Водночас близько 83 % передчасних смертей від хвороб серцево-судинної системи, інсульту, хронічних захворювань та раку легень, пов'язані з впливом PM<sub>2.5</sub>. Крім того, забруднення атмосферного повітря вугільними електростанціями спричинило 21 000 випадків госпіталізації та

6,6 мільйони втрачених робочих днів, а витрати пов'язані зі здоров'ям були оцінені від 32,2 до 62,3 млрд. євро [31, 32]. Саме тому, більшість країн ЄС відмовляється від інвестицій у вугільні електростанції та підтримує перехід на відновлювальні джерела енергії.

Однак, згідно Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», Україна не готова відмовитися від вугільних ТЕС, хоча планується поступове зменшення частки викопного палива в енергетичному балансі країни [33]. Слід зауважити, що основна частина енергії в країні виробляється шляхом спалювання органічного палива на підприємствах теплоенергетики, які наразі перебувають у кризовому стані та мають один з найнижчих рівнів техніко-економічних та екологічних показників в Європі, що негативно впливає на рівень енергетичної та національної безпеки країни [34, 35].

Теплові електростанції, що працюють на вугіллі залишаються основними стаціонарними забруднювачами атмосферного повітря в Україні. Загалом, викиди від роботи ТЕС складають близько 41 % від усієї кількості пилу недиференційованого за складом (пил НДЗС), 62 % – сірки діоксиду, 32 % – оксидів азоту, що надходять в атмосферу, внаслідок господарської діяльності людини та від чотирьох до 40 разів перевищують стандарти ЄС [36-38]. Водночас такі ЗР як оксиди азоту, оксид вуглецю та леткі органічні сполуки, що надходять до атмосферного повітря від вугільних електростанцій, сприяють утворенню приземного озону, який є небезпечним для здоров'я людини як за тривалого, так і короткочасного впливу [39-46].

З огляду на те, що сучасний інженерно-технічний рівень розвитку теплоенергетики не дозволяє забезпечити суттєве зниження викидів ЗР в атмосферне повітря, не проводиться моніторинг  $PM_{2.5}$  та  $PM_{10}$  та озону, питання гігієнічної оцінки забруднення атмосферного повітря ТЕО та його впливу на здоров'я населення є безперечно актуальним та своєчасним для нашої країни. Цим обумовлено вибір теми, мети та завдань наукового дослідження.

**Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами.** Роботу виконано в рамках таких науково-дослідних робіт Державної установи «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва Національної академії медичних наук України»: «Вдосконалення наукових підходів до гігієнічної оцінки діяльності теплоенергетичних об'єктів», 2015-2017 рр. (№ держреєстрації 0115U000648); «Наукове обґрунтування критеріїв оцінки небезпеки, обумовленої забрудненням атмосферного повітря речовинами у вигляді твердих суспендованих частинок, відповідно до вимог ЄС», 2018-2020 рр. (№ держреєстрації 0118U003709).

**Мета роботи** – удосконалення методів гігієнічної оцінки забруднення атмосферного повітря теплоенергетичними об'єктами.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі **завдання**.

1. Провести натурні дослідження та вивчити особливості формування забруднення атмосферного повітря в зонах впливу теплоенергетичних об'єктів, що працюють на вугіллі.
2. Встановити рівні забруднення атмосферного повітря твердими частками пилу ( $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ ) та озоном.
3. Виконати моделювання поширення забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери з урахуванням територіальних особливостей розміщення теплоенергетичних об'єктів та оцінити ризик для здоров'я населення.
4. Провести кількісну оцінку індикаторів здоров'я, обумовлених впливом теплоенергетичних об'єктів, з використанням міжнародної програми AirQ+.
5. Визначити індекс якості повітря (AQI) відповідно до міжнародних вимог.
6. Науково обґрунтувати алгоритм кількісної оцінки впливу на здоров'я населення забруднення атмосферного повітря викидами теплоенергетичних об'єктів.

**Об'єкт дослідження:** особливості формування забруднення атмосферного повітря та ризик для здоров'я населення в зонах впливу теплоенергетичних об'єктів.

**Предмет дослідження:** концентрації хімічних речовин у приземному шарі атмосфери в зоні впливу теплоенергетичних об'єктів; індекс якості повітря; інгаляційні ризики та індикатори здоров'я населення.

Для досягнення мети та завдань роботи було використано такі **методи дослідження:** бібліографічний метод аналізу наукової та нормативно-методичної інформації; фізико-хімічні методи; методи математичного моделювання (Aermod View, ліцензія ISCA Y0002896; AirQ+, версія 2.0); методи міжнародної інтегральної оцінки якості атмосферного повітря (AQI); оцінка ризику для здоров'я населення; статистичні методи з використанням стандартних пакетів програм для опрацювання даних (StatSoft STATISTICA 10.0 portable, Microsoft® Excel 2019).

**Наукова новизна результатів дослідження** полягає в тому, що вперше на підставі комплексних досліджень поглиблено розуміння особливостей формування рівнів хімічного забруднення (зокрема  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  та озonom) приземного шару атмосфери (ПША) в зонах впливу ТЕО, які працюють на вугіллі; визначено провідну роль  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  як факторів ризику для здоров'я населення; науково обґрунтовано застосування коригувальних коефіцієнтів під час розрахунків середньодобових концентрацій  $PM_{2.5}$  окремо для опалювального сезону та міжопалювального періоду на територіях, де наявні дані щодо забруднення атмосферного повітря лише для  $PM_{10}$ ; оцінено ймовірність виникнення додаткових випадків смертей від захворювань серцево-судинної, дихальної систем та захворюваності на хронічний бронхіт серед дорослого населення, які пов'язані з експозицією твердих часток пилу.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі аналітичних досліджень та натурних вимірювань (фіксованих та індикативних, проведених з використанням стандартних методів, які відповідають вимогам Постанови КМУ від 14.08.2019 р. за № 827 та Директиви 2008/50/ЄС) удосконалено методичні підходи до гігієнічної оцінки забруднення атмосферного повітря викидами ТЕО; проведено кількісну оцінку впливу ТЕО, що працюють на вугіллі, на здоров'я населення з використанням європейського програмного комплексу AirQ+.

За участю авторки підготовлено інформаційний лист «Використання оцінки ризику для здоров'я населення при розробці технологічних нормативів допустимих викидів» (№334-2015) та патент на корисну модель «Спосіб визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі» (№131880-2018), які впроваджено в навчальний процес кафедри загальної гігієни Дніпропетровської державної медичної академії, кафедри гігієни та екології № 4 Національного медичного університету імені О.О. Богомольця та у практичну діяльність ДУ «Запорізький обласний лабораторний центр МОЗ України», ТОВ «Центр екології та розвитку нових технологій», ПНВП «Екологія» та ТОВ «Екологічний центр поводження з небезпечними відходами та промислової технологіями», що підтверджено відповідними актами впровадження, наданими у 2018-2020 роках. Матеріали, отримані в дисертації, використані при розробці патенту на корисну модель «Спосіб визначення рівня забруднення атмосферного повітря зваженими твердими частинками недиференційованими за складом (TSP)» (№ u 201911494 від 28.11.2019 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Авторкою спільно з науковим керівником визначено мету, завдання та сформульовано висновки за результатами досліджень. Особисто здійснено інформаційно-патентний пошук, поглиблений аналіз наукової літератури за тематикою дослідження, розроблено програмно-цільову структуру виконання дисертаційної роботи, обрано методи досліджень. Здобувачка безпосередньо брала участь в організації та проведенні натурних досліджень забруднення атмосферного повітря на сельбищних територіях в зоні впливу ТЕО. Самостійно зібрала та проаналізувала отримані результати вимірювань, провела гігієнічну оцінку забруднення території дослідження, оцінила ризик для здоров'я населення та виконала кількісну оцінку впливу на здоров'я населення атмосферного повітря забрудненого ТЕО. Також виконала систематизацію та математичну обробку результатів, запропонувала використання коригувальних коефіцієнтів під час розрахунків середньодобових концентрацій  $PM_{2.5}$  та оформила всі розділи

дисертаційної роботи. Особистий внесок здобувачки становить понад 85 % від загального обсягу роботи.

Авторка висловлює щире подяку всім колегам за підтримку, консультативну та практичну допомогу під час виконання окремих фрагментів роботи, особливо, пров.н.с., к.б.н., с.н.с. Петросян А.А. та м.н.с. Моргульовій В.В.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи були висвітлені на: XXI Міжнародній науково-практичній конференції «КАЗАНТИП-ЭКО-2013. Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- и ресурсосбережения» (Щолкіне, 2013), Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій Всесвітньому дню здоров'я (Київ, 2013), науково-практичних конференціях «Актуальні питання громадського здоров'я та екологічної безпеки України (Марзєєвські читання)» (Київ, 2015, 2016, 2019), 6-й Всеукраїнській конференції «GEO-UA» (Київ, 2018), міжнародній конференції «The International Society of Exposure Science» (ISES) (Каунас, 2019).

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 15 наукових праць, серед них: 6 статей, з них 3 – у наукових фахових виданнях України, 1 стаття – у періодичному науковому виданні іншої держави, 2 статті – в інших виданнях та 7 тез доповідей на вітчизняних та міжнародних конференціях. Отримано 1 патент на корисну модель та видано 1 інформаційний лист. Публікації виконано у співавторстві.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація має анотацію українською та англійською мовами, складається зі вступу, шести розділів (результати власних досліджень, їх аналіз та узагальнення), висновків, списку використаних джерел, що містить 301 літературне посилання (197 – кирилицею, 104 – латиницею). Роботу викладено на 204 сторінках (обсяг основного тексту становить 157 сторінок), вона містить 42 рисунки, 30 таблиць, 4 додатки.

**РОЗДІЛ 1**  
**СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ**  
**АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИМИ**  
**ОБ'ЄКТАМИ (аналітичний огляд літератури)**

**1.1 Загальні тенденції світового споживання первинних енергетичних ресурсів**

Вугілля є основою світового постачання електроенергії завдяки широкій доступності та конкурентній ціні виробництва електроенергії. Дотепер електростанції, що працюють на вугіллі, забезпечують майже 40 % світової електроенергії [1, 47]. Споживання вугілля у 2018 р. зросло у порівнянні з 2016 та 2017 рр., хоча залишилося нижче пікового рівня 2014 року. Це зростання в основному відбувалося внаслідок його споживання у Китаї, Індії, Індонезії та деяких інших країнах Південної та Південно-Східної Азії, в той час як виробництво вугілля скоротилося в Європі й Північній Америці. Міжнародна торгівля вугіллям зросла на 4 % у 2018 році, перевищивши 1,4 млрд т [1, 48].

Існують суттєві регіональні відмінності у використанні вугілля. У багатьох країнах з розвиненою економікою (країни ЄС, США) вугілля поступово витісняється з енергетичного балансу внаслідок поєднання екологічної політики, конкурентного тиску з боку відновлюваних джерел енергії, а також зниження ціни на газ. Крім того, все більша кількість банків, страхових компаній, інвесторів, комунальних і гірничодобувних компаній обмежують, скорочують або відмовляються від інвестицій у вугілля [1]. Очікується, що попит на вугілля в Китаї незначно знизиться, оскільки уряд просуває перехід від вугілля до більш екологічних видів палива з метою розв'язання проблеми якості повітря в країні [48, 49]. Водночас Індія, Індонезія та деякі інші країни Азії прагнуть збільшити використання вугілля для задоволення швидко зростаючого попиту на електроенергію [47, 48].



Загалом на сьогодні 80 країн використовують вугільну енергію (у 2000 році – 66 країн). Ще 13 країн планують почати використовувати вугілля, в т.ч. Єгипет і Об'єднані Арабські Емірати, тоді як Бельгія припинила його використання у 2016 році. [50]. 19 країн, на які припадає 5 % нинішніх потужностей (загальна потужність – 2045 ГВт), взяли на себе зобов'язання щодо поетапної відмови від вугілля в рамках «The Powering Past Coal Alliance» (PPCA), який було засновано Великобританією та Канадою на кліматичному саміті COP23 у листопаді 2017 року [51, 52]. Канада, Великобританія, Франція, Італія, Нідерланди, Португалія, Австрія, Ірландія, Данія, Швеція, Фінляндія, Угорщина, Словаччина і Греція оголосили про поетапну відмову від вугілля та припинення його використання до 2030 р., Німеччина – з 2038 р. Лише сім країн-членів досі не погодилися на поетапну відмову: Іспанія, Польща, Чехія, Румунія, Болгарія, Словенія та Хорватія. З 2010 року в ЄС і Великобританії було закрито близько 66 ГВт вугільних ТЕС, в тому числі 8 ГВт у 2019 році. [50]. Швеція та Австрія закрили свою останню вугільну електростанцію у березні 2020 року, Португалія планує закрити дві останні вугільні електростанції до листопада 2021 року. Щодо Іспанії, то країна закрила половину свого парку через нові обмеження щодо забруднення повітря [53].

Німеччина, якій належить п'ятий за величиною у світі вугільний парк ТЕС і на долю якої приходить близько 2 % світового обсягу видобутку вугілля, у 2019 році розробила програму скорочення викидів в атмосферу вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), покликану забезпечити виконання зобов'язань, взятих на себе згідно з Паризькою угодою з клімату [50]. Важливою складовою частиною програми стане план відмови від вугілля, що є найбільш неекологічним викопним енергоносієм [54, 55]. Польща нині виробляє більше електроенергії на вугіллі, ніж Німеччина, а також стільки ж, скільки решта 25 країн ЄС разом узяті. В той час як у більшості країн ЄС є план щодо поетапної відмови від вугілля, у Польщі він відсутній, але все ж таки країна заявила про значне зниження частки вугілля у структурі національної електроенергетики з нинішніх 80 % до 60 % у 2030 році та 22 % у

2040 році [50, 56]. В США виведення з експлуатації вугільних ТЕС, що відпрацювали свій ресурс, скоротило їх кількість на 105 ГВт з 2010 року [50]. Також, згідно з даними Global Energy Monitor, ще 71 ГВт вугільних ТЕС планується закрити, що в підсумку майже наполовину скоротить потужність – з 327 ГВт в 2000 році до 175 ГВт в майбутньому [57]. Щодо Китаю, то з 2000 по 2019 рік його вугільний парк виріс в п'ять разів, досягнувши 1005 ГВт, що становить майже половину світового обсягу. Але слід зазначити, що в цілому, з кінця 2015 року обсяги споруджуваних або запланованих вугільних ТЕС в Китаї скоротилися більш ніж на 70 %. Близько 134 ГВт запланованої потужності було скасовано лише у 2019 році [50]. Друге за величиною збільшення потужності з 2000 року відбулося в Індії, де парк вугільних ТЕС збільшився більш ніж втричі до 229 ГВт. Згідно з національним планом уряду потужність вугілля в Індії буде продовжувати зростати, досягнувши 238 ГВт у 2027 році. Протягом 2019 р. в Індії розпочалось будівництво нових потужностей вугільної енергетики на 8,8 ГВт [58]. Південна Корея, Японія, В'єтнам, Індонезія, Бангладеш, Пакістан і Філіппіни з 2000 року спільно подвоїли свій вугільний парк, досягнувши 202 ГВт в 2019 році. Разом ці країни будують 47 ГВт нових вугільних ТЕС і планують ще 87 ГВт [50].

Що стосується України, то у 2017 році викопному паливу належить значна частка загального постачання первинної енергії країни, а саме 29 % [34]. Технологічну основу генеруючих потужностей у тепловій енергетиці складають пиловугільні енергоблоки високих параметрів пари (13 МПа, 545 °С) потужністю 150-200 МВт та пиловугільні, газомазутні енергоблоки надкритичних параметрів (24 МПа, 545 °С) потужністю 300 та 800 МВт на конденсаційних електростанціях. Електростанції з енергоблоками 150 МВт збудовані та введені в експлуатацію в 1959-1964 роках, 200 МВт – у 1960-1975 роках, 300 МВт – у 1963-1988 роках та 800 МВт – у 1967-1977 роках. Через високу ціну на газ, українські ТЕС вже більше 30 років використовують його для розпалювання котлів, але не в якості палива. Станом на 01.01.2020 року ТЕС генеруючих компаній налічують 75 енергоблоків

встановленою потужністю 21 562 МВт, з них 68 вугільних блоків потужністю 16962 МВт, в тому числі шість блоків в консервації та 1 блок в реконструкції [35].

Згідно з Енергетичною стратегією України (ЕСУ) на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», що була схвалена Урядом у 2017 році (розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. за № 605-р) та в якій визначено цілі й завдання реформування енергетичного сектору, Україна не готова відмовлятися від вугільних ТЕС. Хоча водночас планується поступове зменшення частки викопного палива в енергетичному балансі країни. Відповідно до положень ЕСУ у 2034 році має залишитися лише 43 енергоблоки [33].

## **1.2 Аналіз відповідності вітчизняного законодавства вимогам Європейського союзу у секторі енергетичної політики та охорони атмосферного повітря**

Протягом останніх років світова спільнота докладала значних зусиль для регулювання, контролю та запобігання викидів ЗР вугільними електростанціями. Дана проблема вже достатньо давно виходить на глобальний рівень, яку багато країн намагається вирішити через імплементацію програм та стратегій. Нині світова практика екологічного регулювання об'єктів енергетики базується на контролі концентрацій хімічних речовин у димових газах та приземному шарі атмосфери (ПША), що відповідно використовується для контролю екологічності ТЕС та визначення їх шкідливого впливу на здоров'я людини [47].

На сучасному етапі екологічна складова національної безпеки України являє собою один із головних факторів як внутрішньої, так і зовнішньої державної політики. Обраний Україною курс на інтеграцію в європейську спільноту ставить перед державою завдання щодо досягнення певних стандартів, зокрема здійснення відповідальної екологічної політики з охорони навколишнього природного середовища та забезпечення якості атмосферного повітря не вище визначених рівнів [37, 59-62].

Протягом останніх 10 років країна підписала та ратифікувала значний перелік міжнародних документів та пішла шляхом імплементації законодавчих актів, спрямованих на зменшення викидів ЗР в атмосферне повітря (у т.ч.) енергетичним сектором з метою зниження негативних впливів на довкілля, забезпечення безпечних умов проживання населення та захисту громадського здоров'я. Основними з них є: «Протокол про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства», «Про затвердження Плану заходів щодо виконання зобов'язань в рамках Договору про заснування Енергетичного Співтовариства» (розпорядження КМУ від 03 серпня 2011 року N 733), «Про виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони» (Постанова КМУ від 25 жовтня 2017 р. № 1106), «Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» (Розпорядження КМУ від 18 серпня 2017 р. № 605-р), «Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок» (Розпорядження КМУ від 08 листопада 2017 р. № 796), «Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері промислового забруднення» (Розпорядження КМУ від 22 травня 2019 р. № 402-р), «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» (Розпорядження КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827) [33, 63-68].

На сьогодні чинна державна політика у сфері охорони атмосферного повітря сформульована в Законі України (ЗУ) «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (ЗУ від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII), яким передбачається виконання ратифікованих міжнародних документів щодо протидії зміні клімату (Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй (ООН) про зміну клімату та Кіотський протокол до даної конвенції, Паризька угода до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату) та поліпшення якості атмосферного повітря (Конвенція про транскордонне забруднення повітря на великі відстані, Віденська конвенція про охорону

озонового шару; Монреальський протокол про речовини, що руйнують озоновий шар; Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі) з метою покращення його якості та посилення реагування на наслідки зміни клімату і досягнення цілей сталого низьковуглецевого розвитку всіх галузей економіки України [69-75].

В рамках Угоди про асоціацію між Україною та ЄС відбувається апроксимація законодавства України до відповідних прав та політик ЄС. Додатком ХХХ до Угоди, глава 6 «Навколишнє природне середовище» розділу V «Економічне і галузеве співробітництво», визначено перелік директив у галузі охорони атмосферного повітря, які необхідно адаптувати, зокрема: Директива № 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи; Директива № 2010/75/ЄС про промислові викиди (всебічне запобігання і контроль забруднень) (переглянута), що стосується промислового забруднення та техногенних загроз та ін. [37, 38, 59, 76].

У 2004 році адаптацію енергетичного законодавства України до законодавства ЄС було визначено одним із пріоритетних завдань згідно з основними положеннями ЗУ «Про Загальнодержавну програму адаптації законодавства України до законодавства ЄС» [77]. Головним документом у колаборації нашої країни з ЄС в секторі енергетики до 2011 року був підписаний 1 грудня 2005 року «Меморандум про взаєморозуміння щодо співробітництва в енергетичній галузі між Україною та ЄС», який встановлював основні принципи стратегії співробітництва між зазначеними сторонами [78]. Заходи консолідації енергоринків містять, серед іншого, необхідність координування екологічних стандартів та стандартів безпеки. Протягом 2005-2015 років було реалізовано 5 дорожніх карт, зазначених у Меморандумі [79]. Саме це дозволило збільшити ступінь інтеграції енергоринків.

У 2010 році Україна ратифікувала «Протокол про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства» (ЗУ від 15.12.2010 № 2787-VI), згідно з яким 01 лютого 2011 року стала повноправним членом даного

Співтовариства та зобов'язалась виконувати вимоги даного Договору, який набрав чинності з 01 липня 2006 року [80-81]. Участь України в європейському Енергетичному співтоваристві передбачає досягнення високих технологічних та екологічних показників роботи теплоенергетики [63]. Згідно з Додатком II до договору всі великі спалювальні установки (ВСУ) повинні після 31.12.2017 р. відповідати вимогам Директиви 2001/80/ЄС про обмеження викидів деяких ЗР у повітря від зазначених вище об'єктів [81, 82].

В Україні регулювання викидів від стаціонарних джерел, до яких відносяться теплові електростанції, здійснюються на підставі нормативів гранично допустимих викидів (ГДВ), які встановлені наказом Мінприроди України від 22.10.2008 р. N 541 «Про затвердження технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт.» [83]. Цим наказом для теплосилових (котельних) установок, що будуть модернізовані чи споруджені заново, врегульовано технологічні нормативи допустимих викидів ЗР, відповідно до Директиви 2001/80/ЄС [82]. Але, зношеність основних фондів енергогенеруючих підприємств, відсутність фінансування, незбалансованість тарифів на електроенергію, кризові явища в паливно-енергетичному комплексі, на жаль, не дозволили розпочати широкомасштабне впровадження проєктів екологічної модернізації ТЕС та теплоелектроцентралей (ТЕЦ) протягом 2008-2014 років [84]. Викиди пилу, діоксиду сірки та оксидів азоту так і залишились вищими за технологічні нормативи, що були прописані у Наказі № 541 [83].

У 2010 році Єврокомісією була затверджена Директива 2010/75/ЄС «Про промислове забруднення (інтегроване запобігання та контроль забруднення), що замінила Директиву 2001/80/ЄС та встановила суворіші ГДВ для SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> та пилу та твердження якої підлягають імплементації у законодавство нашої країни [37, 38]. Згідно з Планом імплементації Директиви 2010/75/ЄС (Розпорядження Кабінету Міністрів України № 371-р від 15.04.2015 р.) нові установки в Україні з 01.01.2018 року мали відповідати її положенням [85]. Зважаючи на високу зношеність

енергоблоків ТЕС України, що не можуть бути вчасно модернізовані, під час 13-ої Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства було прийнято рішення D/2015/07/МС-ЕпС щодо відтермінування в Україні досягнення європейських нормативів викидів від наявних ВСУ до кінця 2028 року із забезпечення скорочення граничних значень викидів діоксиду сірки та пилу, до 31.12.2033 року для оксидів азоту (рис. 1.1.) та збільшення граничного часу експлуатації до 40 тис. годин (замість 20 тис. годин для інших країн-членів) [86, 87].

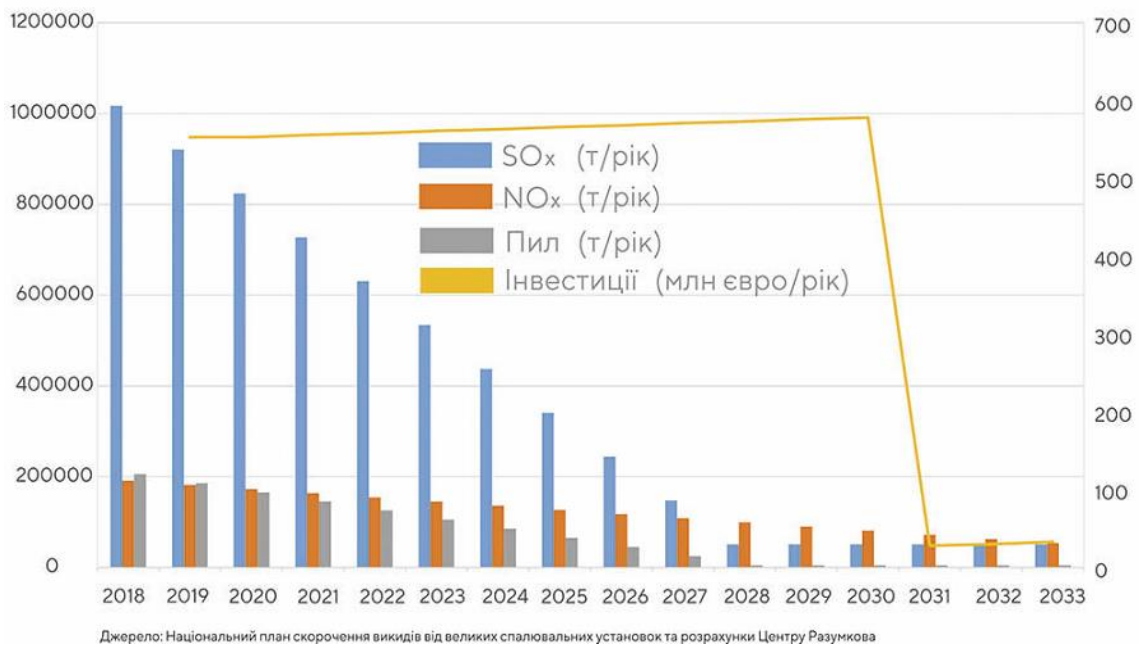


Рисунок 1.1 – Межі валових викидів забруднюючих речовин та обсяг інвестицій згідно з НПСВ

Це рішення стало підґрунтям для розробки Національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок (НПСВ), який був підтриманий урядом у 2017 році (розпорядження КМУ No 796-р від 08.11.2017 р.) [66, 88]. У 2018 році було затверджено план заходів щодо реалізації НПСВ (розпорядження КМУ No 428-р від 13 червня 2018 р.), до якого у 2019 році були внесені зміни до додатків 1-4 (розпорядження КМУ No 597-р від 24 липня 2019 р.) [89, 90]. Серед головних завдань НПСВ було схвалення плану заходів на 2019-2033 роки щодо реконструкції, модернізації, технічного переоснащення та виведення з експлуатації

ВСУ, зазначених у НПСВ [66, 90]. Планувалось, що реалізація заходів розпочнеться у 2019 році та для 1-ї ВСУ триватиме приблизно три роки, а загальна сума коштів, що необхідна для виконання НПСВ у повному обсязі становитиме 6,5 млрд євро [87].

Впровадження НПСВ передбачено не лише Планом заходів з імплементації Угоди про Асоціацію між Україною та ЄС, але й ЕСУ на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [33, 85]. З метою подальшої імплементації положень Директиви 2010/75/ЄС у 2019 році рішенням Уряду схвалено Концепцію реалізації державної політики у сфері промислового забруднення, яка передбачає застосування інтегрованого запобігання, зменшення та контролю промислового забруднення довкілля, а також застосування суб'єктами господарювання найкращих доступних технологій та методів управління і досягнення встановлених, відповідно до них гранично допустимих обсягів забруднення [67]. Найближчим часом передбачається прийняття плану заходів на виконання Концепції. У лютому 2020 р. до Верховної Ради України було подано на розгляд проєкт Закону України за № 3117 «Про запобігання, зменшення та контроль промислового забруднення». Законопроєкт передбачає встановлення правових та організаційних засад запобігання, зменшення, контролю та усунення забруднення, що виникає в результаті промислової діяльності підприємств, які є найбільшими забруднювачами довкілля, в тому числі підприємств у сфері енергетики для забезпечення високого рівня захисту довкілля шляхом впровадження інтегрованого дозволу, визначення видів діяльності, які вимагають інтегрованого дозволу, вимог щодо застосування найкращих доступних технологій та методів управління, моніторингу викидів та контролю суб'єктів господарювання, які отримали інтегрований дозвіл [91].

В цілому державна політика проголошує пріоритети раціонального використання паливних матеріалів, охорони довкілля в рамках енергетичного сектору, забезпечення безпечних для проживання населення умов. Разом з тим, реалізація проєктів з установки газоочисного обладнання, зокрема систем сірко- та



газоочистки, електрофільтрів для уловлювання пилу, будівництво нових потужностей ТЕС та енергоблоків ТЕЦ потребує значних коштів [86, 87, 92]. На сьогодні, на жаль, не визначені можливі джерела фінансування зазначених проєктів, тому НПСВ не виконується у повному обсязі [89, 90]. Викиди від роботи ТЕС перевищують стандарти Директиви 2010/75/ЕС для: оксидів сірки – у 24 рази, оксидів азоту – у шість разів та пилу – у 40 разів [38, 87]. Стає очевидним, що реалізувати НПСВ без залучення іноземних інвестицій неможливо. Недостатнє фінансування не єдина проблема, що стоїть на заваді виконання плану: відсутність належної нормативно-правової бази, невідповідність розрахунків (підвищення витрат на модернізацію та реконструкцію ВСУ) та положень НПСВ реаліям сьогодення (проведення операції Об'єднаних сил на сході країни – у Донецькій та Луганській областях). Невиконання НПСВ може стати причиною припинення функціонування певних енергетичних підприємств, зниження продуктивності та розбалансування енергосистеми, а також невиконання міжнародних зобов'язань [87]. Отже, найближчим часом не варто сподіватися на значне зниження забруднення атмосферного повітря продуктами згоряння органічного палива, насамперед вугілля. Тому, актуальними залишаються проблеми щодо охорони здоров'я населення, яке проживає на територіях зон впливу твердопаливних ТЕО [155, 157].

### **1.3 Оцінка впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення, обумовленого діяльністю теплоенергетичних об'єктів**

Енергетичний сектор є рушієм економічного та соціального прогресу, але він також є найбільшим джерелом забруднення атмосферного повітря. Пріоритетними ЗР, що утворюються при спалюванні викопного палива на ТЕО та завдають шкоду здоров'ю як прямо, так і опосередковано є оксиди азоту, сірки діоксид, пил НДЗС та тверді частки пилу різного аеродинамічного діаметра (менше ніж 2,5 мкм –  $PM_{2.5}$ , менше ніж 10 мкм –  $PM_{10}$ ) [13-21, 31, 39].

За даними Міжнародного енергетичного агентства (ІЕА) у 2015 році вироблення електроенергії спричинило майже третину світових викидів сірки діоксиду ( $\text{SO}_2$ ), 14 % оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) та 5 % твердих часток пилу (PM), що містять як первинні PM, що безпосередньо викидаються з димових труб електростанцій, так і вторинні (головним чином  $\text{PM}_{2.5}$ ), що утворюється в атмосфері в результаті викидів газів-прекурсорів ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ). Слід зазначити, що в енергетичному секторі на вугільні установки припадає понад 90 % викидів  $\text{PM}_{2.5}$  [2].

Хоча, відсоток первинних  $\text{PM}_{2.5}$  досить незначний, але не слід забувати, що велика кількість  $\text{SO}_2$  та  $\text{NO}_x$ , призводить до утворення вторинних твердих часток пилу, що суттєво погіршує якість атмосферного повітря та посилює його вплив на здоров'я населення [47, 106]. Небезпечні забруднювачі повітря, такі як арсен, берилій, кадмій, хром, свинець, манган, нікель, селен та інші метали, а також леткі органічні сполуки (ЛОС), які також безпосередньо викидаються вугільними електростанціями є невід'ємними компонентами  $\text{PM}_{2.5}$  [93, 94]. Вуглецю діоксид, що виділяється при згорянні вугілля, складає 30 % від усіх викидів вуглекислого газу, пов'язаних з енергетикою та є основним рушієм зміни клімату [95]. Слід зазначити, що такі ЗР як  $\text{NO}_x$ , CO та ЛОС, що також викидаються вугільними електростанціями, беруть участь в утворенні тропосферного озону, який є небезпечним для здоров'я людини як при тривалій, так і при короткочасній дії, а також належать до транскордонних ЗР [39, 42, 44, 96-97].

Аналізуючи вищенаведене, за даними ІЕА забруднення атмосферного повітря, пов'язане зі спалюванням викопного палива є головним фактором захворюваності та смертності у всьому світі [2]. Використання вугілля, в тому числі видобуток, транспортування, спалювання та утилізація продуктів спалювання вугілля, мають низку серйозних негативних впливів на здоров'я людини. Середня смертність від вугільної енергетики є однією з найвищих у світі та становить близько 100 000 смертей на 1000 ТВт-год [4]. Відповідно до оприлюднених оцінок в

ЄС у 2013 році вугільні електростанції призвели до 22900 передчасних смертей, 11800 випадків хронічного бронхіту у дорослих, 51700 випадків бронхіту та понад 538 000 нападів астми у дітей внаслідок впливу твердих часток пилу, приземного озону та азоту діоксиду [31].

У 1998 р. Агентство з охорони навколишнього середовища США (Environmental Protection Agency – EPA) представило до Конгресу звіт в якому визначило 67 небезпечних ЗР, що викидаються з вугільних установок. Деякі речовини не є безпосередньо шкідливими, але проходячи хімічні реакції в атмосфері утворюють небезпечні вторинні забруднювачі. Слід зазначити, що на той час до переліку не були включені речовини на які наразі встановлено ліміти викидів, а саме  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  та пил [98].

Зв'язок між спалюванням вугілля та несприятливим впливом на здоров'я було помічено в Дубліні, Ірландія у 1990-х роках [99]. Через збільшення вартості мазуту в 1980-х роках мешканці міста для опалення своїх будинків почали використовувати вугілля. Згодом збільшення госпітальної смертності внаслідок респіраторних захворювань було пов'язано з погіршенням якості повітря. З 1 вересня 1990 року уряд Ірландії заборонив збут, продаж та поширення бітумного вугілля. Наступного року концентрація сажі «black smoke» в атмосферному повітрі знизилася на 70 % ( $35,6 \text{ мкг/м}^3$ ), а смертність від захворювань дихальної системи на 15,5 %, від серцево-судинних захворювань на 10,3 %. Було підраховано, що в поточному році було врятовано близько 450 життів та вдалося запобігти сотням нових випадків респіраторних захворювань. Хоча спалювання вугілля не було єдиною причиною цих захворювань, але виявилось основним фактором в утворенні складної суміші ЗР, що мала негативний вплив на здоров'я людини.

Починаючи з 1970-х років вугільні електростанції вивчались як значні джерела викидів газів-попередників утворення  $\text{PM}_{2.5}$ , значущу частину маси яких складають нітрати та сульфати. В умовах безхмарного та літнього дня газофазне окислення  $\text{SO}_2$  до сірчаної кислоти ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) гідроксильними радикалами (ОН) та

подальша конденсація представляють головний механізм за допомогою якого утворюється  $PM_{2.5}$  [100]. Крім того, у прохолодних нічних умовах виділені оксиди сірки та азоту можуть перетворюватися на вторинні органічні аерозолі в присутності нітратних ( $NO_3$ ) радикалів. Отже, оскільки вугільні електростанції є значним джерелом викидів  $SO_2$  та  $NO_x$  концентрації  $PM$  (головним чином  $PM_{2.5}$ ) у США вважаються надійним маркером викидів вугільних електростанцій. У багатьох промислово розвинених країнах  $PM_{2.5}$  з вугільних електростанцій вносить значний внесок у загальний рівень  $PM$  та чинить чималий вплив на здоров'я населення [101, 102]. Крім того, оксиди азоту є прекурсорами озону [37]. Відповідно до рекомендацій рекомендаціями ВООЗ, саме за кількісним вмістом, вищеперахованих ЗР перш за все, необхідно оцінювати якість атмосферного повітря [103, 104].

Гіпотеза, що пояснює токсичність частинок, які утворюються в результаті згоряння, в цілому, полягає в тому, що вдихання цих частинок викликає запалення через окислювальний стрес і активацію окислювально-відновних факторів транскрипції, що призводить до несприятливих наслідків для здоров'я [105]. На підтримку цієї гіпотези стосовно викидів вугільних електростанцій є те, що у людей, які проводили час в безпосередній близькості від вугільних електростанцій були виявлені підвищені рівні маркерів окисного стресу в крові та окисне пошкодження ДНК [107, 108].

Повітря забруднене викидами вугільних електростанцій може бути причиною виникнення захворювань дихальної системи (бронхіальної астми (БА), рак легень (РЛ)) чи провокувати їх загострення (БА, хронічний бронхіт), а також викликати прогресування наявної хвороби (БА, хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ), емфізема) [109-114].

Забруднене повітря є одним з факторів ризику виникнення астми. Існують епідеміологічні дослідження які доводять, що  $NO_2$ ,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  та озон можуть діяти як тригери та викликати напади БА при наявності у людини генетичної

схильності [109, 110]. Генетичні поліморфізми, які відповідають за контроль запальної реакції або присутність у клітинах вільних радикалів роблять людей більш чутливими до впливу тригерів. Ймовірність розвитку астми в індивідуума залежить від впливу тригера та чутливості людини до нього, тобто комплексної комбінації і взаємодії між генетичними та екологічними факторами [111]. При цьому, викиди  $\text{CO}_2$  прискорюють глобальне потепління, яке збільшує концентрацію у повітрі пилку деяких рослин (наприклад, амброзія) та тим самим сприяє розвитку додаткових нападів астми [115].

Діти найбільш чутливі до дії забрудненого повітря, що пов'язано з незрілістю їх ферментної та імунної систем, які допомагають в детоксикації ЗР у поєднанні з неповним розвитком легень [113]. Діти переважно дихають ротом, тим самим обходячи фільтраційну функцію носових ходів, що дозволяє ЗР проникати в нижні відділи дихальних шляхів. Також, вони більше часу проводять на відкритому повітрі, рівень їх активності вищий у порівнянні з дорослими, що призводить до збільшення концентрацій ЗР на одиницю площі легень і рівня несприятливого впливу на легені, що розвиваються. Не слід забувати, що діти можуть ігнорувати ранні симптоми захворювання, що призводить до його прогресування. При цьому, азоту діоксид та  $\text{PM}_{2.5}$  негативно впливають на розвиток легень, зменшуючи об'єм форсованого видиху у дітей, що надалі може призвести до розвитку інших легеневих захворювань [117]. У проведених у Швеції дослідженнях впливу  $\text{NO}_x$  та  $\text{PM}_{10}$  на дітей у віці від одного до 12-ти років було виявлено, що зв'язок між дією забрудненого повітря протягом першого року життя і ризиком розвитку астми збільшується з віком: RR – 1,48 (95 % CI = 0,85 – 2,57) для  $\text{NO}_x$  та 1,59 (95 % CI = 0,83 – 3,05) для  $\text{PM}_{10}$  в 4 річному віці і 1,87 (95 % CI = 1,01 – 3,44) для  $\text{NO}_x$  та 2,39 (95 % CI = 1,18 – 4,86) для  $\text{PM}_{10}$  у 12-ти річному віці [109]. Звертає на себе увагу дослідження, в якому виявлено збільшення ризику розвитку бронхіальної астми у хлопчиків, які під час вагітності матері в терміні 12-26 тижнів піддавалися впливу забруднення атмосферного повітря [110].

Люди похилого віку, також є чутливою віковою категорією до впливу забруднення атмосферного повітря через поступове зниження фізіологічних процесів, що протікають в організмі людини [118]. Проведені дослідження в Онтаріо та Лондоні встановили, що забруднене викидами СО повітря підвищує ризик астми у людей похилого віку [119].

J.L. Peel та співавтори вивчали взаємозв'язок між перевищенням в атмосферному повітрі граничних значень ЗР та відвідуванням відділень невідкладної допомоги при різних респіраторних проблемах, включаючи БА [120]. Вони виявили сильний зв'язок між збільшенням 24-годинних концентрацій  $PM_{10}$ , 1-годинних концентрацій  $NO_2$  та нападами БА, що відбулися через 6-8 днів після піку. Підвищення концентрації озону на 25 ppb у теплі місяці призводило до збільшення госпіталізацій з приводу БА на 2,6 %. В. Ritz, та співавтори повідомили про збільшення ризику смерті від респіраторних причин, включаючи раптову дитячу смерть, пов'язану зі збільшенням концентрації СО,  $PM_{10}$  та  $NO_2$  [121].

Також, ЗР, що викидаються вугільними електростанціями відіграють важливу роль у патогенезі гострих та хронічних захворювань легень. Запалення легеневої тканини є критичним елементом у патофізіології захворювань, викликаних забрудненням повітря. Активні форми кисню, такі як вільні радикали та іони кисню є головними в цьому процесі [122]. Дослідження проведене J.L. Peel та співавторами в Атланті, штат Джорджія, виявило, що при збільшенні  $NO_2$  або СО на одне стандартне відхилення, відвідування відділення невідкладної допомоги з приводу загострення ХОЗЛ збільшується на 2–3 % [122]. F. Dominici та співавтори встановили, що збільшення концентрацій  $PM_{2,5}$  на  $10 \text{ мкг/м}^3$  було пов'язано з підвищенням госпіталізації хворих з ХОЗЛ на 2,5 % (95% CI = 2,1–3,2%) [123].

Дані трьох великих епідеміологічних досліджень показують, що забруднення повітря може бути фактором ризику розвитку раку легень [17, 124, 125]. Перше дослідження було проведено в Каліфорнії з 1977 по 1992 роки серед 6300 дорослих людей, які не палили [126]. Встановлено збільшення раку легень серед чоловіків

при збільшенні озону на 100 ppb (RR = 3,56; 95% CI = 1,35–9,42), а також при значному підвищенні  $PM_{10}$  (RR = 5,21; 95% CI = 1,94–13,99) та  $SO_2$  (RR = 2,66; 95% CI = 1,62–4,39). Різниця між чоловіками та жінками, як вважалося, відбулась через те, що чоловіки перебували під більшою експозицією ЗР. Когортне дослідження проведене в шести містах США протягом 14-16 років (1974-1991 pp.), яке охоплювало 8111 людей віком від 25 до 74 років, встановило зв'язок між забрудненням атмосферного повітря  $NO_x$ ,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $O_3$  та раком легень [124]. Скоригований коефіцієнт смертності для міст з найменшим рівнем забруднення повітря склав 1,26 (95% CI = 1,08-1,47). Американське онкологічне товариство (American Cancer Society) в рамках проспективного дослідження смертності «Профілактика раку II», в якому в 1982 році взяло участь близько 1,2 мільйона дорослих, вивчало залежність між забрудненням атмосферного повітря  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $SO_x$ ,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ , пилом НДЗС, CO,  $O_3$  і смертністю від РЛ. Встановлено, що кожне підвищення  $PM_{2,5}$  на  $10 \text{ мкг/м}^3$  було пов'язано зі збільшенням смертності на 8 % [17].

Забруднення атмосферного повітря не тільки впливає на виникнення патології дихальної системи, але й збільшує ризик госпіталізації та смертності, що пов'язані з серцево-судинною патологією [101, 118, 122, 126-131, 135]. Водночас моніторингові та епідеміологічні дослідження проведені в багатьох країнах світу доводять, що численні негативні ефекти для здоров'я спричиняються саме забрудненням атмосферного повітря твердими частками пилу [17-20, 100,107, 111, 212, 218, 258, 261].  $PM_{2,5}$ , які утворюються під час спалювання вугілля, при вдиханні досягають альвеол і можуть: поглинатися макрофагами з подальшим стимулюванням запального процесу та імунної системи, поглинатися дендритними клітинами з подальшим стимулюванням імунної системи, або проникають через судинну стінку та з током крові розносяться в інші органи та системи. Запальні реакції призводять до порушення рівноваги вегетативної нервової системи та можуть потенціювати серцеві аритмії, такі як шлуночкова фібриляція та фібриляція

передсердь. Запалення та оксидативний стрес є важливими елементами у виникненні та розриві атеросклеротичних бляшок у коронарних та церебральних артеріях та можуть призвести до інфаркту міокарда чи ішемічного інсульту [126-129]. Збільшення в'язкості крові також збільшує ризик інфаркту серця або мозку [18, 130-132].

Дослідження проведене F. Dominici зі співавторами у 204 округах США із загальною кількістю 11,5 млн досліджуваних, які жили в середньому в 5,9 милі від станцій моніторингу твердих часток пилу встановили, що підвищення  $PM_{2.5}$  на  $10 \text{ мкг/м}^3$  призвело до збільшення випадків госпіталізації з приводу застійної серцевої недостатності на 1,28 % (95 % CI = 0,78–1,78), порушення серцевого ритму на 0,57 % (95 % CI = 0,01–1,15), ішемічної хвороби серця (ІХС) на 0,44 % (95 % CI = 0,02–0,86) [123]. Водночас найбільша кількість госпіталізацій спостерігалась на північному сході США, де розташовано найбільша кількість електростанцій, що працюють на вугіллі. В епідеміологічних дослідженнях, в яких використовувалися дані 798 учасників без шкідливих звичок і хронічних захворювань, було показано, що тривале забруднення атмосферного повітря  $PM_{2.5}$  сприяло виникненню атеросклерозу, особливо в осіб похилого віку [133].

Також, було проведено кілька досліджень, в яких порівнювали реакцію на забруднення атмосферного повітря  $PM_{2.5}$  серед людей з серцево-судинними захворюваннями та відносно здоровими. Встановлено, що люди з даною патологією більш чутливі до збільшення концентрації зважених часток пилу в повітрі. Виявлено, що асоціація між проявом вегетативної дисфункції та впливом  $PM_{2.5}$  сильніше у людей з ішемічною хворобою серця, гіпертонією та цукровим діабетом [134]. Ризик розвитку серцево-судинних захворювань стає вище при збільшених концентрації РМ в повітрі та наявності у пацієнтів шкідливих звичок (куріння) та інших супутніх хронічних захворювань (цукровий діабет 2 типу) [135-137].



К. Katsouyanni та співавтори повідомили про короткострокові ефекти  $PM_{10}$  на здоров'я населення 29 європейських міст із загальною кількістю населення понад 43 млн. Дослідження тривало близько 5 років та встановило, що при підвищенні концентрації  $PM_{10}$  на  $10 \text{ мкг/м}^3$  відзначалося зростання добової кількості смертей на 0,6 % (95 % CI = 0,4–0,8) [138]. Також було встановлено, що в містах з високою концентрацією  $NO_2$  рівень смертності був приблизно в чотири рази вище. У іншому когортному дослідженні С.А. Роре зі співавторами встановили, що збільшення концентрації  $PM_{10}$  на  $10 \text{ мкг/м}^3$  було пов'язано зі збільшенням ризику смерті від серцево-судинних та легневих причин на 6 % [18].

Ті ж патофізіологічні механізми, які впливають на коронарні артерії та викликають інфаркт міокарда стосуються також артерій, які живлять мозок: стимуляція запальної реакції у судинах головного мозку, що призводить до утворення атеросклеротичної бляшки, розриву та оклюзії артерій, оксидативний стрес, зміни в'язкості крові. Крім того, аритмія може викликати мінущі скорочення серцевого викиду і викликати гіперперфузію головного мозку. Проведені дослідження показали кореляцію між забрудненим повітрям і гострими інсультами. Ф. Домінісі зі співавторами повідомили про збільшення на 10,8 % рівня госпіталізації з приводу порушення мозкового кровообігу (95% CI = 0,31–1,32) при зростанні концентрацій  $PM_{2,5}$  на  $10 \text{ мкг/м}^3$ . Ця залежність була найбільш вираженою на сході США, де найбільше електростанцій, що працюють на вугіллі [123]. Інші науковці оцінили зв'язок між щоденними рівнями  $PM_{10}$ , CO,  $NO_2$ ,  $SO_2$  та госпіталізацією з приводу ішемічного та геморагічного інсультів серед людей віком 65 років та вище в 9 містах США. Що стосується ішемічного інсульту, то збільшення  $PM_{10}$  в інтерквартильному інтервалі було пов'язано зі збільшенням числа випадків госпіталізації на 1,03 % (95% CI = 0,04–2,04) того ж дня. Аналогічні результати спостерігалися для CO,  $NO_2$  і  $SO_2$ . При цьому, між геморагічним інсультом та жодною ЗР зв'язок не було відзначено [139]. У чотирирічному дослідженні Y.C. Hong зі співавторами вивчали зв'язок між забруднювачами

повітря та виникненням інсультів та смертності від них у Кореї, Гонконгу та ін. містах. Автори повідомили про збільшення смертності від інсульту на 1,5 % (95 % CI = 1,3-1,8 %) та на 2,9 % (95 % CI = 0,3-5,5 %) для кожного інтерквартильного інтервалу збільшення концентрації  $PM_{10}$  і озону, відповідно, того ж дня. Смертність від інсульту також збільшувалася на 3,1 % (95 % CI = 1,1-5,1 %) для діоксиду азоту, на 2,9 % (95 % CI = 0,8-5,0%) для діоксиду сірки та на 4,1 % (95% CI = 1,1-7,2%) для оксиду вуглецю з дводенним лагом для кожного збільшення інтерквартильного інтервалу в моделях з одним забруднювачем. Було виявлено, що вплив  $PM_{10}$  на смертність від інсульту істотно відрізняється в підгрупах за віком і статтю, літні люди та жінки більшою мірою схильні до впливу твердих часток пилу [140].

S.S. Tsai та ін. досліджували зв'язок між госпіталізацією з приводу інсульту і забрудненим атмосферним повітрям в м. Гаосюн, Тайвань. З 1997 по 2000 рік було зареєстровано 23179 випадків інсульту. У моделях з однією ЗР в теплі дні (температура  $\geq 20$  °C) були виявлені значні позитивні асоціації між рівнями  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$  й  $O_3$  та первинними інсультами (геморагічним та ішемічним). У прохолодні дні (температура  $< 20$  °C) тільки рівні  $CO$  та кількість випадків ішемічного інсульту були значно пов'язані. Для моделей з двома ЗР спостерігалась значна кореляція між  $PM_{10}$ ,  $NO_2$  та інсультом, як ішемічним (для  $PM_{10}$  RR = 1,54; 95 % CI = 1,31-1,81 %; для  $NO_2$  RR = 1,56; 95 % CI = 1,32-1,84 %;), так і геморагічним (для  $PM_{10}$  RR = 1,46; 95 % CI = 1,32-1,61 %; для  $NO_2$  RR = 1,55; 95 % CI = 1,40-1,71 %) [141].

Що стосується досліджень впливу  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  на причини виникнення цукрового діабету, то на сьогодні існує безліч науково доведених фактів. Нині цукровий діабет 2 типу стає одним з найпоширеніших захворювань у світі [142, 143]. За прогнозами Міжнародної Діабетичної асоціації рівень захворюваності на цукровий діабет 2 типу (ЦД2) до 2030 року зросте до 552 мільйонів [144]. Цукровий діабет 2 типу характеризується розвитком важких ускладнень, які призводять до часткової чи повної втрати працездатності та передчасної смерті. Встановлено, що

при наявному ЦД2 ризик розвитку серцево-судинної патології в 3-4 рази вище, ніж при його відсутності. Останнім часом з'являється все більше доказів того, що забруднення атмосферного повітря грає велику роль в порушенні метаболізму глюкози та виникнення резистентності до інсуліну і ЦД2 [145]. У дослідженнях проведених в Данії було встановлено, що забруднення повітря  $\text{NO}_2$  збільшує ризик розвитку ЦД2 [146]. Обстеження жителів Онтаріо показало, що при збільшенні концентрації в повітрі  $\text{PM}_{2.5}$  на  $10 \text{ мкг/м}^3$  зростає ризик розвитку ЦД2 ( $\text{RR} = 1,11$ ; 95 %  $\text{CI}$ : 1,02, – 1,21) [147]. У дослідженнях Liu та ін. показано, що підвищення концентрації  $\text{PM}_{2.5}$  в повітрі призвело до порушення гомеостазу глюкози, дисбалансу рівня лептину, а також до розвитку ЦД2 [148]. У роботах E.V. Balti та співавторів встановлено, що загальний ефект від виникнення ЦД2 було статистично значимо для  $\text{NO}_2$  і  $\text{PM}_{2.5}$  [149].

Отже, значна кількість наукових робіт, а також статистичні дані, свідчать про те, що теплоенергетичні об'єкти, які працюють на вугіллі є одним з головних факторів ризику виникнення НІЗ та смертності, насамперед від  $\text{PM}_{2.5}$ . Зважаючи на зношеність основних фондів енергогенеруючих підприємств України та неможливості їх модернізації у необхідному обсязі, актуальним залишається питання пошуку підходів та інструментів для оцінки негативного впливу ТЕО на здоров'я людини [157].

#### **1.4 Інструменти оцінки якості атмосферного повітря та його впливу на здоров'я населення в країнах Європи та США**

Забруднення атмосферного повітря, не лише в Україні, але й в багатьох країнах світу являє собою потенційну небезпеку для здоров'я населення. Поширення шкідливого впливу від спалювання вугілля не обмежується зоною поблизу електростанції та може мати локальний (<50 км), регіональний (від 50 до 500 км) та навіть, глобальний масштаб [150, 151].

Охорона та оцінка якості атмосферного повітря спрямована на його захист вирішується за допомогою впровадження певних управлінських заходів природоохоронного та медико-екологічного спрямування, а саме шляхом: розроблення законодавства та політики щодо управління викидами; моніторингу забруднення атмосферного повітря; впровадження та розроблення регіональних цілей щодо якості повітря; регулювання та видачі дозволу на викиди ЗР в атмосферне повітря.

На сьогодні, Європейська комісія розробила та встановила Директиви щодо якості повітря як інструмент зменшення забруднення атмосферного повітря, що призвело до покращення його якості. Але попри це, значна частина населення в міських районах все ще зазнає впливу концентрації ЗР, що перевищують граничні значення ЄС, а тим паче рекомендовані ВООЗ [152].

В Україні гігієнічна оцінка та токсичність викидів ЗР, які надходять в атмосферне повітря від суб'єктів господарювання, визначається за допомогою критеріальних підходів оцінок встановлення перевищень гранично допустимих концентрацій (ГДК): максимально разових (ГДК<sub>м.р.</sub>) та середньодобових (ГДК<sub>с.д.</sub>) у ПША населених місць. Крім того, в деяких ситуаціях використовується таке поняття як гранично допустимий викид (обмежують масову концентрацію ЗР в організованих викидах стаціонарних джерел) в організованих викидах стаціонарних джерел) та технологічні нормативи допустимих викидів (ТНДВ) ЗР (обмежують масову концентрацію ЗР у газах, які відводяться від окремих типів обладнання, споруд у місці їх виходу з устаткування), що становлять собою науково-технічний норматив, встановлений за умови, що вміст ЗР у ПША від джерела або їх сукупності, з урахуванням можливості розвинення промислових підприємств, не перевищував би нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря та ГДК в атмосферному повітрі для людей та об'єктів довкілля [153, 154, 233].

Зважаючи на те, що велика кількість промислових підприємств не має можливості швидко досягти рівнів викидів, що відповідають європейським

нормативам, розробка поточних та перспективних ТНДВ безумовно необхідна для нашої країни. Наразі зазвичай розроблення ТНДВ проводилося без застосування оцінки ризику для здоров'я населення, що проживає в зоні впливу підприємства, а це суперечить зобов'язанням країни щодо здійснення заходів, які спрямовані на запобігання негативного впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення.

Аналізуючи вищезазначене, наявна система гігієнічної оцінки забруднення атмосферного повітря та його впливу на здоров'я населення, обумовленого викидами різних підприємств (зокрема ТЕО) потребує удосконалення шляхом адаптації та пошуку сучасних методичних підходів заснованих на ймовірнісних підходах та оцінках, проведених на підставі епідеміологічних досліджень. Одним з таких методичних підходів є методологія оцінки ризику для здоров'я населення (МОРЗН), що розроблена та рекомендована ЕРА та широко використовується у багатьох країнах світу для вирішення завдань щодо оцінки характеру та ймовірності несприятливих наслідків для здоров'я людей, які зазнають або можуть зазнати впливу забрудненого атмосферного повітря [8, 23, 156, 160-163].

В рамках виконання наукових досліджень лабораторією гігієни повітря та оцінок ризику у 2015 році було розроблено ТНДВ з використанням МОРЗН. В результаті досліджень були визначені зони ймовірного впливу ЗР від стаціонарних джерел, отримано змодельовані величини усереднених годинних, добових та річних концентрацій ЗР, проведено їх порівняння з референтними концентраціями й гігієнічними нормативами, а також розрахунки ризику для здоров'я населення. Такий підхід дає можливість оцінити ризик для здоров'я експонованого населення від ЗР у разі досягнення певних ТНДВ та робить прозорим прийняття тих чи інших природоохоронних рішень та створює умови для покращення системи територіального управління якістю повітря та здоров'я населення, шляхом мінімальних фінансових витрат.

Водночас у світі розроблено безліч програмних (математичних) комплексів, що засновані на методології та функціях «експозиція-відповідь», встановлених в

ході епідеміологічних досліджень, які є необхідними для оцінок кількісних впливів забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення.

Наразі оцінка ризику для здоров'я від забруднення повітря (air pollution health risk assessment – AP-HRA) включає всебічний аналіз поширення небезпечних речовин у повітрі, потенційний негативний вплив на людину та кількісну оцінку ризику для здоров'я як в окремих вікових групах, так і у населення в цілому, в результаті дії конкретних ЗР. В деяких країнах AP-HRA використовується офіційно як складова частина процесу прийняття рішень для розробки нових програм, проєктів, законодавчих актів і стратегій щодо поліпшення якості повітря. В інших, AP-HRA проводиться в рамках науково-дослідних проєктів [165]. Методика AP-HRA призначена для оцінки ризиків минулих, сучасних чи майбутніх рівнів ЗР у ПША та зміни цих рівнів в результаті цілеспрямованої політики чи іншої зміни якості повітря [166, 167]. Результати AP-HRA можуть бути використані в економічній оцінці переваг для здоров'я людини (аналіз витрат та вигод) від перегляду політики, а також для поліпшення заходів політики, наприклад для введення більш суворих стандартів якості повітря. Слід зазначити, що лише деякі інструменти AP-HRA дають можливість провести економічну оцінку [165].

На підставі використання результатів AP-HRA отримують інформацію щодо певних показників стану здоров'я населення, а саме: кількість смертей або випадків захворюваності, зумовлених забрудненням повітря; число втрачених років життя (YLL); кількість років якісного (здорового) життя чи втрачених внаслідок настання непрацездатності або передчасної смерті в результаті захворювання (DALY), зміна очікуваної тривалості життя [168]. Ці показники об'єднують різні типи впливу на здоров'я і можуть бути використані, щоб виділити різні аспекти стану здоров'я населення [169].

Наразі, існують доступні програмні інструменти (Air +, Aphercom, EcoSense, VenMAP-CE, TM5-FASST), в тому числі онлайн, що дозволяють автоматизувати процес проведення AP-HRA. Більшість з них використовують аналогічні підходи спираючись на отримані, шляхом епідеміологічних досліджень функції

«концентрація-ефект» та оцінки експозиції на популяційному рівні, для обчислення частки конкретних наслідків для здоров'я, обумовлених зміною якості повітря. Однак, інструменти розрізняються за багатьма аспектами та фахівцям необхідно вибрати той, який найближче відповідає контексту оцінки [165]. Перед тим, як вибрати інструмент для проведення AP-HRA необхідно визначитися з питаннями політики на які необхідно отримати відповідь, аудиторію, яку необхідно буде проінформувати про ризики, а також з тим, які ЗР будуть включені в оцінку, географічний масштаб і необхідність в тих чи інших даних.

В табл. 1.1 наведено огляд програмних комплексів та інструментів AP-HRA з метою визначення їх технічних та експлуатаційних характеристик [170-176].

Таблиця 1.1

Аналіз програмних комплексів оцінки ризику для здоров'я від забруднення атмосферного повітря (AP-HRA)

Інструмент (розробник)	Географічне охоплення	Просторова роздільна здатність	Забруднююча речовина	Дані, що характеризують експозицію
1	2	3	4	5
<b>AirQ+2.2</b> (BOOZ)	будь-яка популяція з заданими розміром, рівнем смертності та захворюваності	будь-яка	PM <sub>2.5</sub> та PM <sub>10</sub> O <sub>3</sub> та NO <sub>x</sub> BC та хром бенз(апірен) бензол, нікель вінілхлорид	концентрації
<b>Arhekom</b> (Французький інститут епідемічного нагляду за здоров'ям населення)	глобальне (дійсна версія акцентує свою увагу на Європі)	місто	PM <sub>2.5</sub> PM <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	викиди
<b>TM5-FASST</b> (Об'єднаний дослідницький центр Європейської комісії)	глобальне	країна	PM <sub>2.5</sub> O <sub>3</sub> NO <sub>x</sub> SO <sub>2</sub>	викиди
<b>BenMAP-CE</b> (Агентство з охорони довкілля США)	континентальне, США та Китай (інші по рішення користувача)	будь-яка	PM <sub>2.5</sub> PM <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	концентрації

1	2	3	4	5
<b>EcoSense</b> (Університет Штутгарта)	Європа	країна місто	PM <sub>2.5</sub> та O <sub>3</sub> NO <sub>x</sub> та SO <sub>x</sub> CO та арсен хром та ЛОС кадмій нікель діоксини радіонукліди	

Найбільш вживаними у науковій спільноті є AirQ+ та TM5-FASST, які відповідно розроблені ВООЗ та Європейським об'єднаним науковим центром (EU JRC) [171, 176]. AirQ+ – це програмний інструмент для кількісного аналізу впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я, що рекомендований для визначення збитків здоров'ю від забруднення повітря. Даний інструмент дозволяє визначати вплив на здоров'я експонованого населення наступних ЗР: PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> і чорний вуглець. За допомогою AirQ+ можливо проводити оцінку впливу на здоров'я довгострокового та короткочасного забруднення атмосферного повітря; оцінювати вплив забруднення внутрішнього повітря приміщень, пов'язаного з використанням твердого палива. Водночас для розрахунків можуть бути обрані різні медичні наслідки пов'язані зі смертністю та захворюваністю, як з точки зору гострого, так і хронічного стану [177].

Інші представлені у табл. 1.1 моделі також призначені для проведення подібних оцінок, але передбачають аналіз впливу викидів ЗР на здоров'я населення, виключаючи детальні оцінки кількісного впливу забруднення повітря на здоров'я населення на підставі виконання умови функції «концентрація-ефект».

Отже, перший фактор, який необхідно враховувати при виборі інструмента для проведення AP-HRA, це його географічне (просторове) охоплення, яке відрізняється від просторової роздільної здатності, що є ступенем деталізації інструмента. Наприклад, інструмент глобального охоплення може відображати всю країну, певний регіон, місто, або певну територію з прив'язкою до сітки координат. Інструменти, які використовують набори даних про викиди, часто вважаються «спрощеними формами» інструментів, оскільки вони можуть



генерувати широкомасштабні оцінки впливу забруднення повітря, використовуючи тільки вбудовані в програму характеристики ЗР і показники впливу (часто концентрації), отримані за допомогою моделювання якості повітря. Інструменти, в яких використовуються значення концентрацій вимагають, щоб фахівці, які проводять оцінку генерували набори даних концентрацій, що отримані під час моніторингу повітря або шляхом моделювання якості повітря, за межами програми [165]. Для оцінки впливу на здоров'я забруднення повітря використовують дані про чисельність населення, розподіл за віковими групами, вихідний рівень смертності та захворюваності за окремими причинами, які користувач вводить самостійно, попередньо оцінивши чи відповідає цей набір даних контексту оцінки.

Результати аналізу невизначеності, як правило, представляється у вигляді діапазонів, при цьому основна увага приділяється довірчим інтервалам навколо середнього (CI) з ймовірністю 95 %, що являють собою діапазон значень, де з ймовірністю 95 %, знаходиться справжнє середнє [178, 179].

Отже, користувачеві необхідно вибрати інструмент, який найбільше відповідає характеристикам контексту оцінки та забезпечить максимальний ступінь технічної точності в рамках наявних ресурсів. Результати AP-HRA повинні бути представлені разом з довірчими інтервалами, які враховують різні можливі джерела невизначеності у вхідних параметрах.

Що стосується питання оцінок якості повітря для інформування населення, то багато країн світу працюють над цим питанням з метою представлення інформації доступною для громадськості. Ключовим інструментом у цьому напрямку є індекс якості повітря (AQI), який конвертує значення концентрацій досліджуваних речовин, наприклад:  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$  та інші, в єдине число (індекс), яке потім можна використовувати для передачі даних про поточний рівень забруднення атмосферного повітря та потенційний ризик для здоров'я особливо вразливих груп (діти, літні люди та ті, у кого є серцево-судинні та респіраторні захворювання) та всього населення.

Вперше розробку AQI ініціювало Національне управління по боротьбі з забрудненням повітря США (National Air Pollution Control Administration) у 1968 році [180]. Метою було привернути увагу громадськості до проблеми забруднення повітря та опосередковано підштовхнути відповідальних місцевих державних службовців до заходів щодо контролю за джерелами забруднення та підвищення якості повітря в межах своїх юрисдикцій.

З 1976 року EPA почала використовувати індекс під назвою стандартний індекс забруднення (Pollutant Standard Index, PSI) та запропонувала його для використання державам та місцевим органам самоврядування на добровільній основі. Мета полягала в тому, щоб створити певну однорідність серед 14 різних індексів, що використовувались у більш ніж 50 міських районах США та Канаді на той час [181]. Запропонований індекс розраховувався на основі індексів концентрацій п'яти основних ЗР:  $O_3$ ,  $CO$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $PM_{10}$ , що регламентувались національними стандартами якості повітря (National Ambient Air Quality Standards - NAAQS). У 1999 р. PSI був переглянутий та перейменований EPA на AQI та почав включати новий субіндекс  $PM_{2.5}$  [182]. При цьому, EPA визначило граничні значення для конкретних часових шкал обраних забруднювачів для обчислення AQI. Для  $O_3$  граничні значення визначаються за одну та вісім годин, для  $CO$  – за вісімгодин, для  $SO_2$  та  $NO_2$  – за одну годину, для  $PM_{2.5}$  і  $PM_{10}$  протягом 24 годин. Водночас для розрахунку можуть використовуватись концентрації ЗР, що отримані під час моніторингових досліджень або моделювання [183, 184]. На підставі вищенаведеного, було запропоновано, щоб значення меж категорій та індексу визначалися за допомогою спеціальних таблиць. При цьому, розраховане значення AQI знаходиться в діапазоні 0-500 умовних одиниць, шкала розділена на 6 категорій, що вказують на рівень небезпеки атмосферного повітря для здоров'я населення та мають стандартні кольори для полегшення ідентифікації та звітності, а саме: «добрий» (діапазон 0-50), «помірний» (діапазон 51-100), «шкідливий для чутливих груп» (діапазон 101-150), «шкідливий» (діапазон 151-200), «дуже шкідливий» (діапазон 201-300), «небезпечний» (діапазон 301-500).

AQI та його похідні (AQHI, API, DAQI та ін.) використовуються багатьма країнами світу для повідомлення про забруднення повітря. Існують відмінності у виборі ЗР для розрахунку AQI, оскільки окремі країни або юрисдикції намагаються включити речовини, які мають найбільший вплив на здоров'я населення, що там проживає [185]. Більшість країн розраховує AQI для O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> та PM<sub>2.5</sub>. Якщо, концентрації певних ЗР виявляються незначними в конкретній країні, то вони можуть бути виключені з національної моделі AQI. Наприклад, у Канадському індексі якості повітря (AQHI) не враховуються концентрації SO<sub>2</sub> та CO [186]. Також існують відмінності у періодах відбору та усереднення отриманих концентрацій, класифікації категорій; граничних значеннях діапазонів; підходах, що застосовуються (агрегований або комбінований), але при цьому, кожен AQI містить інформацію про якість повітря; потенційні наслідки для здоров'я; категорію населення, що перебуває під загрозою; опис можливих симптомів; рекомендації для зменшення експозиції [183-186].

Загалом, існує три загальні підходи до розрахунку AQI. Найбільш популярний підхід часто називають американською системою. Концентрації для кожної забруднюючої речовини перетворюються у числову шкалу від 0 до 500, з індексом 100, що відповідає первинному національному стандарту якості атмосферного повітря для кожного забруднювача. Такі країни, як Китай, Таїланд, Малайзія, Південна Корея, Тайвань, Гонконг і Макао, розробили свої системи AQI на основі моделі США. Ключовим еталоном цих систем є значення індексу 100, який базується на короткострокових стандартах якості повітря відповідних юрисдикцій, а значення індексу 50 досить часто прив'язане до довгострокових стандартів [187-189].

Аналогічний підхід застосовується і в Австралії, де концентрації ЗР також трансформуються у шкалу. Однак, там використовується лінійна або пропорційна шкала замість нормалізованої шкали (тобто шкала, яка враховує зміну), та індекс потім розраховується прямопропорційно стандартам якості повітря або екологічним цілям [190]. Крім того, шкала, що використовується в Новому

Південному Уельсі, відрізняється від тієї, що використовується у Квінсленді, Вікторії та Аделаїді (у Південній Австралії). У Новому Південному Уельсі значення індексу 50 означає, що концентрація ЗР дорівнює стандартному рівню. Для інших штатів та міст значення індексу 100 має таке ж значення [187].

Третій підхід – об'єднана система «banding system», яка більш популярна в європейських країнах, таких як Великобританія та Франція [191, 192]. Головна відмінність полягає в тому, що замість використання індексної шкали від 0 до 500 використовується шкала від 0 до 10. Для системи Великобританії шкала щоденного індексу якості повітря (Daily Air Quality Index – DAQI) додатково розбивається на чотири категорії ризику: «низький» (1-3), «помірний» (4-6), «високий» (7-9) і «дуже високий» (10) [191]. Нижня межа значення індексу встановлюється відповідно до стандартів якості повітря Великобританії для всіх ЗР ( $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ), крім  $NO_2$ . У цьому випадку 1-годинний національний стандарт для  $NO_2$  становить  $200 \text{ мкг/м}^3$ , тоді як нижня межа значення індексу для  $NO_2$  становить  $267 \text{ мкг/м}^3$  [37]. Канадський уряд використовує індекс якості здоров'я повітря - AQHI (Air Quality Health Index), який також повідомляє про ризики, пов'язані з якістю повітря у шкалі від 1 до 10+ з 4 категоріями ризиків для здоров'я: «низький» (1-3), «помірний» (4-6), «високий ризик» (7-10) та «дуже високий» (10+). AQHI розглядає чотири ЗР:  $O_3$ ,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$  [186, 193].

Європейський Союз у 2006 році в рамках проекту CITEAIR (Common Information to European Air), з метою легкого порівняння якості повітря в європейських містах в режимі реального часу, розробив загальний індекс якості повітря - CAQI (The Common Air Quality Index) [194]. Три різні показники (1-годинна, 24-годинна та річна концентрації) демонструють якість повітря. CAQI обчислюється окремо для фонових умов міста (City Background) та поблизу доріг (Traffic) [195]. Перша версія CAQI розглядала  $O_3$ ,  $PM_{10}$ , CO,  $NO_2$ ,  $SO_2$ , але після перегляду директив про якість повітря та прийняття Директиви 2008/50/ЄС було додано граничне значення для  $PM_{2.5}$  [194]. Для CAQI Traffic основні ЗР:  $NO_2$  та  $PM_{10}$ ; CO та  $PM_{2.5}$  – допоміжні; для фонового індексу міста:  $NO_2$ ,  $PM_{10}$  та  $O_3$  –

основні, а CO, SO<sub>2</sub> та PM<sub>2.5</sub> – допоміжні. Індекс обчислюється за допомогою лінійної інтерполяції між межами діапазонів ЗР і кінцевим індексом, наведеним як найвищий підіндекс розглянутих забруднювачів. Погодинні та щоденні CAQI виражаються з використанням п'ятирівневої шкали з відповідними діапазонами: «дуже низький» (0-25), «низький» (25-50), «середній» (50-75), «високий» (75-100) і «дуже високий» (вище 100). Індeksi відображають максимально можливі граничні рівні ЄС або щоденні граничні значення. З іншого боку, щорічний індекс надає огляд ситуації щодо якості повітря в певному місті протягом року та розроблений з урахуванням довготривалого впливу забрудненого повітря. Річний індекс представлений як порівняння з щорічними стандартами та цілями якості повітря в ЄС. Якщо значення індексу перевищує одиницю, то граничне значення одного або декількох забруднювачів перевищують стандарти ЄС [37].

У 2016 році Ricardo Energy and the Environment підготували кінцевий звіт для Генерального директорату Європейської Комісії (Directorate-General The European Commission) та представили розроблений прототип індексу – EU AQI [196]. Він гармонізує наявні показники якості атмосферного повітря для ключових ЗР. Під час розробки прототипу було переглянуто та проаналізовано 21 індекс якості повітря, в тому числі CAQI. Огляд включав 14 індексів, що використовуються в країнах-членах ЄС та сім – з країн, що не входять до ЄС. Деякі індекси були специфічні для країни, інші для регіону, штату або міста. При розробці EU AQI за мету ставилось зробити його простим у використанні та зрозумілим. Основними ЗР, що входять до EU AQI є: NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, тоді як SO<sub>2</sub> береться до уваги лише за наявності даних. EU AQI визначається шляхом порівняння значення індексу для кожної окремої речовини з урахуванням найгіршого (тобто найвищого) значення індексу та перетворення його в просту кольорову систему на інтерактивній карті, що дозволяє користувачам швидко зрозуміти якість повітря у своїй місцевості. Індекс та його кольорова система базуються на Директиві 2008/50/ЄС та рекомендаціях ВООЗ [37, 96, 102, 103]. У системі-прототипі кожна станція моніторингу має представити значення для кожного з критичних забруднювачів. Якщо значення

відсутні (забруднююча речовина не вимірюється або обладнання відключене), дані заповнюються з модельованих (прогнозних) даних. У листопаді 2017 року Європейське агентство з навколишнього середовища (The European Environment Agency – EEA) анонсувало EU AQI і почало заохочувати його використання для інформування громадськості про якість повітря. EU AQI покликаний доповнити наявні національні показники якості повітря, а не замінити їх [197].

Що стосується України, то для оцінки та аналізу забруднення атмосферного повітря міста в цілому або його районів, зіставлення рівнів забруднення атмосферного повітря, виявлення багаторічних змін та тенденцій використовується Індекс забруднення атмосфери (ІЗА). Цей показник відносний і його значення залежить від концентрації речовини в аналізованій точці, гранично допустимої концентрації та кількості речовин, що забруднюють ПША. Розрахунок ІЗА заснований на припущенні, що при значеннях на рівні ГДК всі шкідливі речовини характеризуються однаковим впливом на людину, а при подальшому збільшенні концентрації ступінь їх шкідливості зростає з різною швидкістю, яка залежить від класу небезпеки речовини. Фактично використовуються два індекси забруднення атмосфери, а саме: ІЗА по кожній речовині та комплексний ІЗА, що враховує забруднення атмосферного повітря сумою речовин. Вважається, що при  $ІЗА < 1$  якість повітря за окремою домішкою відповідає санітарно-гігієнічним вимогам [198]. Для розрахунку комплексного ІЗА попередньо розраховується ІЗА по кожному компоненту з використанням середньорічної або середньомісячної концентрації речовини. Отже, даний показник складно використовувати в системі оперативного контролю стану атмосферного повітря.

Отже, інтегральні показники якості атмосферного повітря застосовуються в багатьох країнах світу як інструменти оперативного інформування населення про рівень забруднення атмосферного повітря та його наслідки для здоров'я, а також створюють передумови розроблення управлінських заходів щодо їх пом'якшення. Застосування різних підходів до розрахунку AQI може призвести до досить

великих відмінностей в отриманих результатах. Саме тому кожна країна має чітко визначити та офіційно регламентувати формулу обчислення AQI та набір категорій, які відповідатимуть рівням небезпеки для здоров'я населення та супроводжуватимуться простими і легко зрозумілими рекомендаціями для населення.

## ВИСНОВОК

Аналізуючи вищевикладене, теплові електростанції, що працюють на вугіллі залишатимуться основними стаціонарними забруднювачами атмосферного повітря в Україні. Це своєю чергою, призводитиме до збільшення неінфекційної захворюваності та передчасної смертності серед населення, яке проживає в зонах неприйняттого ризику, обумовленого впливом забруднення повітря викидами ТЕО. У зв'язку з цим виникає необхідність у пошуку та адаптації сучасних інструментів для кількісної оцінки їх забруднення на здоров'я населення. В першу чергу це стосується твердих часток пилу ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ) та озону, які є основними речовинами, що впливають на здоров'я населення як при тривалій, так і короткочасній дії та досі не визначаються в Україні при проведенні державного моніторингу через відсутність матеріально-технічного забезпечення. Водночас відкритим залишається питанням застосування інтегральних показників визначення якості повітря з метою оперативного інформування населення щодо ризиків для здоров'я, пов'язаних зі шкідливими рівнями ЗР у ПША. Тому дослідження за цим напрямком не втрачають актуальність і потребують подальшого розвитку.

Матеріали даного розділу відображені в таких публікаціях: [155, 156, 157, 159, 164].

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ ТА ОБСЯГИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1 Методичний підхід та програма дослідження

Відповідно до окресленої мети було визначено перелік завдань, вирішення яких дозволило поглибити розуміння щодо небезпеки забруднення атмосферного повітря теплоенергетичними об'єктами, удосконалити методичні підходи та критерії кількісної оцінки їх впливу на здоров'я населення. Таким чином, програма дослідження передбачала вирішення наступних задач:

1. Провести натурні дослідження та вивчити особливості формування забруднення атмосферного повітря в зонах впливу ТЕО.
2. Встановити рівні забруднення атмосферного твердими частками пилу ( $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ ) та озоном.
3. Виконати моделювання поширення ЗР в приземному шарі атмосфери з урахуванням територіальних особливостей розміщення ТЕО та оцінити ризик для здоров'я населення.
4. Провести кількісну оцінку індикаторів здоров'я, обумовлених впливом ТЕО на підставі використання міжнародної програми AirQ+.
5. Визначити індекс якості повітря (AQI), відповідно до міжнародних вимог.
6. Науково обґрунтувати алгоритм кількісної оцінки впливу на здоров'я населення забруднення атмосферного повітря викидами ТЕО.

Під час виконання дисертаційної роботи були використані наступні методи дослідження:

- бібліографічний – аналіз наукової та нормативно-методичної інформації для визначення проблемних питань, що потребують вирішення;
- фізико-хімічні методи (інструментальні дослідження забруднення атмосферного повітря);



- статистичні методи з використанням стандартних пакетів програм для опрацювання даних (StatSoft STATISTICA 10.0 portable, Microsoft® Excel 2019) з розрахунком середніх ( $M$ ), мінімальних ( $\min$ ) і максимальних ( $\max$ ) значень, похибки середньоарифметичного значення ( $m$ ), медіани, середньоквадратичного відхилення ( $\sigma$ ), значень, що відповідали 25-му та 75-му персентилям, коефіцієнту кореляції Спірмана ( $r_s$ );
- методи математичного моделювання (Aermod View, ліцензія ISCA Y0002896 – моделювання забруднення в ПША; AirQ+, версія 2.0 – кількісна оцінка впливу  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  на здоров'я населення);
- оцінка ризику для здоров'я населення (оцінка ризику для здоров'я населення (визначення експериментальних ризиків для індикаторів здоров'я);
- методи міжнародної інтегральної оцінки якості атмосферного повітря (індекс якості повітря – AQI).

Відповідно до поставленої мети та завдань виконання досліджень було проведено серію натурних (індикативних та фіксованих) вимірювань рівнів концентрацій ЗР в зоні впливу теплоенергетичних об'єктів (табл. 2.1): Трипільська ТЕС (Київська область), Теплоелектроцентральної ТОВ «ЄВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ» та Київська ТЕЦ-6 (м. Київ). Статистична обробка результатів отриманих даних та вимірювань була оброблена за допомогою інструментів програмних пакетів EXCEL, STATISTICA 10.0.

Моделювання рівнів забруднення атмосферного повітря викидами Трипільської ТЕС було проведено за допомогою програмного комплексу ISC AERMOD View v.9.4.0 (ліцензія ISCA Y0002896) у 96 вузлах рецепторної сітки розміром  $12 \times 12$  км в картографічній проєкції UTM, референц-еліпсоїд – WGS 84. Основними джерелами інформації щодо характеристики, параметрів та складу викидів ТЕС були використані та проаналізовані наступні матеріали: звіт про проведення інвентаризації викидів ЗР; документи, у яких обґрунтовуються обсяги викидів, для отримання дозволу на викиди ЗР в атмосферне повітря стаціонарними джерелами; ситуаційний та генеральний план розміщення проммайданчика.

Таблиця 2.1

**Обсяг досліджень натурних вимірювань концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі**

№	Назва речовини/ кліматичні показник	Обсяг досліджень
1	2	3
Пересувна медико-екологічна лабораторія		
1	Оксид вуглецю	2017 р.: Київська обл.: 25 точок проб відбору – 4725 вимірів для кожної забруднюючої речовини 2017 р.: м. Київ – 7360 вимірів
2	Діоксид азоту	
3	Діоксид сірки	
4	Озон	
5	Температура повітря, відносна вологість, швидкість і напрям вітру	2017 р.: Київська обл.: 25 точок проб відбору – 4725 вимірів для кожного кліматичного показника
Портативний вимірювач запиленості повітря HAZ-DUST Model EPAM-500		
6	Пил НДЗС	2017 р. 4725 вимірів
Портативний аналізатор зважених часток Portable Fine Dust Monitoring Unit P-DustMonit		
7	PM <sub>10</sub>	2016 р.: 5040 вимірів
8	PM <sub>2,5</sub>	2017 р.: 13500 вимірів для кожної забруднюючої речовини
Стаціонарний пост моніторингу PM <sub>10</sub> та PM <sub>2,5</sub> , м. Київ		
9	PM <sub>10</sub>	2017 р.: 7468 вимірів
10	PM <sub>2,5</sub>	2017 р.: 8149 вимірів

Під час розрахунків рівнів та аналізу ризику для здоров'я експонованого населення, обумовлених викидами твердих часток пилу та пилу НДЗС від

Трипільської ТЕС була використана загальна (класична) процедура МОРЗН, розроблена та рекомендована Агентством США з охорони довкілля та ВООЗ; для кількісних оцінок частки смертей (від РЛ, ХОЗЛ, ІХС, інсульту) та випадків захворюваності на хронічний бронхіт серед дорослих, які пов'язані з тривалою експозицією твердих часток пилу в м. Київ та Київській області – програмний комплекс AirQ +, розроблений регіональним бюро ВООЗ [160, 161, 165, 171, 199, 200].

## **2.2 Методи натурних досліджень визначення концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі**

Гігієнічна оцінка забруднення ПША теплоенергетичними об'єктами проведена шляхом аналізу даних натурних досліджень виконаних за допомогою пересувної медико-екологічної лабораторії, сенсорних приладів (індикативні вимірювання) та стаціонарного посту моніторингу  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  (фіксовані вимірювання) в зоні впливу теплоенергетичних об'єктів: Трипільська ТЕС (Київська область) та Дарницької ТЕЦ-4 ТОВ «ЄВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ». Методи оцінювання рівнів ЗР при проведенні вимірювань, вищевказаного обладнання, відповідають вимогам згідно з Постановою КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827 та Директиви 2008/50/ЄС [37, 201].

**Пересувна медико-екологічна лабораторія** оснащена комплексом газових аналізаторів Horiba (Японія) для визначення:

- оксиду вуглецю – газоаналізатор АРМА-370; діапазон вимірювань  $0...10/20/50/100$  млн<sup>-1</sup>. Принцип дії приладу, заснований на перехресній модуляції потоку і технології поглинання інфрачервоного випромінювання, що дозволяє уникнути складної процедури налаштування оптичного устаткування і забезпечує стабільні та високочутливі вимірювання [202]. В аналізаторі використовується інтерференційно-компенсаційний детектор типу AS. Нульовий газ автоматично генерується каталітичним окисленням аналізованого газу, в результаті чого

відбувається перетворення CO в CO<sub>2</sub>. Це дозволяє знизити вплив інших елементів, що забезпечує отримання точних результатів вимірювань.

- слідів концентрацій NO<sub>x</sub>, NO і NO<sub>2</sub> – газоаналізатор APNA-370; діапазон вимірювань: 0...0,1/0,2/0,5/1 млн<sup>-1</sup>. В аналізаторі використано принцип подвійної перехресної модуляції потоків з використанням хімічної люмінесценції в комбінації з референсним розрахунковим методом [203]. Така конструкція дозволяє використовувати один тип датчика та забезпечує високу чутливість і стабільність результатів вимірювань в безперервному режимі роботи.

- діоксиду сірки – газоаналізатор APSA-370; діапазон вимірювань 0...0,05/0,1/0,2/0,5 млн<sup>-1</sup>. В аналізаторі використано метод УФ-флуоресценції, що діє на принципі, згідно з яким молекули SO<sub>2</sub>, що містяться в пробі газу порушуються ультрафіолетовим випромінюванням та випромінюють характерно флуоресценції в діапазоні від 220 до 420 нм [204].

- озону – газоаналізатор APOA-370, принцип дії – недисперсійна ультрафіолетова абсорбція з модуляцією поперечного потоку в поєднанні з порівняльним методом розрахунку; діапазон вимірювань – від 0 ppm до 0,1/0,2/0,5/1,0 ppm [205]. У приладі використовується незалежний внутрішній пристрій для відбору проб сухим методом для досягнення найвищого рівня чутливості і точності.

**Портативний вимірювач запиленості повітря Con. Tec Personal Dust Monitor** (Італія), призначений для визначення вмісту зважених часток пилу різного аеродинамічного діаметра (PM<sub>10</sub>; PM<sub>2.5</sub>; PM<sub>1</sub>); діапазон вимірювань – 0,001- 1,0 мг/м<sup>3</sup> [206].

**Портативний вимірювач запиленості повітря HAZ-DUST Model EPAM-500** призначений для вимірювання загальної фракції пилу (пил НДЗС), а також PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub>; діапазон чутливості – 0,001-20,0 мг/м<sup>3</sup> [207].

**Стаціонарний пост моніторингу PM<sub>10</sub> та PM<sub>2.5</sub>** в ПША розташований за адресою: м. Київ, вул. Попудренка, 50 на території ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва», на відстані 8 км від центру міста у східному напрямку

у Деснянському районі (50.4593N, 30.6337E). Місце відбору проб відповідає вимогам репрезентативності розташування. Пост оснащений аналізаторами APDA – 371 (HORIBA) та забезпечує автоматичне безперервне вимірювання концентрацій  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  з одногодинним усередненням даних. Прилад використовує принцип бета-випромінювання для визначення масової концентрації в  $mg/m^3$  або  $mcg/m^3$ ; похибка вимірювання складає  $\pm 5\%$  [32].

Концентрації ЗР таких як:  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$  реєструвались в режимі реального часу з 3-х хвилинною фіксацією, пил НДЗС та  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  з 1 хвилинним усередненням результатів у електронному форматі. Відбір проб в кожній точці складав 1 годину, період усереднення отриманих результатів вимірювань визначено відповідно до вимог поставлених задач та чинних гігієнічних нормативів якості повітря. Для  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$ , пилу НДЗС, озону – 1-година. Дослідження  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  проводились впродовж 1 години протягом 3-х послідовностей за добу, що дало можливість оцінити 24-годинну концентрацію. Оцінку рівнів хімічного забруднення приземного шару атмосфери проводили з використанням даних отриманих під час натурних досліджень, шляхом зіставлення рівнів концентрацій з чинними вітчизняними гігієнічними нормативами згідно з наказом МОЗ № 52 від 14.01.2020 р. «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць» та граничними значеннями рекомендованими Директивою 2008/50/ЄС та ВООЗ граничними рівнями [37, 103, 104, 153].

### **2.3 Статистичні методи обробки даних**

Результати досліджень були опрацьовані відповідно до прийомів та формул одномірного аналізу описової статистики, який включає характеристики центральної тенденції (середні величини, медіана, мода, верхній та нижній квартилі), характеристики мінливості (мінімальні та максимальні значення, відхилення).

Для первинної підготовки таблиць використовувався пакет «Microsoft® Excel 2019», для статистичної обробки результатів – StatSoft STATISTICA 10.0 portable. Для кількісних показників первинна статистична обробка містила розрахунок середнього арифметичного ( $M$ ), похибки середнього арифметичного значення ( $m$ ), середньоквадратичного відхилення ( $\sigma$ ), медіани та значень, що відповідали 25-му та 75-му перцентилям (квартілям).

Зважаючи на те, що отриманні дані не відповідали нормальному розподілу, взаємозв'язок між змінними визначався за допомогою коефіцієнта кореляції Спірмена (формула 2.1):

$$r = 1 - 6 \frac{\sum d^2}{n^3 - n}, \quad (2.1)$$

де:  $d^2$  - квадрат різниць між рангами;

$N$  - кількість ознак, які брали участь в ранжируванні.

Алгоритм розрахунку коефіцієнта кореляції рангів:

- 1) замінюють кількісні (або напівкількісні, або якісні) ознаки ряду  $x$  та  $y$  на ранги, ранжуючи при цьому суворо від меншої величини до більшої (або від більшої до меншої на розсуд дослідника);
- 2) визначають умовні відхилення, тобто різницю рангів по кожному рядку  $d = dx - dy$ ;
- 3) зводять умовні відхилення у квадрат;
- 4) визначають суму квадратів умовних відхилень;
- 5) підставляють отримані дані у відому формулу й обчислюють коефіцієнт кореляції [208].

Порівняння середньодобових концентрацій  $PM_{2.5}$ , розрахованих з використанням коефіцієнта співвідношення та визначених за даними моніторингових спостережень, проводили за формулою (2.2):

$$\Delta_{i1} = PM_{2.5iv} - PM_{2.5ir} \quad (2.2)$$

де  $\Delta_{i1}$  - різниця значень концентрацій  $PM_{2.5}$ ,  
 $PM_{2.5iv}$  – зареєстровані (виміряні) значення,  
 $PM_{2.5ir}$  – розраховані значення.

За допомогою лінійної регресії запропоновано модель зв'язку залежності  $PM_{2.5}$  від концентрації  $PM_{10}$ . Точність моделі оцінено на основі значення коефіцієнта детермінації ( $R^2$ ).

Математичне рівняння, яке оцінює лінію простої (парної) лінійної регресії (формула 2.3):

$$Y = bx + a, \quad (2.3)$$

де  $Y$  - залежна змінна,  
 $x$  - незалежна змінна,  
 $b$  - коефіцієнт регресії,  
 $a$  - вільний член рівняння.

Для встановлення відсотку збігів розрахованих значень  $PM_{2.5}$  із зареєстрованими було використано частотний аналіз, результати якого надалі дозволили розрахувати коригувальні коефіцієнти ( $k$ ), що підвищило точність розрахунку окремо для опалювального сезону та міжопалювального періоду.

При цьому, розрахунки коригувального коефіцієнта було проведено за формулою 2.4:

$$k = \text{mean} \left( \frac{PM_{2.5iv}}{PM_{2.5ir}} \right), \quad (2.4)$$

де:  $k$  – коригувальний коефіцієнт,  
 $\text{mean}$  – середнє арифметичне,  
 $PM_{2.5iv}$  – визначені значення концентрацій,  
 $PM_{2.5ir}$  – розрахункові значення концентрацій.

Після визначення коригувального коефіцієнта розрахунок концентрації  $PM_{2.5}$  здійснювали за формулою 2.5:

$$PM_{2.5ir} = (a + PM_{10} * b) * k , \quad (2.5)$$

де:  $PM_{2.5ir}$  – розраховане значення  $PM_{2.5}$  (мкг/м<sup>3</sup>);

$PM_{10}$  – зареєстровані значення  $PM_{10}$  (мкг/м<sup>3</sup>);

$b$  – коефіцієнт регресії;

$a$  – вільний член рівняння регресії;

$k$  – коригувальний коефіцієнт.

## 2.4 Методи математичних (моделювання) досліджень визначення концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі атмосферного повітря

Для оцінки експозиційного навантаження, що формується викидами Трипільської ТЕС, за допомогою моделі розрахунку розсіювання концентрацій ЗР ISC-AERMOD View v.9.3 (Lakes Environmental; ліцензія ISCA Y0002896), було розраховано усереднені 1-, 24-годинні та річні концентрації азоту діоксиду, оксиду вуглецю, сірки діоксиду, пилу НДЗС,  $PM_{10}$ . При оцінці експозиції було оцінено не тільки її рівень (тобто концентрації речовини в ПША), але і фактор часу. У результаті агрегації вище перерахованих параметрів було визначено погодинні значення концентрацій, які просумували з метою отримання усередненої 1-годинної, 24-годинної, річної (залежно від поставленого користувачем завдання) концентрації в кожній рецепторній точці від заданих груп джерел Трипільської ТЕС. Розрахунки проводилися на підставі рівняння, яке описує математичну модель розсіювання викидів ЗР від стаціонарного джерела (модель Гауса) за формулою (2.2), [209-211].

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z-h_s)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+h_s)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}, \quad (2.2)$$

Так, годинна усереднена концентрація обраховується за формулою (2.3):



$$x = \frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-0.5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right], \quad (2.3)$$

де:  $Q$  – величина викиду забруднюючої речовини (маса на одиницю часу);

$H$  – висота джерела викиду (м);

$K$  – коефіцієнт шкали для переведення обрахованих концентрацій в бажані одиниці (по замовчуванню встановлені г/с для  $Q$  та мкг/м<sup>3</sup> для концентрації);

$V$  – вертикальний коефіцієнт;

$D$  – коефіцієнт осідання;

$\sigma_y, \sigma_z$  - стандартне відхилення поперечного та вертикального розподілу концентрацій (м);

$U_s$  – середня швидкість вітру (м/с) на висоті викиду.

Рівняння 2.2-2.3 містять вертикальний коефіцієнт ( $V$ ), коефіцієнт осідання ( $D$ ), параметри розподілу ( $\sigma_y, \sigma_z$ ). Вертикальний коефіцієнт ( $V$ ) відображає вплив підняття джерела над рівнем моря, підняття рецепторної точки, обмеженого перемішування у вертикальному перерізі та осідання під дією сил гравітації часток ЗР (з діаметром більше 0,1 мкм).

Розрахунок було виконано для 25 контрольних точок Київської області. За результатами проведених розрахунків, було побудовано карти розсіювання концентрацій ЗР на території дослідження.

За відсутності даних щодо викиду стаціонарними джерелами Трипільської ТЕС твердих часток пилу, було прийнято рішення визначити їх розрахунковим методом, а саме: для  $PM_{10}$  використовувався рекомендований в літературі перерахунковий коефіцієнт 0,55 від пилу НДЗС, а для  $PM_{2,5}$  розрахований у даному дослідженні коефіцієнт залежності концентрацій  $PM_{2,5}$  від концентрацій  $PM_{10}$ , що дорівнює 0,65 [212-214].

Отримані розрахункові значення усереднених концентрацій ЗР було порівняно з референтними концентраціями за умови гострих ( $RfC_{acute}$ ) та хронічних

( $RfC_{\text{chronic}}$ ) впливів; чинними вітчизняними нормативами – гранично допустимих максимально разових ( $ГДК_{\text{м.р.}}$ ) та середньодобових ( $ГДК_{\text{с.д.}}$ ) концентрацій [138].

## 2.5 Оцінка ризику для здоров'я населення (використання класичних підходів та програмного комплексу AirQ+)

Під час виконання даної роботи була використана класична процедура оцінки ризику для здоров'я населення (Human Health Risk Assessment) та для кількісних оцінок додаткових смертей від раку легень, хронічної обструктивної хвороби легень, ішемічної хвороби серця, інсульту – програмний комплекс AirQ+ [171, 177, 217].

Характеристика ризику розвитку неканцерогенних ефектів здійснювалася відповідно до МОРЗН, яка є найбільш ефективним сучасним підходом до встановлення зв'язку між станом навколишнього природного середовища та здоров'ям населення, шляхом порівняння фактичних рівнів експозиції з безпечними рівнями впливу [160-162].

Для речовин, що не чинять канцерогенний вплив, оцінка ризику проводилася на основі розрахунку коефіцієнта небезпеки (HQ), який є співвідношенням між величиною експозиції та безпечним рівнем впливу (референтна концентрація або ГДК) ( формула 2.4) [215]:

$$HQ = AC/RfC, \quad (2.4)$$

де: HQ – коефіцієнт небезпеки;

AC – усереднена концентрація ( $\text{мг}/\text{м}^3$ );

RfC – референтна (безпечна) концентрація ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ).

Отже, HQ розраховують для короткочасного (гострого) та тривалого (хронічного) впливу ЗР. При HQ рівному або меншому одиниці ризик виникнення шкідливих ефектів у здоров'ї людини – відсутній [199]. При збільшенні HQ підвищується ймовірність розвитку шкідливих ефектів. Якщо HQ, розрахований

для певної ЗР, перевищує одиницю, то прийнято вважати, що ймовірність розвитку негативних проявів з боку здоров'я експонованої людини зростає пропорційно до його значення [162].

Розрахунки індивідуального ризику смерті від  $PM_{10}$  здійснювалися на підставі даних щодо величини експозиції та значення індивідуального коефіцієнта ризику ( $SF$ ), який відображає число додаткових випадків смертей протягом життя (формула 2.5):

$$IRM = LADD \times SF, \quad (2.5)$$

де:  $LADD$  – інгаляційна середньодобова доза протягом життя (мг/(кг×добу));

$SF$  – індивідуальний коефіцієнт ризику для зважених часток пилу розміром менше ніж 10 мкм.

Для оцінки рівнів прийняттого ризику для здоров'я населення, обумовленого забрудненням атмосферного повітря була використана міжнародна класифікація Агентства США з охорони довкілля та ВООЗ, яка базувалася на системі критеріїв прийнятності для неканцерогенних та канцерогенних речовин [161, 162, 216].

Згідно з цими критеріями перший діапазон ризику (індивідуальний ризик протягом життя рівний або менший  $1 \times 10^{-6}$ , що відповідає одному додатковому випадку серйозного захворювання або смерті на один млн експонованого населення) характеризує такі рівні ризику, які сприймаються усіма верствами населення як досить малі, що не відрізняються від звичайних повсякденних ризиків (рівень «de minimas»). Подібні ризики не потребують додаткових заходів щодо їх зниження та їх рівні належать лише періодичному контролю.

Другий діапазон (індивідуальний ризик протягом життя більший за  $1 \times 10^{-6}$  та менший ніж  $1 \times 10^{-4}$ ) відповідає зоні умовно прийняттого (допустимого) ризику. Саме на цьому рівні встановлена більшість закордонних та рекомендованих міжнародними організаціями гігієнічних нормативів для населення в цілому. Рівні придатного ризику належать постійному контролю. В деяких випадках при таких рівнях ризику можуть проводитися додаткові заходи щодо їх зниження.

Третій діапазон (індивідуальний ризик протягом життя більший за  $1 \times 10^{-4}$  та менший ніж  $1 \times 10^{-3}$ ) характеризувався рівнями, які є допустимими для професійних контингентів та недопустимими для населення в цілому. Виникнення такого рівня ризику потребує розробки та проведення планових оздоровчих заходів. Планування заходів щодо зниження ризиків в такій ситуації повинні базуватися на результатах більш поглибленої оцінки різних аспектів наявних проблем та встановленні ступеня їх пріоритетності стосовно інших гігієнічних, екологічних, соціальних та економічних проблем на досліджуваній території.

Четвертий діапазон (індивідуальний ризик протягом життя рівний або більший ніж  $1 \times 10^{-3}$ ) недопустимий ні для безпечного проживання населення, ні для виробничих умов. Даний діапазон позначається як «de manifestis risk» та при його досягненні необхідне проведення екстрених оздоровчих заходів щодо зниження ризику з боку органів влади міста.

Кількісну оцінку ризику для здоров'я як в окремих вікових групах, так й у населення в цілому, в результаті довгострокового забруднення атмосферного повітря  $PM_{2.5}$  та  $PM_{10}$  було проведено з використанням програмного комплексу AirQ+ (версія 2.0), що розроблений Європейським регіональним бюро ВООЗ [171]. Всі розрахунки засновані на методології та функціях «експозиція-відповідь», встановлених в ході епідеміологічних досліджень. Негативний вплив конкретної забруднюючої речовини за конкретний проміжок часу розраховувався з урахуванням відносного ризику, смертності та захворюваності певної популяції [217].

Визначення впливу конкретної ЗР на показник здоров'я засновано на концепції додаткової (атрибутивної) частки (фракції) популяційного ризику (Attributive part – AP), що являє питому частку всіх випадків впливу на здоров'я, яку можна віднести на рахунок досліджуваної експозиції в даній популяції (припускаючи наявність причинно-наслідкового зв'язку між експозицією та досліджуваним параметром здоров'я) для певного проміжку часу та розраховується за формулою 2.6 [218]:

$$AP = \frac{\sum_c ((RR(c) - 1) \times p(c))}{\sum_c RR(c) \times p(c)}, \quad (2.6)$$

де:  $RR(c)$  – відносний ризик впливу на досліджуваний параметр здоров'я при експозиції категорії  $c$ ;

$p(c)$  – частка населення, що піддається експозиції категорії  $c$ .

Відносний ризик (Relative Risk – RR) – це показник, що використовується для оцінки величини зв'язку між експозицією та захворюванням. Він вказує на ймовірність розвитку захворювання в групі людей, які зазнали впливу певного фактора, відносно людей, які не потрапили під його дію. Відносні ризики, пов'язані із забрудненням повітря, як правило моделюються за допомогою лог-лінійної залежності, що описується наступною функцією (формула 2.7).

$$RR = \exp[\beta (X - X_0)], \quad (2.7)$$

де:  $X$  – концентрація забруднюючої речовини ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ );

$X_0$  – пороговий або референтний рівень (фонова концентрація або найнижче значення, що досягнення ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ ));

$\beta$  – ступінь зміни RR при зміні однієї одиниці концентрації  $X$ .

Якщо рівні забруднення повітря не занадто високі (не більше  $40 \text{ мкг}/\text{м}^3$ ), для розрахунків рекомендується використовувати лог-лінійний метод розрахунку відносного ризику (RR). Для певних показників стану здоров'я коефіцієнти відносного ризику зумовлені самою програмою (смертність від хронічної обструктивної хвороби легень, раку легень та ін.), спираючись на результати 13 когортних досліджень [171, 217].

Програмний комплекс AirQ+ пропонує використовувати інтегровану функцію «експозиція-відповідь» (IER – Integrated exposure-response), коли виникає інтерес до причин смертності, експозиції до різних рівнів  $\text{PM}_{2.5}$  (наприклад,  $\text{PM}_{2.5} >$

40 мкг/м<sup>3</sup>) при довготривалому впливі або при відсутності будь-яких регіональних або місцевих значень відносного ризику. IER можна схарактеризувати як статистичну модель розроблену ВООЗ для оцінки ризиків, пов'язаних із забрудненням повітря [219].

Таким чином, за допомогою програмного комплексу AirQ + було визначено атрибутивну частку смертей (у т.ч. від ішемічної хвороби серця, інсульту, хронічного обструктивного захворювання легень, раку легень), що обумовлена середньорічними рівнями забруднення атмосферного повітря РМ<sub>2.5</sub>, що перевищують цільове значення 10 мкг/м<sup>3</sup>, а також поширеність хронічного бронхіту у дорослих та кількість смертей в постнеонатальний період, пов'язаних з впливом РМ<sub>10</sub> на рівні вище 20 мкг/м<sup>3</sup>, як це пропонується у керівництві ВООЗ з якості повітря [217].

Для виконання відповідних обчислень у програмний комплекс AirQ+ були імпортовані наступні дані: чисельність населення м. Київ та Київської області, площа міста/області (847,66/28131 км<sup>2</sup>), народжуваність, смертність серед дорослого населення в розбивці за віком та причинами, як зазначено в 10-й редакції Міжнародної класифікації захворювань (МКБ-10), смертність немовлят у постнеонатальному періоді, захворюваність на бронхіт у дорослих. Дані були отримані на сайті Державної служби статистики України, Міського наукового інформаційно-аналітичного центру медичної статистики та Київського обласного центру медичної статистики департаменту охорони здоров'я Київської обласної державної адміністрації [220-222]. Дані були визначені із рівнем статистичної значущості 95 %.

## **2.6 Методи міжнародної інтегральної оцінки якості атмосферного повітря (індекс якості повітря – AQI)**

Для характеристики якості атмосферного повітря використовувався інструмент AQI запропонований Агентством США з охорони довкілля (EPA AQI)

та Європейським агентством з навколишнього середовища (EU AQI) [183, 184, 197]. Для розрахунків використовувались концентрації твердих часток пилу (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) та озону як одних з найбільш небезпечних ЗР в атмосферному повітрі з точки зору шкідливого впливу на здоров'я людини [16, 223-225]. Аналіз проводився на підставі даних отриманих у м. Києві протягом 2017-2018 років (червень 2017 р. – травень 2018 р.) на стаціонарному пості спостережень РМ (середньодобові концентрації PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) та влітку 2017 р. за допомогою мобільної медико-екологічної лабораторії (1-годинні та 8-годинні концентрації O<sub>3</sub>). Фіксовані вимірювання здійснювалися із застосуванням стандартних методів, що зазначені в Директиві 2008/50/ЄС [37].

EPA US та його регіональні підрозділи на регулярній основі розраховують та публікують AQI, що передбачено діючими нормативними актами. Обчислення індексу EPA AQI для певної речовини проводиться за формулою (2.8) [182-186]:

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{VR_{Hi} - VR_{Lo}}(C_p - VR_{Lo}) + I_{Lo}, \quad (2.8)$$

де:  $I_p$  – значення індексу забруднення;

$C_p$  – усереднена концентрація забруднюючої речовини;

$VR_{Hi}$  – межа інтервалу, більша або рівна  $C_p$ ;

$VR_{Lo}$  – межа інтервалу, менше  $C_p$ ;

$I_{Hi}$  – значення AQI, відповідне  $VR_{Hi}$ ;

$I_{Lo}$  – значення AQI, відповідне  $VR_{Lo}$ .

Отримане значення округлюють до цілого числа та порівнюють зі шкалою індексу AQI (від 0 до 500), що містить кілька інтервалів у залежності від ступеня впливу різних концентрацій даних речовин на здоров'я людини, а також систему колірних позначень кожного рівня забруднення (табл. 2.2) [183, 184].

Таблиця 2.2

**Значення EPA AQI в залежності від вмісту твердих часток пилу  
(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) та озону в атмосферному повітрі**

AQI рівень (діапазон)	O <sub>3</sub> (ppm)	PM <sub>2.5</sub> (мкг/м <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (мкг/м <sup>3</sup> )
	8-год.	24-год.	24-год.
<b>Добрий (0 – 50)</b>	0,000–0,054	0,0–12,0	0–54
<b>Помірний (51-100)</b>	0,055–0,070	12,1–35,4	55–154
<b>Шкідливий для чутливих груп (101-150)</b>	0,071–0,085	35,5–55,4	155–254
<b>Шкідливий (151-200)</b>	0,086–0,105	55,5–150,4	255–354
<b>Дуже шкідливий (201-300)</b>	0,106–0,200	150,5–250,4	355–424
<b>Небезпечний (301-500)</b>	≥*	≥250,5	≥425

Примітка: \* – при використанні 8-год, значення O<sub>3</sub> значення AQI не перевищує 301

Європейський індекс якості повітря, який відповідає визначенню ЕЕА, встановлювався шляхом порівняння отриманих рівнів концентрацій PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> (24-годинних) та озону (1-годинних) з діапазонами концентрацій зазначеними у таблиці 2.3. Для кожної ЗР значення рівня індексу варіювало від одиниці («добрий») до шести («надзвичайно поганий») [226].

Таблиця 2.3

**Значення European AQI в залежності від вмісту твердих часток пилу  
(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) та озону в атмосферному повітрі, мкг/м<sup>3</sup>**

AQI рівень (діапазон)	O <sub>3</sub> (1-год.)	PM <sub>10</sub> (24-год.)	PM <sub>2.5</sub> (24-год.)
<b>Добрий (0-25)</b>	0-50	0-20	0-10
<b>Задовільний (25-50)</b>	50-100	20-35	10-20
<b>Помірний (50-75)</b>	100-130	35-50	20-25
<b>Поганий (75-100)</b>	130-240	50-100	25-50
<b>Дуже поганий (100-125)</b>	240-380	100-150	50-75
<b>Надзвичайно поганий (&gt; 125)</b>	380-800	150-1200	75-800



Загальний щоденний AQI визначався за алгоритмом запропонованим ЕЕА. Серед індивідуальних індексів  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  та  $O_3$  визначалося найвище значення, яке надалі приймалося за рівень загального щоденного індексу якості повітря.

Матеріали даного розділу відображені в таких публікаціях: [211].

## РОЗДІЛ 3

### ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА ТА АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ ТРИПІЛЬСЬКОЇ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

#### 3.1 Натурні дослідження забруднення атмосферного повітря в зоні впливу Трипільської ТЕС

За даними екологічного паспорта Київської області викиди ЗР в атмосферне повітря від Трипільської ТЕС ПАТ «Центренерго» (розташованої за адресою: Україна, 08720, Київська область, Обухівський р-н, м. Українка) у 2016 р. (2017 р.) склали понад 76 % (48 %) від викидів усіх стаціонарних джерел області та становили 74713,338 т (23275,115 т) за рахунок: речовин у вигляді твердих суспендованих частинок недиференційованих за складом – 27765,946 т (9638,157 т), сполук азоту – 7512,926 т (1799,518 т), діоксидів та інших сполук сірки – 7512,926 т (11695,865 т), оксиду вуглецю – 372,465 т (118,446 т) та інші [227, 228]. При цьому, зменшення викидів було обумовлено нестабільною роботою ТЕС.

Пілотне дослідження забруднення атмосферного повітря  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  було проведено у весняно-літній період (квітень-липень) 2016 р. у 7 контрольних точках (КТ: А-Г) м. Українка [229]. Реєстрація концентрацій у режимі реал-тайм проводилися кожну хвилину протягом однієї години тричі на добу (08.00-09.00; 13.00-14.00; 18.00-19.00), що дало можливість оцінити отримані результати та зіставити їх з критеріями оцінки якості повітря рекомендованими Директивою 2008/50/ЄС (для  $PM_{10}$  – 50 мкг/м<sup>3</sup>) та ВООЗ (для  $PM_{10}$  – 50 мкг/м<sup>3</sup>;  $PM_{2.5}$  – 25 мкг/м<sup>3</sup>) при 24-годинному періоді усереднення [37, 96, 102, 103].

Аналіз отриманих концентрацій встановив неоднорідність забруднення атмосферного повітря твердими частками пилу в м. Українка. Усереднені концентрації  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  перевищували граничні значення рекомендовані Директивою 2008/50/ЄС та ВООЗ у трьох точках для кожної забруднюючої речовини та становили ( $M \pm m$ ): в точках А та Е для  $PM_{10}$  –  $61,6 \pm 7,8$  та

66,7±7,2 мкг/м<sup>3</sup> відповідно; для РМ<sub>2,5</sub> – 38,7±2,8 та 46,7±2,7 мкг/м<sup>3</sup>; в точці В для РМ<sub>2,5</sub> – 28,8±3,4 мкг/м<sup>3</sup>; в точці G для РМ<sub>10</sub> – 51,1±5,2 мкг/м<sup>3</sup> (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

**Середньодобові концентрації РМ<sub>10</sub> та РМ<sub>2,5</sub> в атмосферному повітрі  
м. Українка (квітень-липень 2016 р.)**

Шифр точки	РМ <sub>10</sub> , мкг/м <sup>3</sup>			РМ <sub>2,5</sub> , мкг/м <sup>3</sup>		
	min	Max	M±m	min	Max	M±m
A	21,5	89,1	61,6±7,8	14,9	40,9	38,7±2,8
B	38,7	73,6	44,9±6,8	27,0	30,4	28,8±3,4
C	12,2	20,2	15,4±1,5	4,1	7,0	4,3±0,6
D	13,4	23,1	17,2±1,9	2,3	5,1	4,2±0,5
E	60,3	89,1	66,7±7,2	45,3	47,5	46,7±2,7
F	10,3	14,0	11,4±0,7	10,4	16,1	12,3±1,1
G	39,7	71,8	51,1±5,2	21,1	26,7	24,03±1,1

Найвищі рівні концентрацій РМ спостерігались у КТ, що були наближені до Трипільської ТЕС (А та В), золовідвалу ТЕС (G) та перехрестя (Е). Рівні середніх концентрацій в м. Українка становили для РМ<sub>10</sub> – 39,0 мкг/м<sup>3</sup> (в діапазоні від 11,0 до 67,0 мкг/м<sup>3</sup>); РМ<sub>2,5</sub> – 23,0 мкг/м<sup>3</sup> (в діапазоні від 4,0 до 47,0 мкг/м<sup>3</sup>) [229].

Отримані дані стали підґрунтям для проведення подальших досліджень забруднення атмосферного повітря Трипільською ТЕС. Загальновідомо, що концентрації ЗР у ПША поблизу високих джерел викидів, які характеризуються високими температурами виходу газоповітряної суміші є досить низькими. Концентрація збільшується та досягає максимуму на деякій відстані від джерела, яка залежить від потужності викиду, висоти труби, температури та швидкості газів, що викидаються, а також від метеорологічних умов. Чим вище джерело викиду, тим більше розсіюються домішки в атмосфері [230, 231]. Враховуючи розділ 1.4 РД 52.4.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» та п.2.10 «Інструкції про загальні вимоги до оформлення документів, у яких обґрунтовуються обсяги викидів, для отримання дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами для підприємств, установ,

організацій та громадян-підприємців» (затвердженої Наказом № 108 від 09.03.2006 р. Міністерства охорони навколишнього природного середовища України), максимально можлива зона впливу викидів ЗР речовин Трипільської ТЕС, виходячи з умови 40 висот найвищого джерела викиду (180 м), становитиме – 7200 м [232, 233]. Однак відомо, що викиди в атмосферне повітря від вугільних ТЕО можуть поширюватися на більш далекі відстані долаючи кордони країни.

Таким чином, у буферну зону впливу підприємства потрапляє 9 населених пунктів, тому було вирішено провести натурні дослідження визначення рівнів забруднення атмосферного повітря пріоритетними хімічними речовинами, що входять до складу викидів Трипільської ТЕС у 25 контрольних точках (КТ: А-Г – м. Українка; Н-Л – м. Обухів; Р-У – с. Трипілля; М, Х – с. Дерев'яна, N – с. Красне перше, О – с. Щербанівка, Т – с. Халеп'я, U – с. Жуківці, V – с. Таценки та W – с. Плюти) (рис. 3.1).

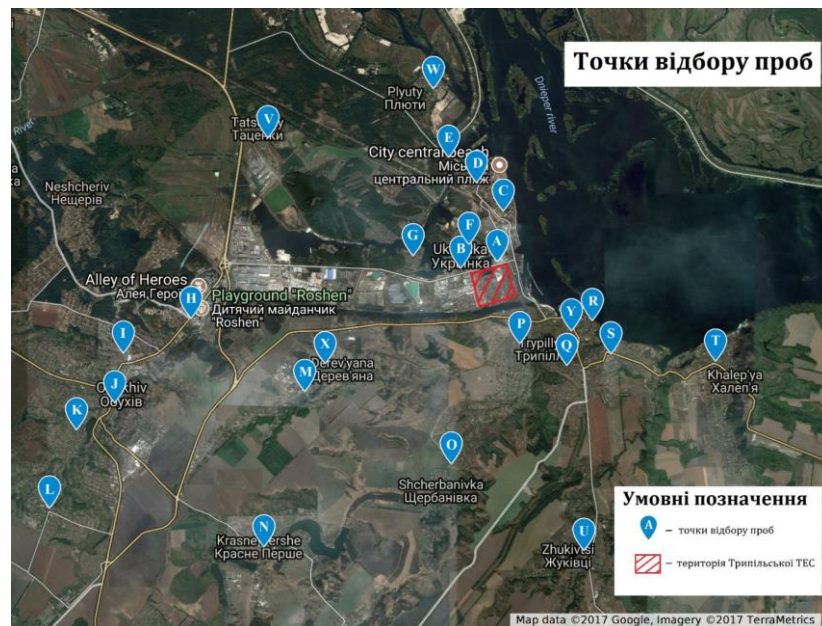


Рисунок 3.1 – Розташування контрольних точок вимірювань концентрацій забруднюючих речовин в зоні впливу Трипільської ТЕС (2017 р.)

Вибір дизайну проведення інструментальних досліджень був обумовлений метеорологічними та топографічними особливостями досліджуваних територій, що впливають на характер просторового розподілу ЗР у ПША та особливостями

розташування житлової забудови в зоні функціонування Трипільської ТЕС. Координати точок індикативних вимірювань було визначено за допомогою GPS навігатора та нанесено на електронну карту території дослідження у середовищі ArcMap 10.1 (табл. 3.2) [234].

Таблиця 3.2

**Перелік контрольних точок дослідження**

№ п/п	Шифр точки	Координати (UTM), м		Прив'язка	
		X	Y	Населений пункт	Відстань від джерела забруднення, м
1	2	3	4	5	6
1.	A	338310,42	5556146,55	Українка	388
2.	B	339316,11	5557404,91	Українка	770
3.	C	338724,99	5558066,60	Українка	1531
4.	D	338108,20	5558664,38	Українка	2193
5.	E	338511,86	5556676,67	Українка	2921
6.	F	337243,98	5556456,52	Українка	945
7.	G	338310,42	5556146,55	Українка	1892
8.	H	332167,51	5555198,32	Обухів	6909
9.	I	330610,51	5554460,56	Обухів	8550
10.	J	330375,23	5553343,64	Обухів	9032
11.	K	329491,91	5552757,84	Обухів	10049
12.	L	328819,89	5551007,83	Обухів	11333
13.	M	334695,41	5553466,12	Дерев'яна	4980
14.	X	335169,65	5554091,63	Дерев'яна	4274
15.	N	333659,47	5549973,02	Красне перше	8001
16.	O	337961,38	5551721,66	Щербанівка	4308
17.	P	339599,57	5554400,47	Трипілля	1600
18.	Q	340650,13	5553872,05	Трипілля	2577
19.	R	341254,71	5554871,82	Трипілля	2446

1	2	3	4	5	6
20.	S	341657,07	5554107,23	Трипілля	3160
21.	Y	340774,18	5554648,24	Трипілля	2136
22.	T	344020,48	5553870,92	Халеп'я	5381
23.	U	340909,55	5549675,20	Жуківці	6495
24.	V	334037,38	5559227,64	Таценки	6009
25.	W	337818,22	5560224,48	Плюти	4497

Вимірювання концентрацій оксидів азоту (у перерахунку на азоту діоксид), сірки діоксиду, вуглецю оксиду, озону, пилу НДЗС,  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  проводились у квітні-липні та жовтні-листопаді 2017 р. у будні дні з 10:00 до 18:00. Паралельно фіксувались основні кліматичні показники: температура повітря, відносна вологість, атмосферний тиск, швидкість та напрям вітру. У теплий (квітень-липень) та холодний (жовтень-листопад) період року кліматичні показники коливались у таких діапазонах (min-max,  $M \pm m$ ) відповідно: температура – 15,6-29,3 °C ( $22,0 \pm 0,12$ ) °C та 5,5-1,6 °C ( $2,5 \pm 0,03$ ) °C; відносна вологість – 32,7-54,4 % ( $50,3 \pm 0,19$ ) % та 43,4-74,1 % ( $59,2 \pm 0,23$ ) %; швидкість повітря – 0,05-4,3 м/с ( $1,03 \pm 0,03$ ) м/с та 0,2-7,8 м/с ( $1,03 \pm 0,03$ ) м/с; атмосферний тиск – 988-1005 гПа ( $999,8 \pm 0,24$ ) гПа та 992-1010 гПа ( $1002,9 \pm 0,27$ ) гПа.

У таблицях Додатку Д (табл. Д 1-Д 4) представлено дані описової статистики для концентрацій  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$  за 25 точками вимірювань. Аналіз отриманих результатів вимірювань не виявив перевищень 1-годинних концентрацій азоту діоксиду (ГДК<sub>м.р.</sub> – 0,2 мг/м<sup>3</sup>, граничне значення Директива 2008/50/ЄС – 0,2 мг/м<sup>3</sup>), сірки діоксиду (ГДК<sub>м.р.</sub> – 0,5 мг/м<sup>3</sup>, Директива 2008/50/ЄС – 0,35 мг/м<sup>3</sup>), оксиду вуглецю (ГДК<sub>м.р.</sub> – 5,0 мг/м<sup>3</sup>) у 100 % вимірювань [37, 152].

Водночас аналіз даних окремо за кожним населеним пунктом встановив, що вищі середні концентрації (медіана) азоту діоксиду протягом квітня-липня були зареєстровані в с. Таценки – 0,012 мг/м<sup>3</sup> (0,012 мг/м<sup>3</sup>), с. Жуківці – 0,008 мг/м<sup>3</sup> (0,008 мг/м<sup>3</sup>) та м. Обухів – 0,007 мг/м<sup>3</sup> (0,005 мг/м<sup>3</sup>). При цьому 25 % та 75 % результатів

були відповідно в межах: с. Таценки  $0,011 \div 0,013$  мг/м<sup>3</sup>, с. Жуківці  $0,007 \div 0,008$  мг/м<sup>3</sup>, м. Обухів  $0,003 \div 0,008$  мг/м<sup>3</sup> (рис. 3.2).

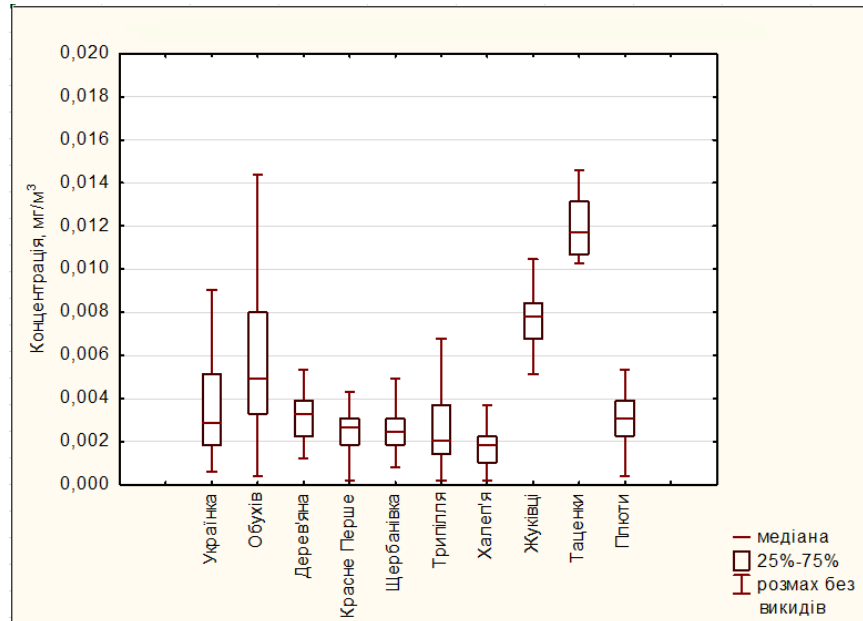


Рисунок 3.2 - Діаграма розмаху концентрацій азоту діоксиду в населених пунктах у теплий період року, мг/м<sup>3</sup>

Що стосується концентрацій отриманих протягом жовтня-листопада можна зробити висновок, що високі середні концентрації (медіана) азоту діоксиду спостерігалися у с. Таценки –  $0,034$  мг/м<sup>3</sup> ( $0,034$  мг/м<sup>3</sup>), с. Трипілья –  $0,015$  мг/м<sup>3</sup> ( $0,011$  мг/м<sup>3</sup>) та м. Українка –  $0,012$  мг/м<sup>3</sup> ( $0,009$  мг/м<sup>3</sup>). Нижній і верхній кuartилі знаходилися для: с. Таценки, с. Трипілья та м. Українка, відповідно в межах  $0,027 \div 0,043$  мг/м<sup>3</sup>,  $0,008 \div 0,024$  мг/м<sup>3</sup>,  $0,005 \div 0,017$  мг/м<sup>3</sup> (рис. 3.3). В цілому аналіз отриманих масових концентрацій азоту діоксиду виявив неоднорідність забруднення атмосферного повітря, що може бути обумовлено відстанню від джерела забруднення, інтенсивністю транспортних потоків у точках дослідження, тощо.

Під час порівняння середніх концентрацій азоту діоксиду, отриманих у всіх КТ протягом квітня-липня (медіана –  $0,003$  мг/м<sup>3</sup>, нижній і верхній кuartилі:  $0,002 \pm 0,006$  мг/м<sup>3</sup>) та жовтня-листопада (медіана –  $0,008$  мг/м<sup>3</sup>,  $0,006 \pm 0,013$  мг/м<sup>3</sup>), було виявлено сезонну динаміку зміни величин концентрацій азоту діоксиду (рис. 3.4).

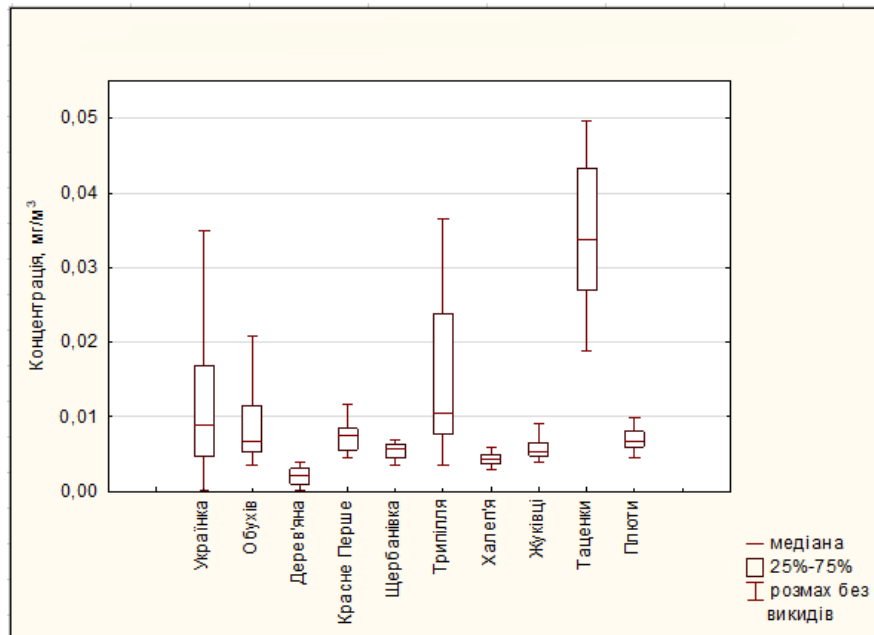


Рисунок 3.3 - Діаграма розмаху концентрацій азоту діоксиду в населених пунктах у холодний період року, мг/м<sup>3</sup>.

Нижчі рівні азоту діоксиду в теплу пору року можуть бути пов'язані з тим, що теплоенергетичні об'єкти працюють з мінімальним навантаженням, а на додаток швидкість фотолізу NO<sub>2</sub> значно вище при інтенсивному сонячному випромінюванні [40, 41, 235-237].

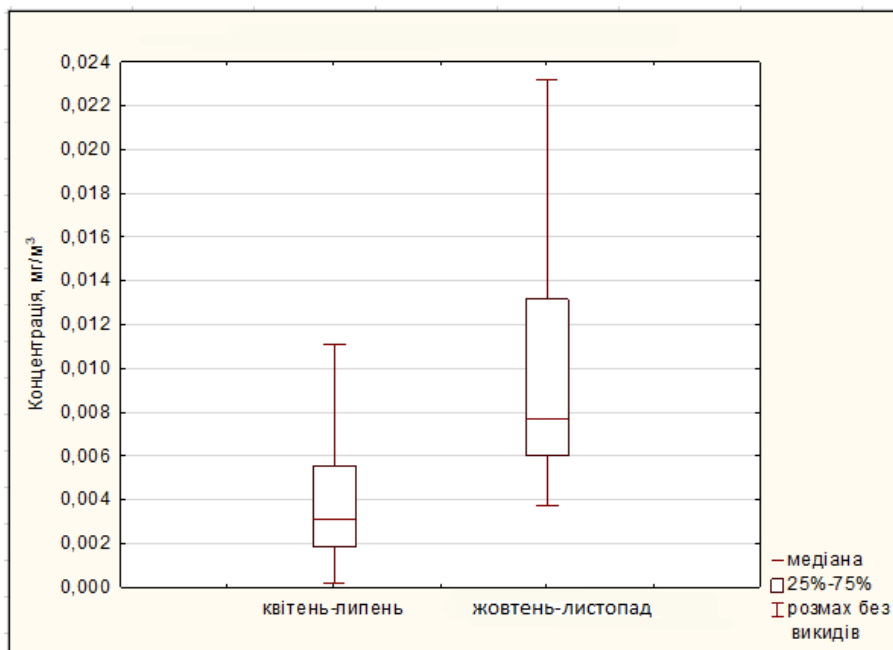


Рисунок 3.4 - Діаграма розмаху концентрації азоту діоксиду, мг/м<sup>3</sup>.



Загалом протягом усього періоду дослідження, максимальні значення концентрацій азоту діоксиду знаходились на рівні  $0,26 \text{ ГДК}_{\text{м.р}}$ . При цьому, виявлено негативний кореляційний зв'язок між рівнями  $\text{NO}_2$  та  $\text{O}_3$  ( $r_s = -0,46$ ,  $p = <0,001$ ), а також позитивний між рівнями  $\text{NO}_2$  та  $\text{CO}$  ( $r_s = 0,31$ ,  $p = <0,001$ ).

Аналіз концентрацій сірки діоксиду за усіма точками вимірювань, отриманих протягом теплового та холодного періоду встановив, що середні значення (медіана) знаходилися відповідно на рівні  $0,071 \pm 0,002 \text{ мг/м}^3$  ( $0,066 \text{ мг/м}^3$ ) та  $0,120 \pm 0,002 \text{ мг/м}^3$  ( $0,107 \text{ мг/м}^3$ ). При цьому 25 % та 75 % результатів були в межах: квітень-липень –  $0,046 \div 0,089 \text{ мг/м}^3$ , жовтень-листопад –  $0,086 \div 0,140 \text{ мг/м}^3$  (рис. 3.5).

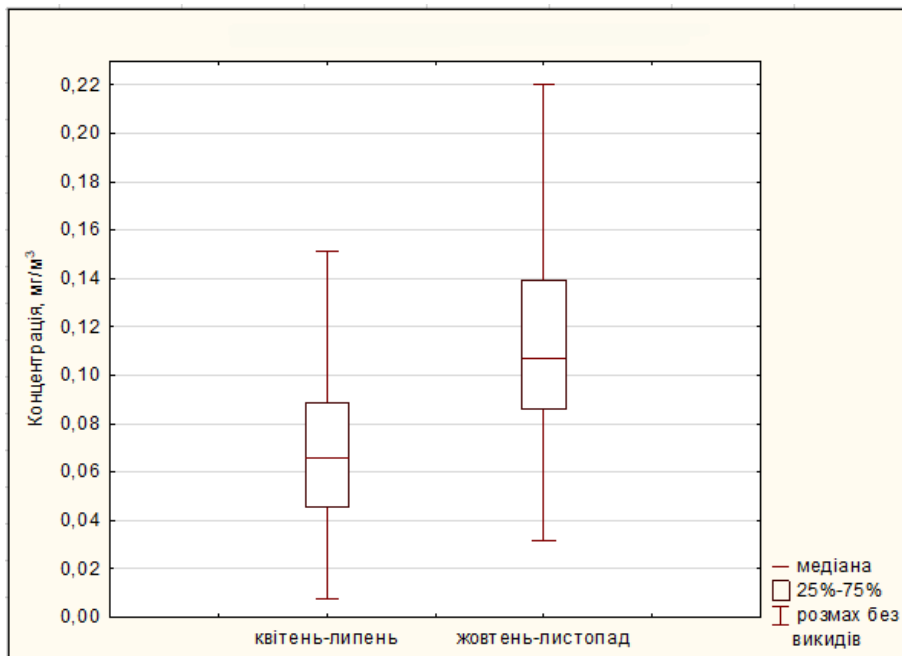


Рисунок 3.5 - Діаграма розмаху концентрації сірки діоксиду,  $\text{мг/м}^3$ .

Середні значення концентрацій  $\text{SO}_2$  узагальнені для населених пунктів показали, що більш високі рівні протягом квітня-липня були зареєстровані в м. Обухів –  $0,102 \text{ мг/м}^3$  (медіана –  $0,092 \text{ мг/м}^3$ ) та с. Трипілля –  $0,088 \text{ мг/м}^3$  (медіана –  $0,092 \text{ мг/м}^3$ ). При цьому 25 % та 75 % результатів були відповідно в межах: м. Обухів -  $0,069 \div 0,126 \text{ мг/м}^3$ , с. Трипілля -  $0,068 \div 0,102 \text{ мг/м}^3$  (рис. 3.6).

Концентрації сірки діоксиду отримані протягом жовтня-листопада у середньому в 1,7 рази перевищували величини отримані в теплий період року.

Насамперед, це може бути пов'язано з функціонуванням ТЕС та використанням викопного палива для індивідуального опалення житла.

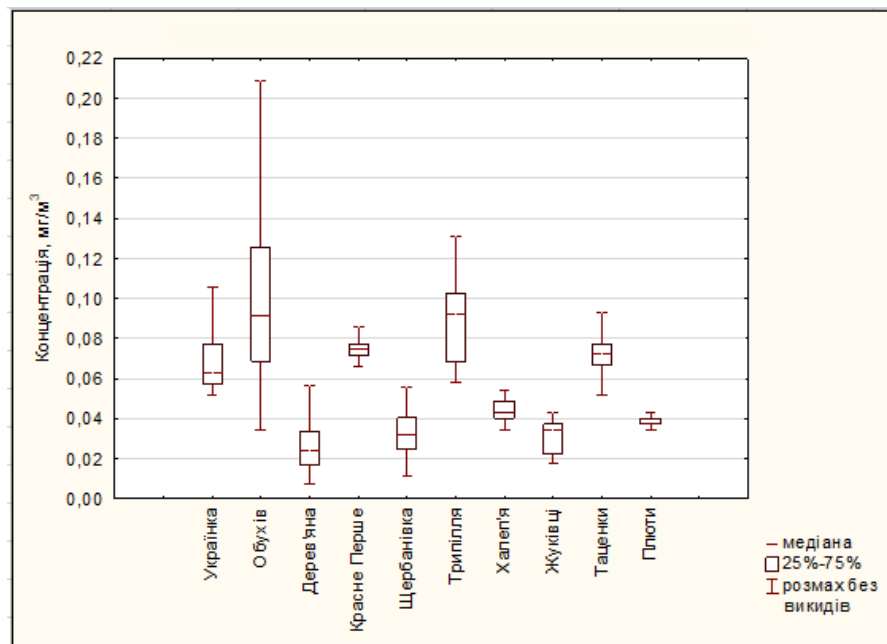


Рисунок 3.6 - Діаграма розмаху концентрації діоксиду сірки в населених пунктах у теплий період року, мг/м<sup>3</sup>

Більш високі середні концентрації сірки діоксиду спостерігались у с. Трипілля – 0,153 мг/м<sup>3</sup> (медіана – 0,136 мг/м<sup>3</sup>), с. Халеп'я – 0,137 мг/м<sup>3</sup> (медіана – 0,140 мг/м<sup>3</sup>), м. Українка – 0,131 мг/м<sup>3</sup> (медіана – 0,107 мг/м<sup>3</sup>) та м. Обухів – 0,130 мг/м<sup>3</sup> (медіана – 0,126 мг/м<sup>3</sup>). Нижній і верхній кватилі знаходилися для: с. Трипілля, с. Халеп'я, м. Українка та м. Обухів відповідно в межах: 0,116÷0,180 мг/м<sup>3</sup>; 0,112÷0,149 мг/м<sup>3</sup>; 0,094÷0,124 мг/м<sup>3</sup>; 0,105÷0,160 мг/м<sup>3</sup> (рис. 3.7).

Аналіз даних отриманих протягом всього періоду досліджень виявив достовірний кореляційний зв'язок між рівнями SO<sub>2</sub> та CO ( $r_S = 0,27$ ,  $p = <0,001$ ), O<sub>3</sub> ( $r_S = -0,15$ ,  $p = <0,001$ ), а також температурою ( $r_S = -0,11$ ,  $p = <0,001$ ).

Концентрації вуглецю оксиду реєструвалися у діапазоні значень від 0,013 до 0,541 мг/м<sup>3</sup> та не перевищували 0,1 частки ГДК<sub>м.р.</sub>. Такий широкий розмах діапазону, а також відносно невисокі значення концентрацій, що відповідають

медіані ( $0,152 \text{ мг/м}^3$ ) свідчать, в цілому, про низькі рівні забруднення повітря викидами вуглецю оксиду, а також про значну варіабельність забруднення. Виявлено сезонну динаміку зміни величин концентрацій  $\text{CO}$ , а саме збільшення рівня забруднення атмосферного повітря у 2,2 раза в холодну пору року.

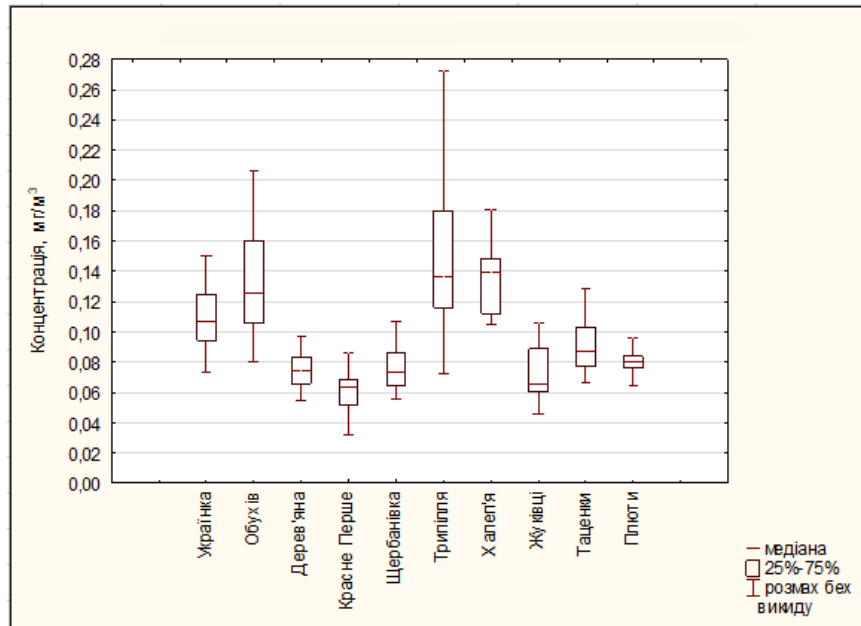


Рис. 3.7 - Діаграма розмаху концентрацій діоксиду сірки в населених пунктах у холодний період року,  $\text{мг/м}^3$

Протягом квітня-липня середні значення концентрацій знаходились на рівні  $0,098 \text{ мг/м}^3$  (медіана –  $0,098 \text{ мг/м}^3$ ; нижній і верхній квантилі:  $0,076 \div 0,118 \text{ мг/м}^3$ ); жовтня-листопада – на рівні  $0,216 \text{ мг/м}^3$  (медіана –  $0,214 \text{ мг/м}^3$ ; нижній і верхній квантилі:  $0,170 \div 0,246 \text{ мг/м}^3$ ) (рис. 3.8). Найбільш вірогідно, це пов'язано зі збільшенням викидів ТЕО під час опалювального сезону.

Найвищі рівні забруднення атмосферного повітря вуглецю оксидом в теплий та період року відмічалися у с. Таценки (середнє значення  $0,126 \pm 0,003$  та  $0,235 \pm 0,006 \text{ мг/м}^3$ ; медіана –  $0,128$  та  $0,238 \text{ мг/м}^3$ ), що насамперед може бути обумовлено інтенсивністю транспортних потоків у КТ дослідження. При цьому, 25 % та 75 % результатів були в межах  $0,121 \div 0,138 \text{ мг/м}^3$  (рис. 3.9).

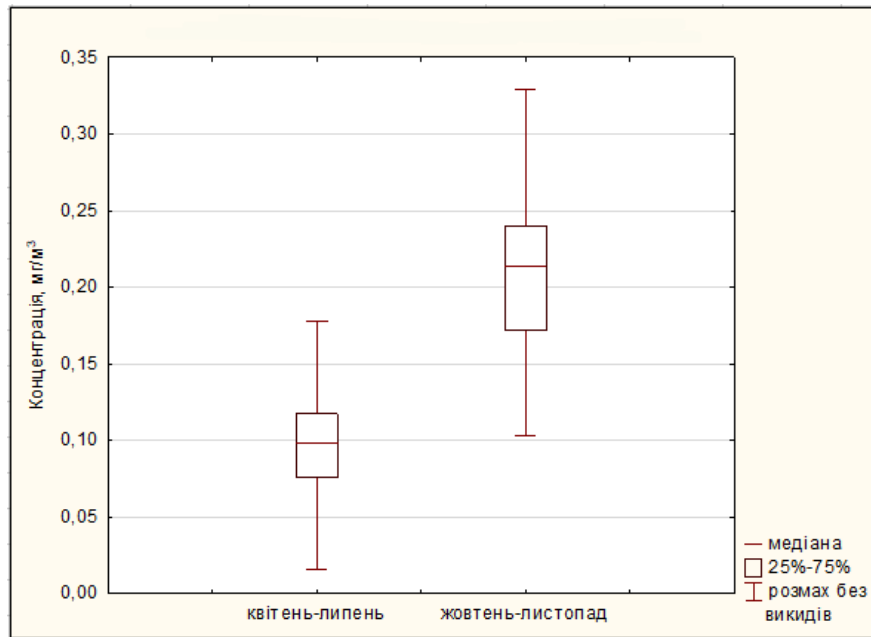


Рисунок 3.8 - Діаграма розмаху концентрацій вуглецю оксиду, мг/м<sup>3</sup>

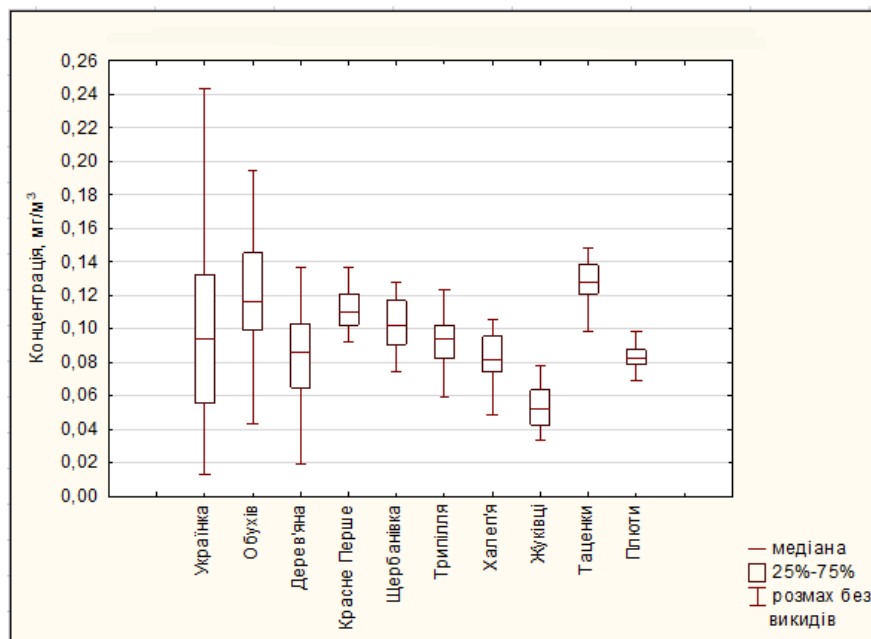


Рисунок 3.9 - Діаграма розмаху концентрацій оксиду вуглецю в населених пунктах у теплий період року, мг/м<sup>3</sup>

Найвищі рівні забруднення атмосферного повітря СО в холодний період року відмічалися у селах Красне Перше, Трипілля та Таценки (середнє значення відповідно:  $0,241 \pm 0,008$ ;  $0,239 \pm 0,004$  та  $0,235 \pm 0,006$  мг/м<sup>3</sup>; медіана: 0,240; 0,245 та 0,238 мг/м<sup>3</sup>) (рис. 3.10). При цьому 25 % та 75 % результатів були в наступних

межах для с. Красне Перше ( $0,213 \div 0,225$  мг/м<sup>3</sup>), с. Трипілля ( $0,217 \div 0,270$  мг/м<sup>3</sup>) та с. Таценки ( $0,220 \div 0,259$  мг/м<sup>3</sup>).

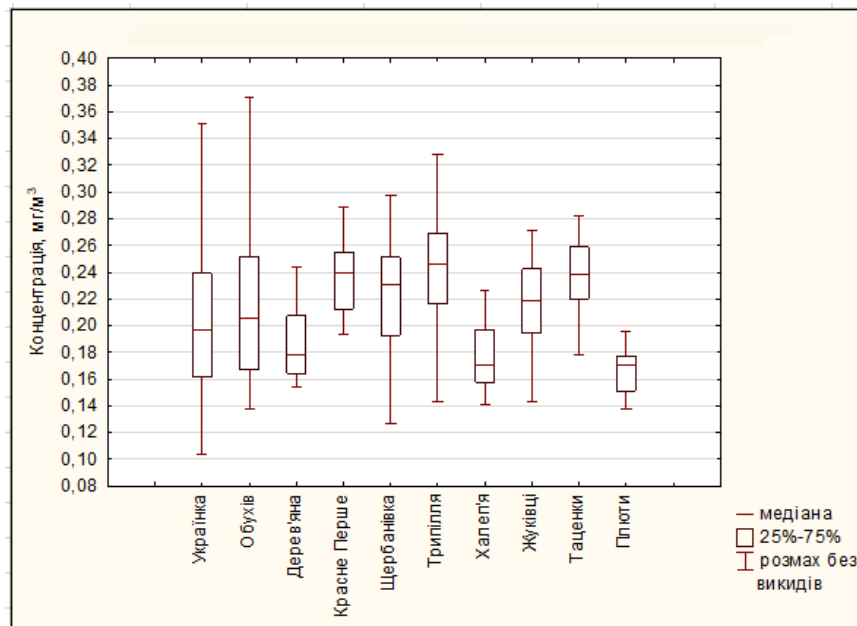


Рисунок 3.10 – Діаграма розмаху концентрацій оксиду вуглецю в населених пунктах у холодний період року, мг/м<sup>3</sup>.

Результати описової статистики для концентрацій **озону** за 25 точками вимірювання наведено у таблиці Додатку Д 2. Рівні забруднення атмосферного повітря О<sub>3</sub> суттєво відрізнялись у теплий та холодний період року. Середні значення (медіана) концентрацій визначених у квітні-липні та жовтні-листопаді знаходилися відповідно на рівні: 0,210 (0,198 мг/м<sup>3</sup>) та 0,107 мг/м<sup>3</sup> (0,110 мг/м<sup>3</sup>). При цьому 25 % та 75 % результатів були в межах  $0,185 \div 0,236$  мг/м<sup>3</sup> (квітень-липень) та  $0,093 \div 0,123$  мг/м<sup>3</sup> (жовтень-листопад) (рис. 3.11).

При порівнянні концентрацій О<sub>3</sub> отриманих в теплий період року з чинним в Україні гігієнічним нормативом (ГДК<sub>м.р.</sub> – 0,16 мг/м<sup>3</sup>) та граничними значеннями ВООЗ (0,10 мг/м<sup>3</sup>) і Директиви 2008/50/ЄС (0,12 мг/м<sup>3</sup>), перевищення було виявлено у 95 % та 100 % вимірювань, відповідно [138]. Перевищення чинного гігієнічного нормативу за максимальним значенням становило 1,8 ГДК<sub>м.р.</sub> Слід

зазначити, що спостерігалась денна мінливість концентрацій озону, а саме збільшення з 08:00 до 15:00 години, що обумовлено збільшенням інтенсивності сумарної сонячної радіації та, як наслідок, фотохімічного перетворення двоатомного кисню в  $O_3$  [238-240].

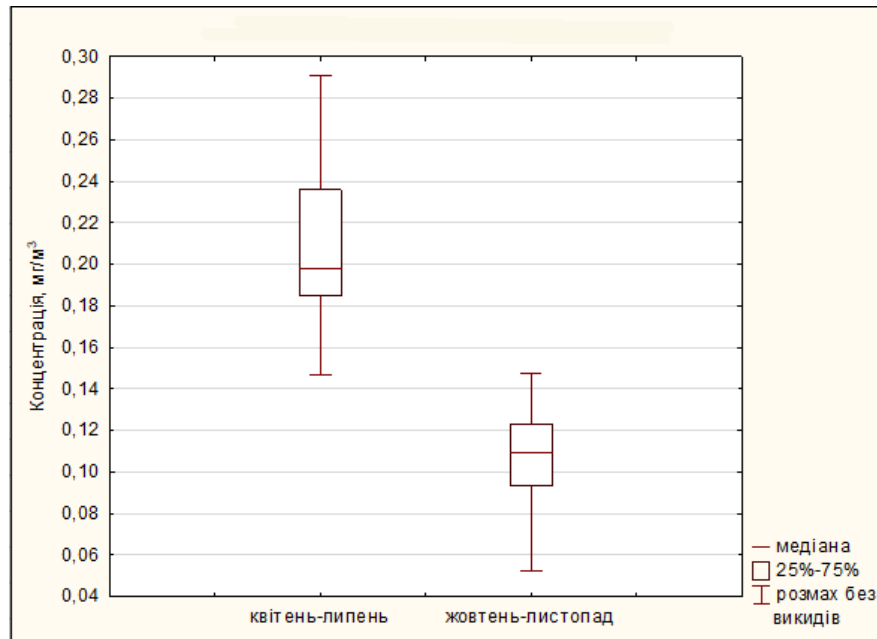


Рисунок 3.11 - Діаграма розмаху концентрацій озону,  $mg/m^3$ .

Найвищі рівні забруднення ( $M \pm m$ ) визначались у КТ м. Обухів – К ( $0,261 \pm 0,001$   $mg/m^3$ ) та J ( $0,259 \pm 0,003$   $mg/m^3$ ) і знаходилися у межах 1,8 ГДК<sub>м.р.</sub>, а найнижчі в С. Українка в КТ А ( $0,165 \pm 0,002$   $mg/m^3$ ) та В ( $0,168 \pm 0,001$   $mg/m^3$ ) і становили близько 1,1 ГДК<sub>м.р.</sub>

Аналіз даних окремо за кожним населеним пунктом встановив, що вищі середні концентрації (медіана)  $O_3$  були зареєстровані в м. Обухів –  $0,250$   $mg/m^3$  ( $0,250$   $mg/m^3$ ), с. Красне Перше –  $0,226$   $mg/m^3$  ( $0,227$   $mg/m^3$ ) та с. Таценки –  $0,222$   $mg/m^3$  (медіана –  $0,228$   $mg/m^3$ ). Нижній і верхній квантілі знаходилися для м. Обухів, с. Красне Перше та с. Таценки відповідно в межах:  $0,242 \div 0,257$ ;  $0,219 \div 0,233$  та  $0,216 \div 0,238$   $mg/m^3$  (рис. 3.12).

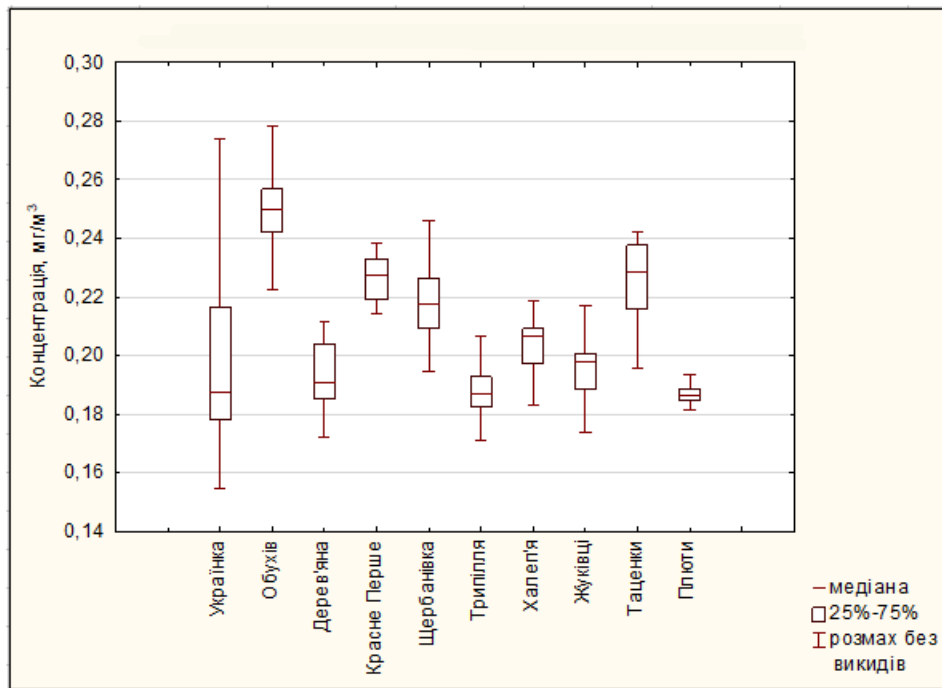


Рисунок 3.12 - Діаграма розмаху концентрацій озону в населених пунктах у теплий період року,  $\text{мг/м}^3$

Протягом жовтня-листопада концентрації озону в атмосферному повітрі не перевищували  $\text{ГДК}_{\text{м.р.}}$  в жодній контрольній точці та знаходилися у межах  $0,3 \div 0,9 \text{ ГДК}_{\text{м.р.}}$ . Порівняння отриманих концентрацій з граничним значенням рекомендованим ВООЗ встановило їх перевищення у більшості населених пунктів: с. Трипілля (середнє значення  $0,13 \pm 0,001 \text{ мг/м}^3$ ; медіана –  $0,12 \text{ мг/м}^3$ ), м. Українка, с. Дерев'яна, с. Халеп'я, с. Жуківці (середнє значення  $0,11 \pm 0,001 \text{ мг/м}^3$ ; медіана –  $0,11 \text{ мг/м}^3$ ), м. Обухів, (середнє значення  $0,11 \pm 0,002 \text{ мг/м}^3$ ; медіана –  $0,10 \text{ мг/м}^3$ ) (рис. 3.13). Такі рівні озону могли спостерігатись за рахунок підвищеної кількості газів-попередників озону ( $\text{NO}_2$  та  $\text{SO}_2$ ) та безвітряної погоди (швидкість повітря  $0,103 \pm 0,03 \text{ м/сек}$ ).

Статистичний аналіз даних отриманих протягом усього періоду дослідження виявив достовірний кореляційний зв'язок між:  $\text{O}_3$  та температурою ( $r_s = 0,85$ ;  $p < 0,001$ ), відносною вологістю ( $r_s = -0,76$ ;  $p < 0,001$ ),  $\text{CO}$  ( $r_s = -0,71$ ;  $p < 0,001$ ),  $\text{NO}_2$  ( $r_s = -0,46$ ;  $p < 0,001$ ),  $\text{SO}_2$  ( $r_s = -0,15$ ;  $p < 0,001$ ).

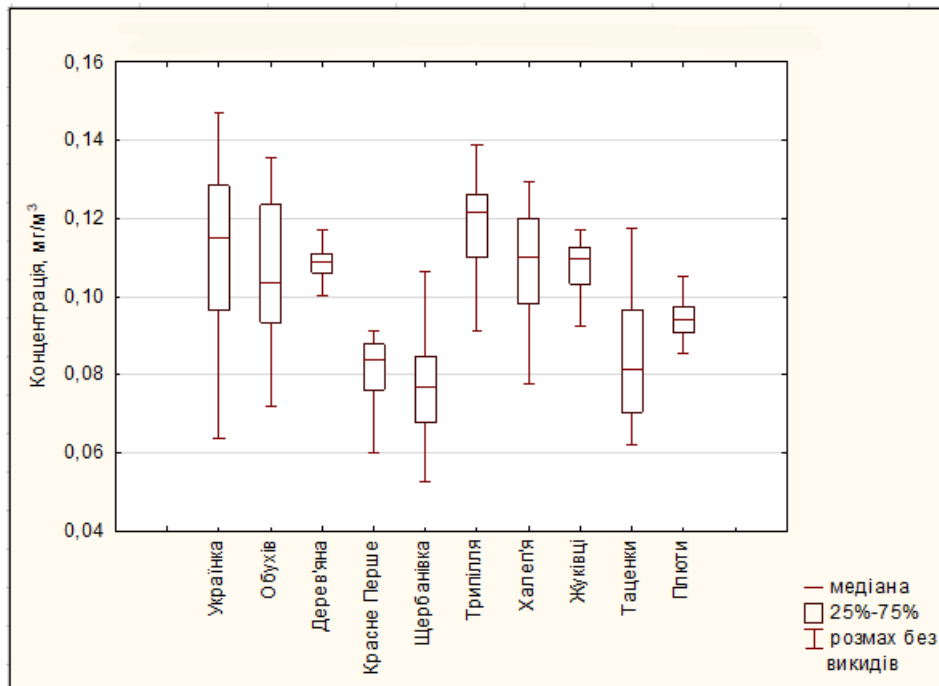


Рисунок 3.13 - Діаграма розмаху концентрацій озону в населених пунктах у холодний період року,  $\text{mg}/\text{m}^3$

Аналіз результатів забруднення атмосферного повітря пилом НДЗС показав високу варіабельність концентрацій в КТ (табл. А.5 Додаток А). Середні значення визначених концентрацій коливались в діапазоні  $0,04 \div 2,68 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Перевищення чинного гігієнічного нормативу ( $\text{ГДК}_{\text{м.р.}} - 0,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) за максимальним значенням становило  $5,4 \text{ ГДК}_{\text{м.р.}}$ .

Найвищі середні рівні концентрацій, отриманні в теплий період року, спостерігалися в м. Українка в КТ: G ( $1,80 \pm 0,15 \text{ mg}/\text{m}^3$ ; медіана  $1,84 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), В ( $1,68 \pm 0,17 \text{ mg}/\text{m}^3$ ; медіана  $1,84 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) та А ( $1,43 \pm 0,20 \text{ mg}/\text{m}^3$ ; медіана  $1,21 \text{ mg}/\text{m}^3$ ). Насамперед, це пов'язано із запилюванням від золовідвалу Трипільської ТЕС [241-243]. Загалом перевищення чинного нормативу за середніми значеннями визначалося в 45 % вимірювань у діапазоні  $1,1 \div 3,6 \text{ ГДК}_{\text{м.р.}}$ .

Аналіз даних, окремо за кожним населеним пунктом встановив, що високі рівні забруднення атмосферного повітря пилом НДЗС реєструвались в м. Українка –  $1,07 \text{ mg}/\text{m}^3$  (медіана –  $0,90 \text{ mg}/\text{m}^3$ ; нижній і верхній кватилі:  $0,37 \div 0,55 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), м. Обухів –  $0,82 \text{ mg}/\text{m}^3$  (медіана –  $0,85 \text{ mg}/\text{m}^3$ ; нижній і верхній кватилі:  $0,36 -$



0,47 мг/м<sup>3</sup>) та с. Таценки – 0,96 мг/м<sup>3</sup> (медіана – 0,74 мг/м<sup>3</sup>; нижній і верхній квартилі: 0,37÷0,44 мг/м<sup>3</sup>) (рис. 3.14). У м. Обухів формування даного типу забруднення було пов'язано, насамперед, з викидами близько розташованих промислових об'єктів та автомобільним транспортом.

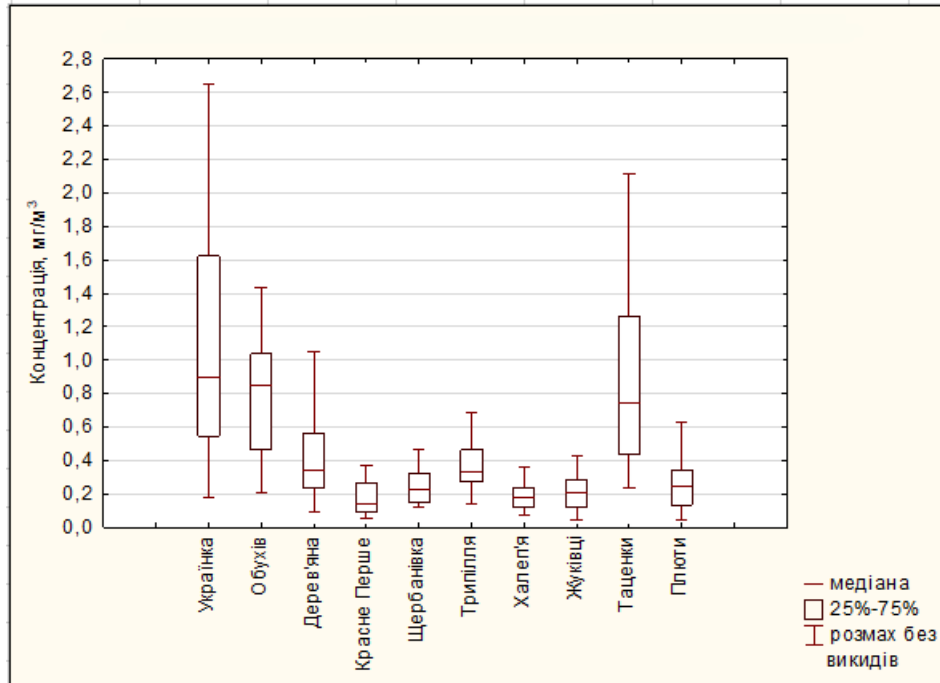


Рисунок 3.14 - Діаграма розмаху концентрацій пилу НДЗС в населених пунктах у теплий період року, мг/м<sup>3</sup>

Концентрації пилу НДЗС визначені у холодний період року перевищували ГДК<sub>м.р.</sub> у 52,0 % вимірювань. При цьому найвищі рівні забруднення атмосферного повітря відмічалися, так само як і у теплу пору року, в КТ м. Українка: В (1,56±0,15 мг/м<sup>3</sup>; медіана 1,48 мг/м<sup>3</sup>), G (1,53±0,15 мг/м<sup>3</sup>; медіана 1,44 мг/м<sup>3</sup>), А (1,39±0,23 мг/м<sup>3</sup>; медіана 1,19 мг/м<sup>3</sup>) та, насамперед, були пов'язані з функціонуванням Трипільської ТЕС, що з настанням опалювального сезону працювала з максимальним навантаженням.

Середні значення концентрацій (медіана; нижній і верхній квартилі) пилу НДЗС узагальнені для населених пунктів показали перевищення ГДК<sub>м.р.</sub> у 6 населених

пунктах: м. Українка –  $1,06 \text{ мг/м}^3$  ( $0,89 \text{ мг/м}^3$ ;  $0,59 \div 1,39 \text{ мг/м}^3$ ), с. Таценки –  $0,73 \text{ мг/м}^3$  ( $0,73 \text{ мг/м}^3$ ;  $0,50 \div 0,93 \text{ мг/м}^3$ ), м. Обухів –  $0,66 \text{ мг/м}^3$  ( $0,57 \text{ мг/м}^3$ ;  $0,40 \div 0,85 \text{ мг/м}^3$ ), с. Халеп'я –  $0,61 \text{ мг/м}^3$  ( $0,63 \text{ мг/м}^3$ ;  $0,39 \div 0,83 \text{ мг/м}^3$ ), с. Дерев'яна –  $0,61 \text{ мг/м}^3$  ( $0,60 \text{ мг/м}^3$ ;  $0,39 \div 0,81 \text{ мг/м}^3$ ), с. Трипілля –  $0,55 \text{ мг/м}^3$  ( $0,53 \text{ мг/м}^3$ ;  $0,41 \div 0,67 \text{ мг/м}^3$ ) (рис. 3.15).

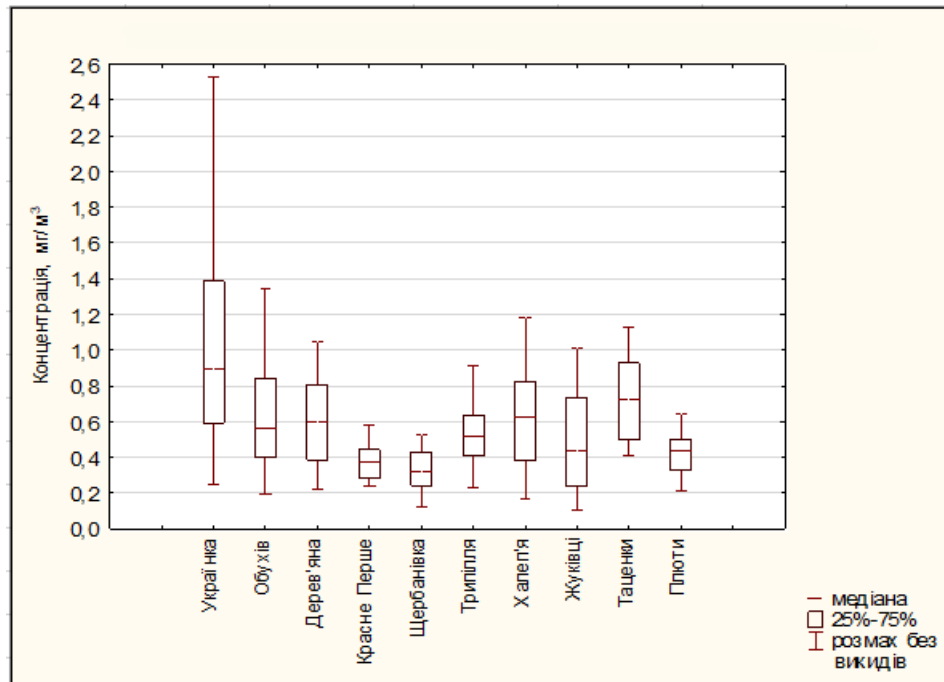


Рисунок 3.15 - Діаграма розмаху концентрацій пилу НДЗС в населених пунктах в холодний період року,  $\text{мг/м}^3$

Аналіз масових концентрації пилу НДЗС за всіма КТ отриманих в теплий та холодний період року встановив, що середні значення знаходилися відповідно на рівні:  $0,65 \pm 0,03 \text{ мг/м}^3$  (медіана –  $0,45 \text{ мг/м}^3$ ) та  $0,70 \pm 0,03 \text{ мг/м}^3$  (медіана –  $0,58 \text{ мг/м}^3$ ). При цьому 25 % та 75 % результатів були в межах: квітень-липень  $0,24 \div 0,93 \text{ мг/м}^3$ , жовтень-листопад  $0,41 \div 0,85 \text{ мг/м}^3$  (рис. 3.16). Отримані результати свідчать про небезпеку для здоров'я населення, що протягом року підпадає під експозицію підвищених рівнів пилу НДЗС.

Вимірювання масових концентрацій зважених часток пилу  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  виконувалися у 25 точках дослідження (табл. Додатку Д 4). У зв'язку з відсутністю в Україні нормативних критеріїв оцінки безпеки  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ , отримані результати були співставлені з середньодобовими граничними значеннями рекомендованими ВООЗ.

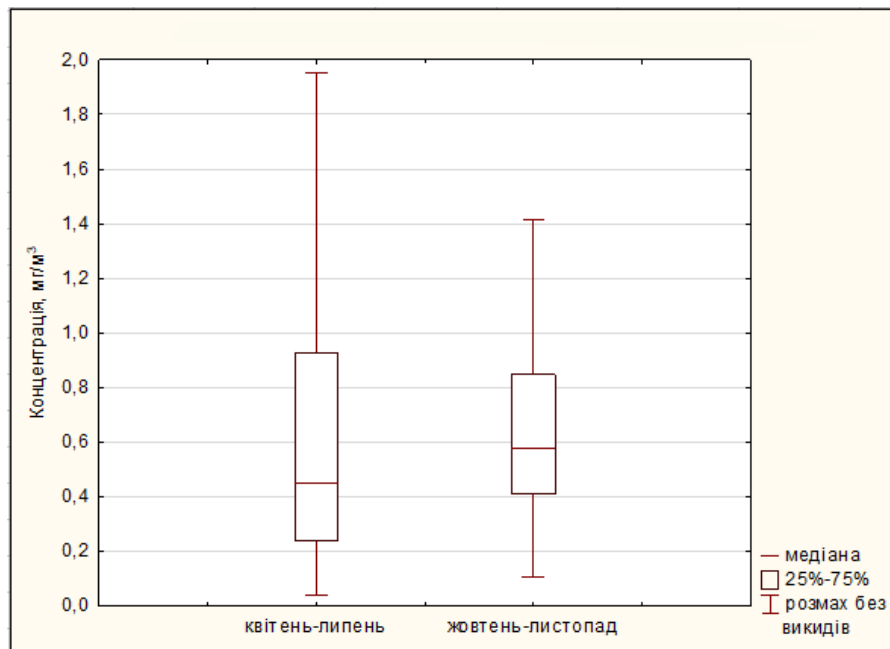


Рисунок 3.16 - Діаграма розмаху концентрацій пилу НДЗС,  $mg/m^3$

Аналіз результатів вимірювань  $PM_{10}$  показав значну варіабельність 1-годинних концентрацій на території дослідження. Рівні забруднення у теплу та холодну пору року коливалися відповідно у діапазоні ( $4,0 \div 61,0 \text{ мкг/м}^3$ ) та ( $4,0 \div 133,0 \text{ мкг/м}^3$ ). Загалом, найвищі середньодобові рівні забруднення протягом травня-липня (жовтня-листопада) спостерігалися у контрольних точках м. Українка: В –  $42,5 \pm 6,3$  ( $53,4 \pm 2,9$ )  $мкг/м^3$  та Г –  $41,3 \pm 7,2$  ( $51,0 \pm 4,5$ )  $мкг/м^3$ . Незначне перевищення рекомендованих середньодобових рівнів  $PM_{10}$  виявлено лише восени у 2-х КТ м. Українка (В та Г).

Аналіз даних окремо, за кожним населеним пунктом встановив, що більш високі середні концентрації  $PM_{10}$  в теплий період року були зареєстровані в м. Українка – 24,6 (медіана – 22,7)  $мкг/м^3$  та с. Таценки – 23,3 (медіана – 23,6)

мкг/м<sup>3</sup>. При цьому, 25 % та 75 % результатів були відповідно в межах для м. Українка й с. Таценки: 20,0÷27,8 мкг/м<sup>3</sup> та 20,6÷26,1 мкг/м<sup>3</sup> (рис. 3.17).

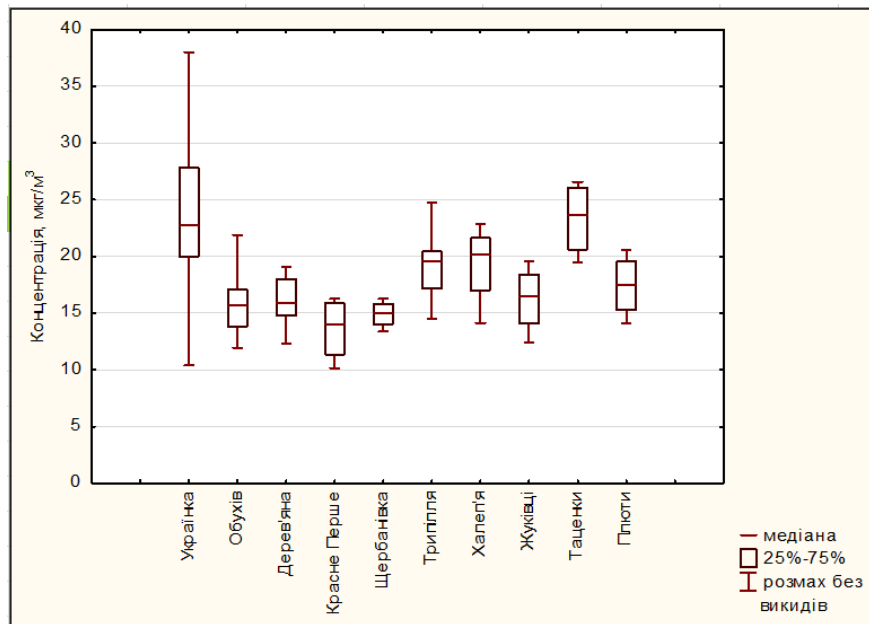


Рисунок 3.17 - Діаграма розмаху середньодобових концентрацій РМ<sub>10</sub> в населених пунктах у теплий період року, мкг/м<sup>3</sup>.

Що стосується концентрацій отриманих у холодний період року, то найбільші значення визначались в м. Українка – 40,1 мкг/м<sup>3</sup> (медіана – 38,9 мкг/м<sup>3</sup>), с. Трипілля – 38,8 (медіана – 37,9) мкг/м<sup>3</sup> та с. Халеп'я – 37,3 (медіана – 36,9) мкг/м<sup>3</sup> (рис. 3.18). Нижній і верхній квартилі знаходилися для м. Українка, с. Трипілля та с. Халеп'я відповідно в межах: 34,7÷47,4 мкг/м<sup>3</sup>; 36,2÷41,8 мкг/м<sup>3</sup>; 35,7÷38,8 мкг/м<sup>3</sup>.

При порівнянні середніх концентрацій, отриманих протягом травня-липня (18,2±0,8 мкг/м<sup>3</sup>, медіана – 18,8 мкг/м<sup>3</sup>; нижній і верхній квартилі: 15,6÷22,0 мкг/м<sup>3</sup>) та жовтня-листопада (32,0±0,28 мкг/м<sup>3</sup>, медіана – 33,0 мкг/м<sup>3</sup>; нижній і верхній квартилі: 26,2÷38,7 мкг/м<sup>3</sup>), виявлено сезонну динаміку зміни величин концентрацій РМ<sub>10</sub> (рис. 3.19), а саме збільшення в 1,8 рази рівня забруднення атмосферного повітря РМ<sub>10</sub> в холодну пору року [244-246].

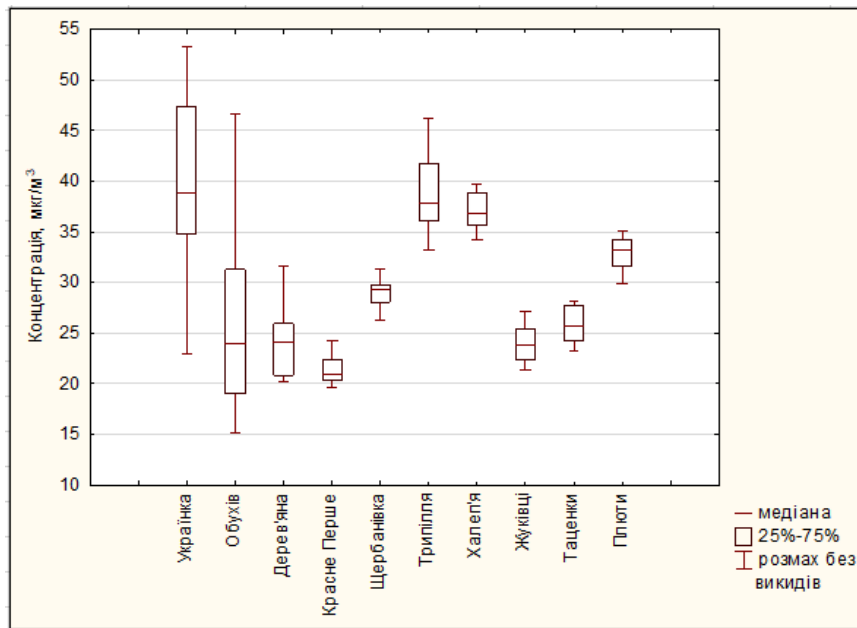


Рисунок 3.18 - Діаграма розмаху середньодобових концентрацій  $PM_{10}$  в населених пунктах у холодний період року,  $мкг/м^3$ .

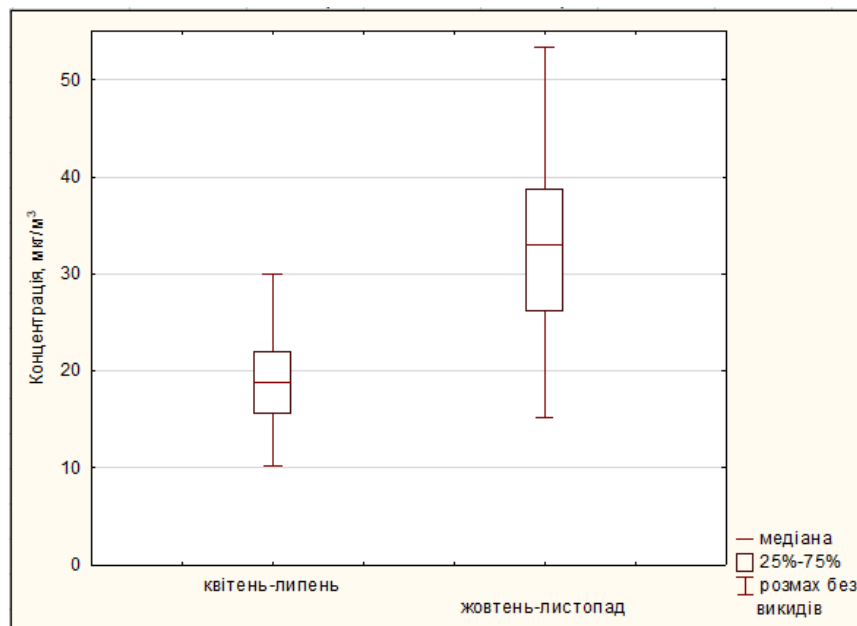


Рисунок 3.19 - Діаграма розмаху середньодобових концентрацій  $PM_{10}$ ,  $мкг/м^3$

Виявлено кореляційний зв'язок між рівнями  $PM_{10}$  та:  $PM_{2.5}$  ( $r_s = 0,95$ ;  $p = < 0,001$ );  $CO$  ( $r_s = 0,67$ ;  $p = < 0,001$ );  $SO_2$  ( $r_s = 0,48$ ;  $p = < 0,001$ );  $NO_2$  ( $r_s = 0,42$ ;  $p = < 0,001$ ), відносною вологістю ( $r_s = -0,49$ ;  $p = < 0,001$ ); температурою ( $r_s = 0,65$ ;  $p = < 0,001$ ) та  $O_3$  ( $r_s = -0,65$ ;  $p = < 0,001$ ) [247, 248].

Рівні забруднення атмосферного повітря  $PM_{2.5}$  суттєво відрізнялись у теплий та холодний період року. Середні значення у квітні-липні та жовтні-листопаді становили, відповідно: 10,4 (медіана – 9,9)  $мкг/м^3$  та 23,5 (медіана – 23,9)  $мкг/м^3$ . Водночас 25 % та 75 % результатів були в теплий період року в межах  $8,8 \div 11,4$   $мкг/м^3$ , в холодний  $18,3 \div 27,0$   $мкг/м^3$  (рис. 3.20). Концентрації  $PM_{2.5}$  отримані протягом жовтня-листопада в середньому в 2,3 раза перевищували величини отримані в теплий період року, що пов'язано з настанням опалювального сезону [22-24].

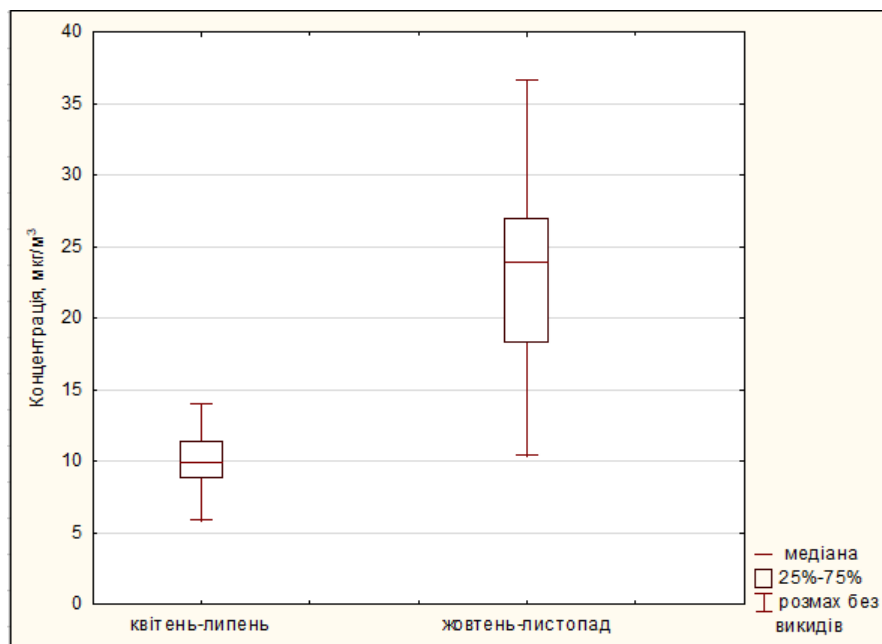


Рисунок 3.20 - Діаграма розмаху середньодобових концентрацій  $PM_{2.5}$ ,  $мкг/м^3$

Середні значення (медіана) концентрацій  $PM_{2.5}$  зареєстровані в теплий період року та узагальнені за населеними пунктами виявили, що дещо більші значення спостерігались в м. Українка 12,9 (11,5)  $мкг/м^3$  та с. Таценки 11,7 (11,9)  $мкг/м^3$ . Водночас 25 % та 75 % результатів визначених у вищезазначених пунктах були відповідно в межах  $10,4 \div 13,8$  та  $10,9 \div 12,6$   $мкг/м^3$  (рис. 3.21).

Перевищення рекомендованих ВООЗ рівнів  $PM_{2.5}$  спостерігалось у холодний період року в контрольних точках м. Українка ( $26,5 \div 36,6$ )  $мкг/м^3$ , с. Трипілля ( $25,6 \div 35,3$ )  $мкг/м^3$ , м. Обухів (27,6) с. Халеп'я (26,4)  $мкг/м^3$ . Узагальнені (за населеними пунктами) дані щодо забруднення атмосферного повітря  $PM_{2.5}$

встановили високі рівні в м. Українка та с. Трипілля (середнє – 29,5 та 26,0 мкг/м<sup>3</sup>; медіана – 30,8 та 26,1 мкг/м<sup>3</sup>; нижній і верхній кватилі: 23,9÷34,9 та 23,7÷27,4 мкг/м<sup>3</sup>) (рис. 3.22).

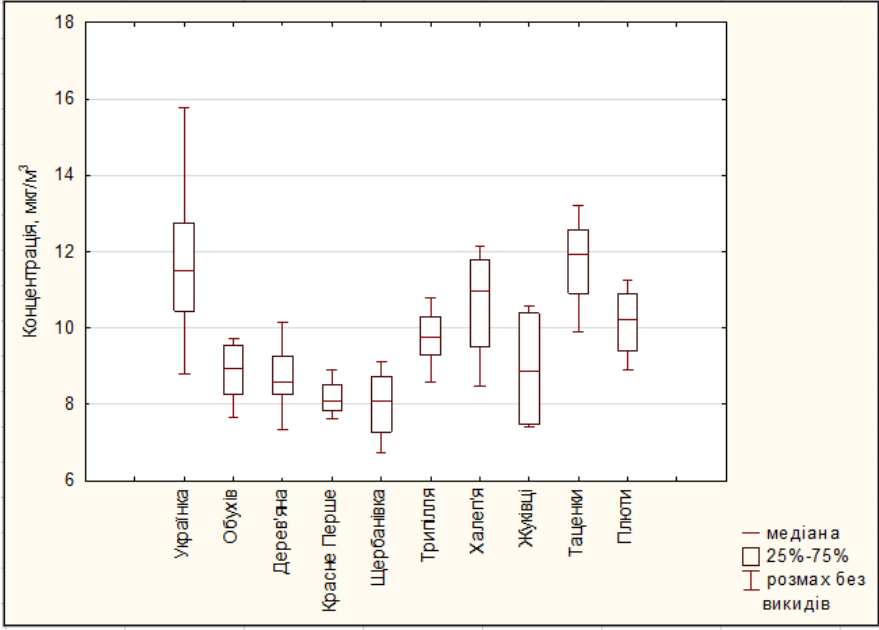


Рисунок 3.21 - Діаграма розмаху середньодобових концентрацій PM<sub>2.5</sub> в населених пунктах у теплий період року, мкг/м<sup>3</sup>.

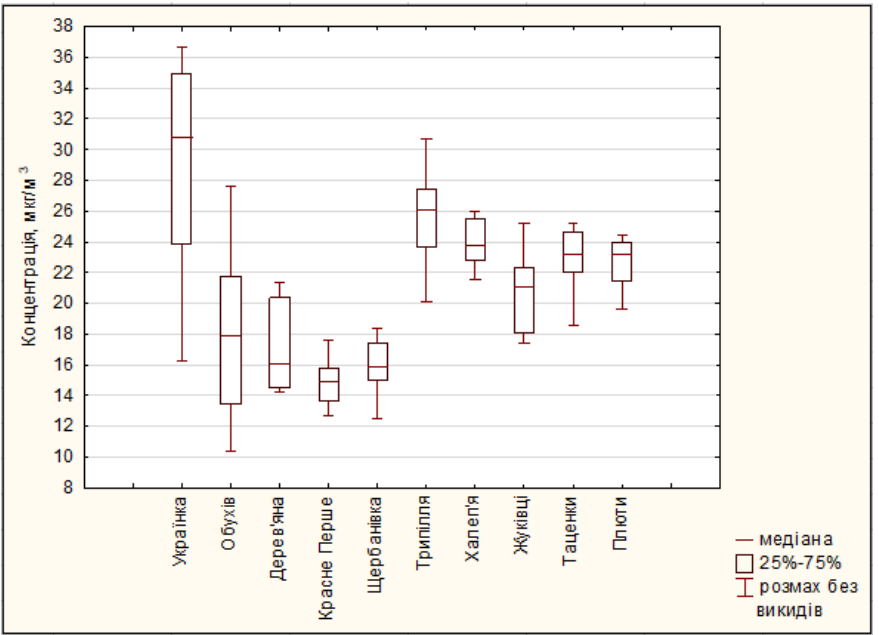


Рисунок 3.22 - Діаграма розмаху середньодобових концентрацій PM<sub>2.5</sub> в населених пунктах в холодний період року, мкг/м<sup>3</sup>.

Статистичний аналіз даних отриманих протягом усього періоду дослідження виявив достовірний кореляційний зв'язок між:  $PM_{2.5}$  та  $PM_{10}$  ( $r_s = 0,95$ ;  $p = < 0,001$ ),  $CO$  ( $r_s = 0,74$ ;  $p = < 0,001$ ),  $O_3$  ( $r_s = - 0,73$ ;  $< 0,001$ ), температурою ( $r_s = 0,71$ ;  $p = < 0,001$ ), відносною вологістю ( $r_s = - 0,62$ ;  $p = < 0,001$ ),  $SO_2$  ( $r_s = 0,54$ ;  $p = < 0,001$ ),  $NO_2$  ( $r_s = 0,44$ ;  $p = < 0,001$ ).

Отримані дані натурних досліджень були проаналізовані з метою вивчення особливостей формування забруднення в зоні впливу Трипільської ТЕС в залежності від відстані до джерела викиду.

Як видно з рис. 3.23 найвищі рівні середніх концентрацій (3,4-3,6 ГДК<sub>м.р.</sub>) пилю НДЗС відмічались на відстані до 2 км від джерела викиду. Стабільне перевищення нормативів, незалежно від пори року, спостерігалось як за рахунок високого джерела (труба) забруднення ТЕС, так і площинного (золовідвал). Зі збільшенням відстані визначалось зниження концентрацій пилю НДЗС: на відстані 2-3 км – до 1,5 ГДК<sub>м.р.</sub>, 3-6 км – до 1,2 ГДК<sub>м.р.</sub>, 6-7 км – до 1,0 ГДК<sub>м.р.</sub>.

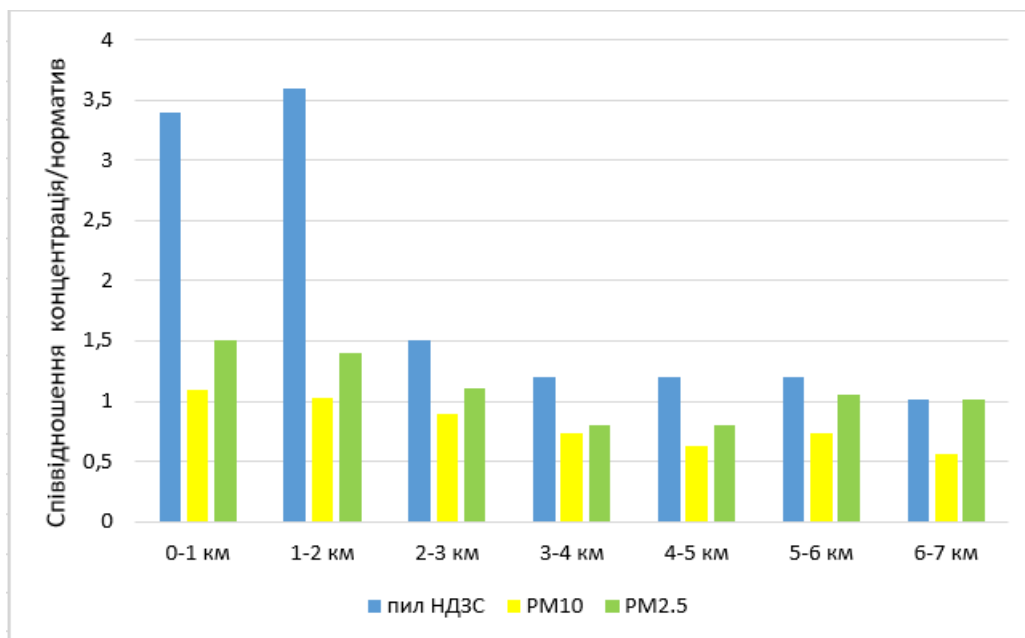


Рисунок 3.23 - Розподіл концентрацій пилю НДЗС (1-годинна),  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  (24-годинна) в зоні впливу Трипільської ТЕС.



Що стосується забруднення атмосферного повітря  $PM_{10}$ , незначне перевищення граничних значень рекомендованих ВООЗ (в 1,1 раза) спостерігалось на відстані до 1 км. Загалом, в міру віддалення від ТЕС вміст  $PM_{10}$  в атмосферному повітрі знижувався. Максимальні концентрації  $PM_{2.5}$  відрізнялися значною динамічністю: найвищі рівні визначалися на відстані до 2 км (перевищення в 1,4-1,5 раза), з поступовим зниженням і досягненням значень, що не перевищують граничних, на відстані з 3 до 5 км та подальшим підвищенням до межі рекомендованого рівня (рис. 3.23).

Розподіл концентрацій озону, отриманих в теплий та холодний період року в зоні впливу Трипільської ТЕЦ, не виявив залежності між відстанню до джерела викидів та рівнем забруднюючої речовини в ПША (рис. 3.24, рис. 3.25).

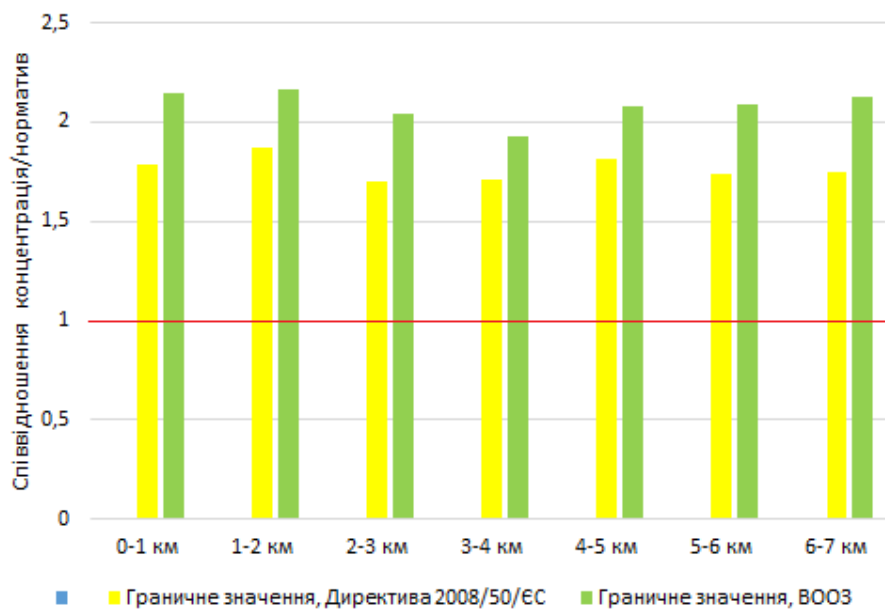


Рисунок 3.24 - Розподіл 8-годинних концентрацій озону в зоні впливу Трипільської ТЕЦ (квітень-липень, 2017 р.)

Максимальні 8-годинні концентрації озону протягом квітня-липня (жовтня-листопада) перевищували граничні значення рекомендовані ВООЗ та Директивою 2008/50/ЄС в 1,9-2,2 (1,2-1,3) та 1,7-1,9 (1,1) раза. Насамперед, це залежало від інтенсивності сонячного випромінювання та температури повітря.

На підставі проведених натурних досліджень встановлено, що рівні концентрацій пилу НДЗС,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  та озону перевищують гігієнічні нормативи (граничні значення) якості повітря та можуть становити небезпеку для здоров'я населення, що проживає в зоні впливу Трипільської ТЕС. Основні медичні наслідки впливу забруднюючих речовин будуть пов'язані з підвищенням рівнів захворюваності та смертності від легеневих та серцево-судинних захворювань. Очікується, що питома вага захворювань буде спостерігатися серед дитячого населення, людей похилого віку та з хронічними захворюваннями.

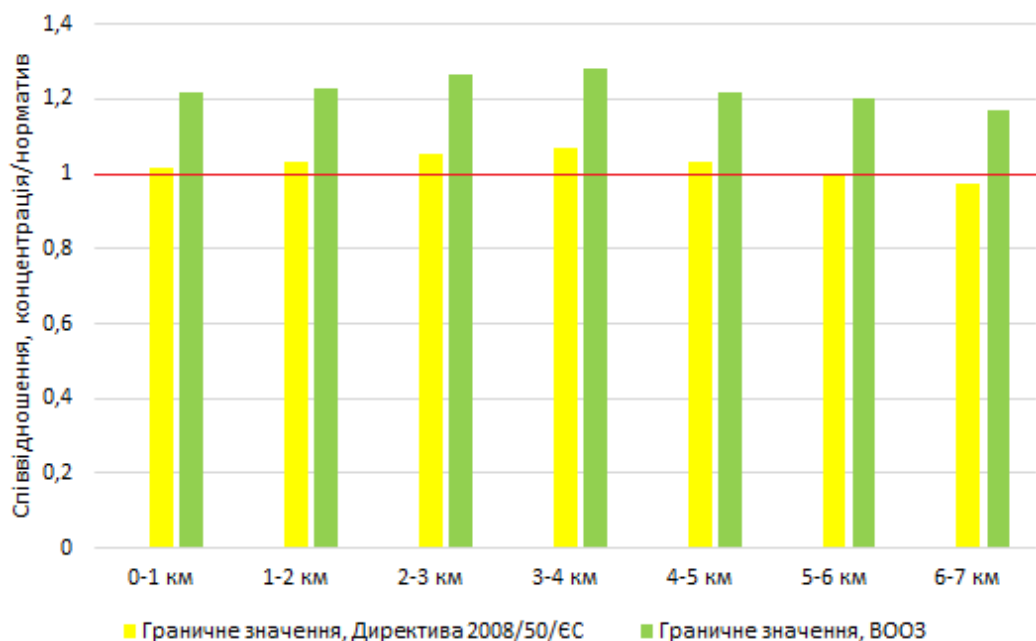


Рисунок 3.25 - Розподіл 8-годинних концентрацій озону в зоні впливу Трипільської ТЕЦ (жовтень-листопад, 2017 р.)

### 3.2 Моделювання розсіювання концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери зони впливу Трипільської ТЕС

Нині майже вся міжнародна спільнота для оцінок якості атмосферного повітря та його впливу на здоров'я населення рекомендує розробляти та впроваджувати математичні моделі (дисперсійні, регресійні). В першу чергу, це пов'язано з обмеженістю отриманих інструментальних даних щодо просторового

поширення хімічних речовин у ПША, відсутністю та недосконалістю наявних систем спостережень/моніторингу у різних країнах світу та неможливістю організації розгалужених мереж автоматизованих досліджень [300].

Таким чином, з метою характеристики просторового забруднення та кількісної оцінки інгаляційного впливу викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел Трипільської ТЕС, було проведено моделювання їх поширення в приземному шарі атмосфери [234]. Для отримання валідних даних щодо рівнів усереднених концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі використовувався програмний комплекс ISC-AERMOD View, до модулів, якого введено наступні параметри: рельєф території дослідження, метеоумови за певний часовий період та характеристика землекористування [249-252]. Розрахунок розсіювання концентрацій досліджуваних забруднюючих речовин було проведено у 96 вузлах розрахункової сітки (рецепторних точках), що були рівномірно розміщені на території дослідження зони впливу Трипільської ТЕС.

На підставі виконаних розрахунків було отримано усереднені рівні 1-годинних, 24-годинних та річних концентрацій азоту діоксиду, оксиду вуглецю, сірки діоксиду, пилу НДЗС та твердих часток пилу ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ), що формують експозиційне навантаження для здоров'я населення, яке проживає в зоні впливу Трипільської ТЕС. Отримані рівні усереднених концентрацій були порівняні з чинними вітчизняними гігієнічними нормативами ( $ГДК_{м.р.}$ ,  $ГДК_{с.д.}$ ) та референтними концентраціями ( $RfC_{acute}$ ;  $RfC_{chronic}$ ), що дозволило надалі оцінити ризик для здоров'я населення за умови гострого та хронічного інгаляційних впливів пріоритезованих забруднюючих речовин.

За результатами проведених розрахунків, узагальнених за всіма рецепторними точками, перевищень гігієнічних нормативів (отримані рівні усереднених 1-годинних концентрацій були порівняні з  $ГДК_{м.р.}$ , 24-годинні концентрації з  $ГДК_{с.д.}$ ) не виявлено для таких забруднюючих речовин як: азоту діоксид, сірки діоксид та вуглецю оксид (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

**Описова статистика усереднених концентрацій забруднюючих речовин  
у розрахункових точках зони впливу Трипільської ТЕС**

Забруднююча речовина, період усереднення		Концентрація, мг/м <sup>3</sup>			
		Мінімальне значення	Максимальне значення	Середнє значення	Медіана
NO <sub>2</sub>	1-година	0,04	0,86	0,13	0,12
	24-години	0,01	0,05	0,02	0,02
	рік	0,001	0,008	0,002	0,001
CO	1-година	0,02	1,95	0,13	0,08
	24-години	0,003	0,59	0,02	0,01
	рік	0,0002	0,027	0,002	0,001
SO <sub>2</sub>	1-година	0,09	0,44	0,25	0,26
	24-години	0,01	0,07	0,04	0,04
	рік	0,001	0,007	0,003	0,003

Порівняння змодельованих 1-годинних концентрацій пилю НДЗС та 24-годинних концентрацій твердих часток пилю з чинним гігієнічним нормативом та міжнародними критеріями відповідно, встановило високе забруднення ПША на відстані 2-4 км від ТЕС (рис. 3.26, 3.27, 3.28).

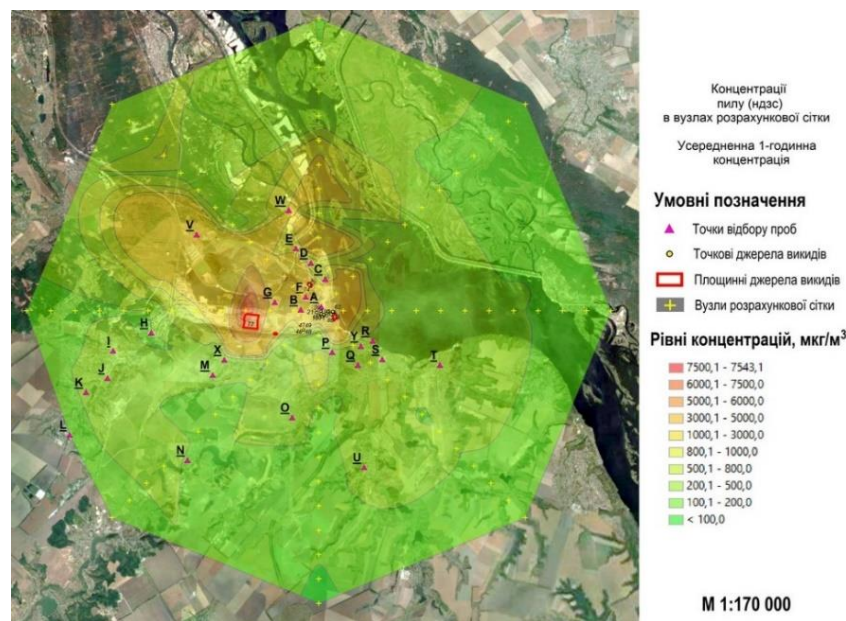


Рисунок 3.26 - Просторове поширення усереднених 1-годинних концентрацій пилю НДЗС в зоні впливу Трипільської ТЕС

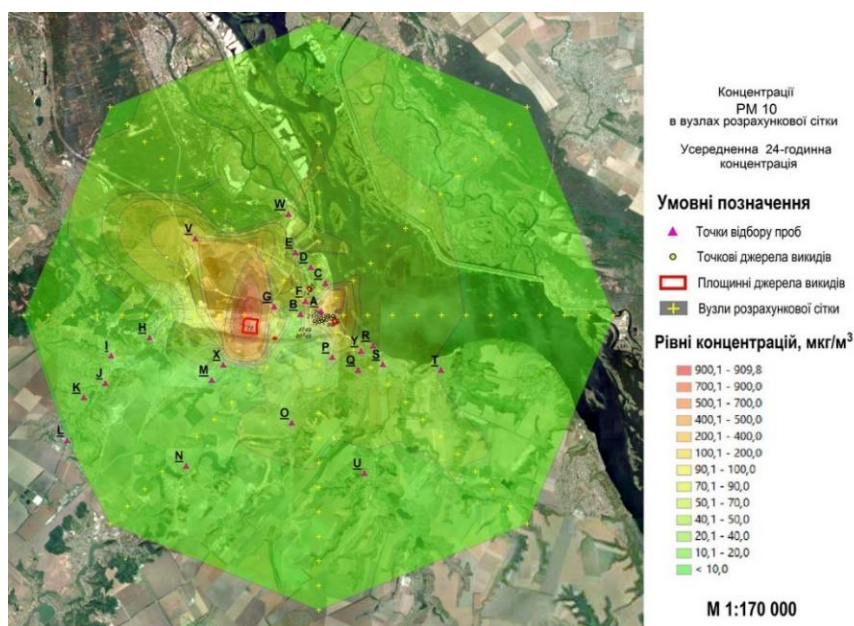


Рисунок 3.27 - Просторове поширення усереднених 24-годинних концентрацій  $PM_{10}$  в зоні впливу Трипільської ТЕС

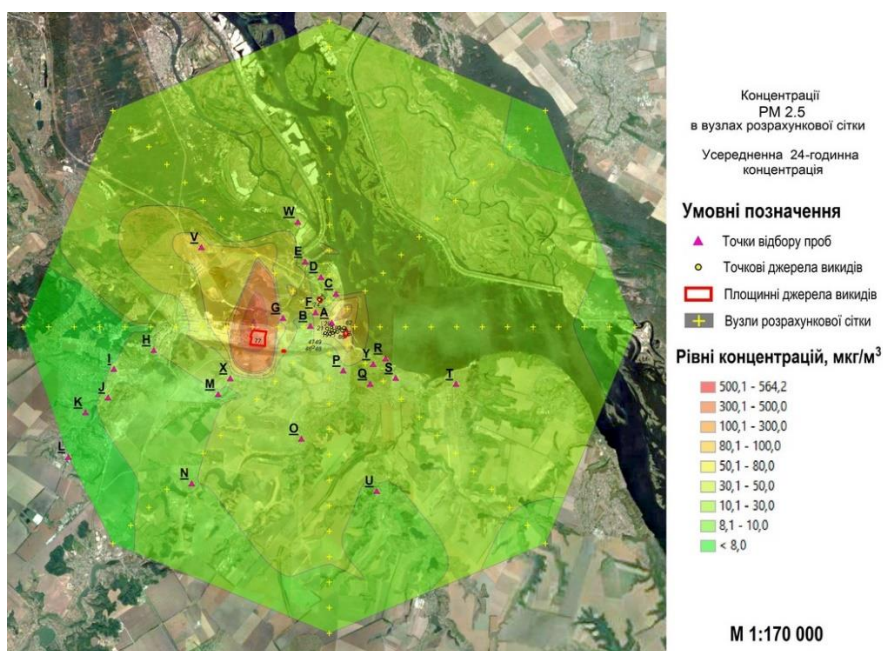


Рисунок 3.28 - Просторове поширення усереднених 24-годинних концентрацій  $PM_{2.5}$  в зоні впливу Трипільської ТЕС

Це було обумовлено впливом та наближенням золовідвалу до контрольних точок, де проводилися дослідження. Концентрації пилу НДЗС знаходилися на рівні 6,6-15 ГДК<sub>м.р.</sub>,  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  перевищували граничні значення Директиви 2008/50/ЄС та ВООЗ у 4-18 рази та 3-23 рази відповідно.

Аналіз та оцінка отриманих результатів моделювання поширення забруднення атмосферного повітря, встановили що усереднені концентрації пилу НДЗС,  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  перевищували граничні значення у радіусі до 10 км у північно-західному напрямку від ТЕС, що було обумовлено метеорологічними умовами та топографічними особливостями території зони впливу підприємства.

З метою оцінки репрезентативності отриманих даних (концентрацій забруднюючих речовин) у 25 контрольних точках, які розташовані в 9 населених пунктах, що потрапляють в зону впливу Трипільської ТЕС, було проведено порівняльний аналіз даних отриманих при проведенні натурних вимірювань та змодельованих.

Таким чином, отримані за допомогою програмного забезпечення ISC-AERMOD, усереднені 1-годинні концентрації пилу НДЗС та 24-годинні концентрації  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  були порівняні з відповідними значеннями індикативних вимірювань (табл. 3.4)

Таблиця 3.4

**Порівняльний аналіз концентрацій пилу НДЗС,  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  у  
25 контрольних точках зони впливу Трипільської ТЕС**

КТ	Середнє значення концентрації (період осереднення)					
	Пил НДЗС (1-год., мг/м <sup>3</sup> )		$PM_{10}$ (24-год., мкг/м <sup>3</sup> )		$PM_{2.5}$ (24-год., мкг/м <sup>3</sup> )	
	вимірювання ( $\sigma$ )	моделю вання	вимірювання ( $\sigma$ )	моделю вання	вимірювання ( $\sigma$ )	моделю вання
1	2	3	4	5	6	7
A	1,41 (0,67)	1,85	36,3 (11,6)	124,3	24,7 (12,5)	82,0
B	1,62 (0,51)	1,03	38,1 (10,4)	33,0	26,8 (11,3)	21,8
C	0,53 (0,23)	0,68	25,0 (9,3)	28,1	21,8 (11,2)	18,5
D	0,72 (0,26)	0,56	28,2 (8,4)	24,0	17,7 (6,7)	15,8
E	0,71 (0,29)	0,70	30,6 (9,2)	36,3	18,4 (7,5)	24,0
F	0,78 (0,51)	1,92	33,1 (9,8)	59,6	19,5 (7,3)	39,3
G	1,66 (0,48)	2,02	41,2 (11,6)	54,0	26,1 (9,2)	35,6
H	1,04 (0,35)	0,16	29,2 (8,3)	16,1	17,9 (6,4)	10,6
I	0,65 (0,27)	0,20	20,9 (5,5)	13,1	14,8 (5,9)	8,6
J	0,95 (0,47)	0,19	22,8 (9,5)	13,4	14,9 (6,7)	8,8
K	0,54 (0,19)	0,18	17,9 (5,6)	12,5	11,4 (4,9)	8,3
L	0,50 (0,27)	0,12	17,2 (5,0)	9,7	11,1 (3,6)	6,4

1	2	3	4	5	6	7
M	0,50 (0,31)	0,21	20,4 (5,7)	15,2	12,6 (4,5)	10,0
X	0,53 (0,25)	0,22	21,1 (5,3)	16,8	14,0 (5,1)	11,1
N	0,28 (0,14)	0,16	18,4 (5,5)	15,8	12,3 (4,3)	10,4
O	0,29 (0,13)	0,27	23,0 (7,8)	24,6	13,1 (5,1)	16,2
P	0,43 (0,20)	0,46	30,3 (11,1)	44,8	22,0 (11,5)	29,6
Q	0,39 (0,23)	0,19	30,3 (11,5)	22,1	18,3 (8,3)	14,6
R	0,51 (0,14)	0,42	22,1 (6,9)	27,9	18,4 (8,3)	18,4
S	0,46 (0,13)	0,23	28,0 (9,4)	31,5	15,6 (6,0)	20,8
Y	0,46 (0,20)	0,41	30,8 (10,4)	44,8	20,0 (8,8)	29,6
T	0,40 (0,19)	0,23	29,3 (9,8)	19,3	18,6 (7,8)	12,7
U	0,36 (0,27)	0,25	22,6 (7,4)	14,4	15,5 (6,7)	9,5
V	0,84 (0,54)	1,41	25,8 (3,1)	97,9	19,0 (7,0)	64,6
W	0,36 (0,19)	1,02	25,2 (8,6)	41,8	17,8 (7,3)	27,6

Змодельовані концентрації знаходилися в межах похибок (менше  $2\sigma$ ) для  $PM_{2.5}$  – у 64 % (24 %), пилу НДЗС – у 56 % (32 %),  $PM_{10}$  – у 48 % (36 %) випадків. Концентрації пилу НДЗС в КТ Н та І м. Обухів були значно більшими ніж розрахункові, що насамперед могло бути пов'язано з інтенсивним рухом автотранспорту та наявністю джерел викидів промислових підприємств поруч з місцем проведення аналізу повітря. Було виявлено, що виміряні концентрації пилу НДЗС та  $PM_{10}$  у 3 КТ (F – м. Українка, V – с. Таценки, W – с. Плюти) можуть бути недооцінені, що потребує додаткового вивчення забруднення атмосферного повітря на даних ділянках, з метою виявлення впливу високих концентрацій забруднюючих речовин на здоров'я експонованого населення, яке проживає в зоні впливу Трипільської ТЕС.

### Висновки до розділу 3

Результати дослідження свідчать про те, що вугільні ТЕС є джерелом забруднення атмосферного повітря пилом НДЗС,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  та сприяють утворенню тропосферного озону внаслідок викидів його прекурсорів. Отже, за відсутності повних та репрезентативних даних моніторингових спостережень обґрунтованим є використання методів моделювання рівнів забруднення у приземному шарі атмосфери зон впливу функціонування ТЕО, необхідних для

подальших оцінок соціальних збитків заподіяних здоров'ю населення. На підставі проведеної гігієнічної оцінки та аналізу забруднення атмосферного повітря викидами Трипільської ТЕС було отримано наступні результати, які підтверджують вищезазначені висновки.

1. Встановлено, що рівні концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі знаходилися у діапазоні:  $0,0002 \div 0,051$  мг/м<sup>3</sup> (медіана: 0,006 мг/м<sup>3</sup>) для азоту діоксиду;  $0,013 \div 0,541$  мг/м<sup>3</sup> (медіана: 0,153 мг/м<sup>3</sup>) для оксиду вуглецю;  $0,007 \div 0,339$  мг/м<sup>3</sup> (медіана: 0,086 мг/м<sup>3</sup>) для сірки діоксиду та не перевищували ГДК<sub>м.р.</sub>

2. Визначено, що середні значення концентрацій пилу НДЗС отримані протягом квітня-липня та жовтня-листопада знаходилися, відповідно на рівні:  $0,65 \pm 0,04$  мг/м<sup>3</sup> (медіана – 0,45 мг/м<sup>3</sup>) та  $0,70 \pm 0,03$  мг/м<sup>3</sup> (медіана – 0,58 мг/м<sup>3</sup>). Перевищення за максимальним значенням становило 5,4 частки ГДК<sub>м.р.</sub>; за середніми значеннями у теплий період року від 1,1 до 3,6 частки ГДК<sub>м.р.</sub> та у холодний період року від 1,1 до 3,2 частки ГДК<sub>м.р.</sub>. Встановлено найбільші рівні концентрацій (3,4-3,6 ГДК<sub>м.р.</sub>) на відстані до 2 км від джерел викидів; 2-3 км – не перевищували 1,5 ГДК<sub>м.р.</sub>, 3-6 км – 1,2 ГДК<sub>м.р.</sub>, 6-7 км – 1,0 ГДК<sub>м.р.</sub>

3. З'ясовано, що середньодобові рівні забруднення твердими частками пилу реєструвалися протягом квітня-липня та жовтня-листопада відповідно у діапазоні: для РМ<sub>10</sub>  $10,0 \div 42,5$  мг/м<sup>3</sup> (медіана – 18,8 мкг/м<sup>3</sup>) та  $15,1 \div 53,4$  мг/м<sup>3</sup> (медіана – 33,0 мкг/м<sup>3</sup>); для РМ<sub>2.5</sub>  $5,8 \div 32,2$  мг/м<sup>3</sup> (медіана – 9,8 мкг/м<sup>3</sup>) та  $10,4 \div 36,6$  мг/м<sup>3</sup> (медіана – 23,8 мкг/м<sup>3</sup>). Виявлено збільшення рівня забруднення атмосферного повітря РМ<sub>10</sub> в 1,8 раза та РМ<sub>2.5</sub> у 2,3 раза в опалювальний сезон (жовтень-листопад) порівняно з міжопалювальним періодом (квітень-липень). Перевищення рівнів концентрацій РМ<sub>2.5</sub> спостерігалось в опалювальний період у 28 % вимірювань. Найбільші рівні концентрацій РМ<sub>10</sub> зафіксовані на відстані до 1 км (перевищення в 1,1 раза); РМ<sub>2.5</sub> на відстані до 2 км (в 1,4-1,5 раза).



4. Виявлено перевищення середніх значень концентрацій озону ( $0,147 \div 0,291$  мг/м<sup>3</sup>; медіана:  $0,198$  мг/м<sup>3</sup>) за вітчизняним нормативом ( $1,03$ - $1,7$  ГДК<sub>м.р.</sub>) та міжнародними критеріями (8-годинна концентрація: ВООЗ в  $1,9$ - $2,2$  рази; Директива 2008/50/ЄС в  $1,7$ - $1,9$  рази) відповідно в  $95$  % та  $100$  % вимірювань проведених протягом квітня-липня. Протягом жовтня-листопада масові концентрації озону в атмосферному повітрі не перевищували ГДК<sub>м.р.</sub> у жодній контрольній точці ( $0,5 \div 0,9$  ГДК), але перевищували граничні значення рекомендовані ВООЗ в  $1,2$ - $1,3$  рази.

5. Встановлено достовірний кореляційний зв'язок між масовими концентраціями O<sub>3</sub> та температурою, відносною вологістю, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> та PM<sub>2,5</sub>; між PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> та CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, температурою і відносною вологістю.

6. Змодельовано 1-годинні концентрації пилу НДЗС і 24-годинні концентрації PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> та проведено порівняльний аналіз з даними натурних вимірювань. Визначено перевищення у радіусі до  $10$  км у північно-західному напрямку від ТЕС та встановлено максимальне перевищення (обумовлене впливом золовідвалу) на відстанях  $2$ - $4$  км для: пилу НДЗС – на рівні  $6,6$ - $15$  часток ГДК<sub>м.р.</sub>; концентрації PM<sub>10</sub> та PM<sub>2,5</sub> у  $4$ - $18$  рази та  $3$ - $23$  рази, відповідно до граничних значень Директиви 2008/50/ЄС та ВООЗ.

Матеріали даного розділу відображені в наступних публікаціях: [229, 234, 237, 300].

## РОЗДІЛ 4

### ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТВЕРДИМИ ЧАСТКАМИ ПИЛУ ( $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ ) ТА ОЗОНОМ У М. КИЇВ

#### 4.1 Гігієнічна оцінка забруднення атмосферного повітря $PM_{10}$ та $PM_{2.5}$ у м. Київ (за даними моніторингових досліджень)

Моніторингові дослідження рівнів концентрацій твердих часток пилу ( $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ ) проводилися протягом року, з червня 2017 по травень 2018 років на стаціонарному пості спостережень, який забезпечує автоматичне безперервне вимірювання концентрацій з одногодинним усередненням даних. Слід зазначити, що пост розташований в зоні впливу Дарницької ТЕЦ-4 ТОВ «ЄВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ», яка в своєму виробничому процесі використовує вугілля як основний вид палива (у 2017 р. – 90 %; у 2018 – 63 %) та є найбільшим стаціонарним джерелом забруднення міста. Виходячи з умови 40 висот найвищого джерела викиду зона впливу ТЕЦ становить – 4000 м (висота труб – 100 м. Відстань між постом моніторингу та джерелами викидів ТЕЦ ТОВ «ЄВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ» складає 1440 м [253, 254].

Водночас, для оцінки якості атмосферного повітря від забруднення  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  використовувалися такі показники, як: середньодобова, середньомісячна, середньорічна концентрації та кількість днів з перевищенням середньодобових концентрацій  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ . Отримані дані були зіставлені з міжнародними критеріями (стандартами), рекомендованими ВООЗ та Директивою 2008/50/ЄС [37, 97, 103, 104].

На підставі проведених фіксованих вимірювань, визначено, що 1-годинні концентрації твердих часток пилу коливалися в діапазоні (min-max) для:  $PM_{10}$  (1,0÷320,0 мкг/м<sup>3</sup>) та  $PM_{2.5}$  (1,0÷153,0 мкг/м<sup>3</sup>). Максимальні 24-годинні рівні  $PM_{10}$  визначалися у квітні (118,8 мкг/м<sup>3</sup>),  $PM_{2.5}$  у січні (68,9 мкг/м<sup>3</sup>), листопаді (66,5 мкг/м<sup>3</sup>) та березні (65,4 мкг/м<sup>3</sup>) (рис. 4.1 та 4.2). Максимальне перевищення

рекомендованих граничних рівнів становило для:  $PM_{10}$  у 2,4 раза (Директива 2008/50/ЄС),  $PM_{2.5}$  у 2,7 раза (ВООЗ) [37, 97, 103, 104].

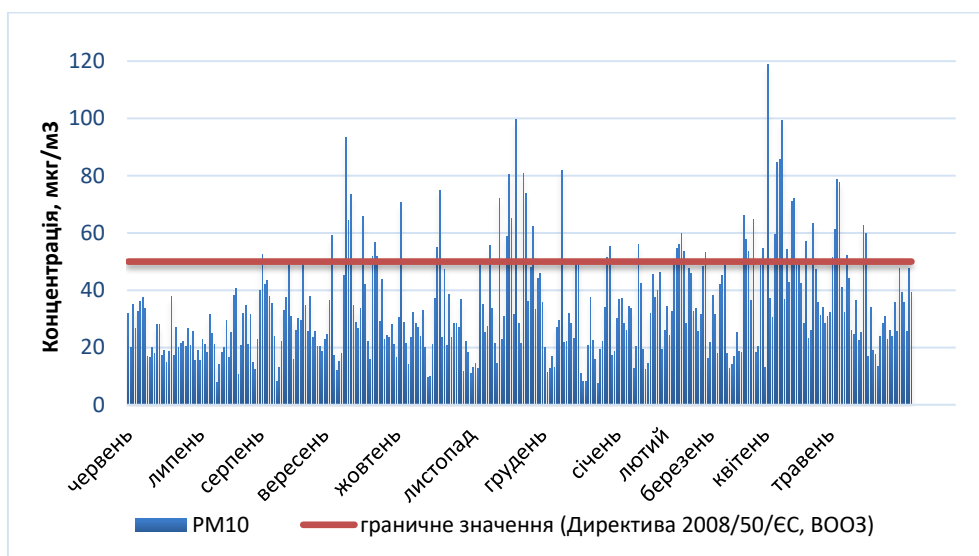


Рисунок 4.1 – Середньодобові концентрації  $PM_{10}$  в атмосферному повітрі, м. Київ (з червня 2017 р. по травень 2018 р.)

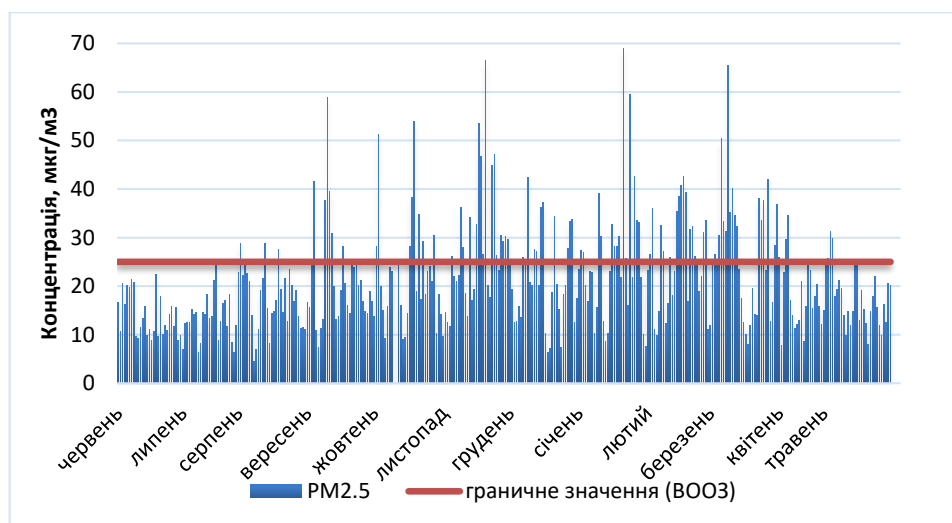


Рисунок 4.2 – Середньодобові концентрації  $PM_{2.5}$  в атмосферному повітрі, м. Київ (з червня 2017 р. по травень 2018 р.).

Проведені дослідження показали, що кількість днів з перевищенням середньодобової концентрації становило для:  $PM_{10}$  – 54 доби (17 % від загальної

кількості проведених досліджень),  $PM_{2.5}$  - 95 діб (27 % проб), що перевищує рівні рекомендовані Директивою 2008/50/ЄС та ВООЗ (табл.4.1) [37, 97, 103, 104].

Таблиця 4.1

**Порівняння кількості днів з перевищенням концентрацій  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ , відповідно до вимог рекомендованих ВООЗ і Директивою 2008/50/ЄС**

Назва речовини	Період осереднення	Директива 2008/50/ЄС	Рекомендації ВООЗ	Кількість днів з перевищенням
$PM_{10}$	24 години	50 мкг/м <sup>3</sup> не повинна перевищувати 35 днів/рік	–	54
$PM_{2.5}$	24 години	–	25 мкг/м <sup>3</sup> не повинна перевищувати 3 дні/рік	95

Як видно з таблиці 4.2 найбільша кількість днів з перевищенням середньодобової концентрації  $PM_{2.5}$  (від 10 до 17 днів) спостерігалась з листопада по березень (від 10 до 16 днів),  $PM_{10}$  – у квітні (11 днів) та листопаді (10 днів).

Таблиця 4.2

**Кількість днів з перевищенням концентрацій  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$**

Місяць, рік	Кількість днів з перевищенням 24-годинної концентрації	
	$PM_{10}$	$PM_{2.5}$
червень, 2017 р.	-	-
липень, 2017 р.	-	-
серпень, 2017 р.		3
вересень, 2017 р.	8	7
жовтень, 2017 р.	3	8
листопад, 2017 р.	10	16
грудень, 2017 р.	3	10
січень, 2018 р.	1	14
лютий, 2018 р.	5	15
березень, 2018 р.	5	16
квітень, 2018 р.	11	3
травень, 2018 р.	7	3

Найбільша частка днів з перевищенням середньодобової концентрації  $PM_{2.5}$  припадає на опалювальний період (83 %), що підтверджує той факт, що найбільшим джерелом викидів  $PM_{2.5}$  є ТЕО;  $PM_{10}$  – на осінній (вересень-листопад; 39 %) та весняний (квітень-травень; 33 %) періоди та було обумовлено насамперед, несприятливими метеорологічними умовами, активним пилкуванням рослин, тощо [49].

Міжсезонна мінливість аерозольного забруднення приземного шару атмосферного повітря  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  показаний у таблиці 4.3, де представлено середні за місяць концентрації твердих часток пилу, що розраховані з використанням 24-годинних концентрацій [255, 256].

Таблиця 4.3

**Середньомісячні концентрації  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  у приземному шарі атмосфери, м. Київ (з червня 2017 р. по травень 2018 р.)**

Місяць, рік	Концентрація, мкг/м <sup>3</sup>					
	$PM_{10}$			$PM_{2.5}$		
	max	M±m	min	max	M±m	Min
червень, 2017 р.	37,8	24,1±1,3	7,1	22,5	14,0±0,8	8,7
липень, 2017 р.	40,7	22,6±1,7	8,6	24,7	13,4±0,9	6,3
серпень, 2017 р.	52,5	30,6±2,2	8,3	28,8	17,4±1,1	4,5
вересень, 2017 р.	93,5	36,8±3,6	22,9	58,9	21,7±2,0	7,5
жовтень, 2017 р.	75,0	29,1±2,8	9,4	54,0	22,5±2,1	9,1
листопад, 2017 р.	99,6	41,6±4,3	11,0	66,5	27,7±2,4	9,6
грудень, 2017 р.	81,9	26,6±3,0	7,4	42,5	21,4±1,7	6,4
січень, 2018 р.	55,8	31,2±2,7	12,3	68,9	25,5±2,5	7,6
лютий, 2018 р.	59,7	39,7±3,0	16,1	42,65	25,8±1,8	9,9
березень, 2018 р.	66,1	34,3±3,7	12,7	65,4	27,1±2,4	8,0
квітень, 2018 р.	118,8	50,1±4,9	13,0	34,6	18,1±1,6	7,8
травень, 2018 р.	68,8	36,5±1,0	13,3	31,3	17,7±1,1	7,9

Найвищі середньомісячні концентрації твердих часток пилу визначались для:  $PM_{10}$  у квітні (50 мкг/м<sup>3</sup>) після сходу снігового покриву в сезон активного пилкування рослин;  $PM_{2.5}$  у листопаді (28 мкг/м<sup>3</sup>), березні (27 мкг/м<sup>3</sup>), січні та лютому (26 мкг/м<sup>3</sup>) під час опалювального сезону (період опалення 2017/2018 рр. в

м. Києві тривав з 9/16 жовтня (об'єкти соціальної сфери/житлові будинки, адміністративні будівлі) по 6 квітня [115, 267-269].

Значення 24-годинних концентрацій  $PM_{2.5}$ , що визначалися протягом жовтня-березня у середньому в 1,5 раза перевищували величини отримані в міжопалювальний сезон (квітні-вересні) та знаходилися відповідно на рівні: 25,0  $мкг/м^3$  (медіана – 23,3  $мг/м^3$ ) та 17,1  $мкг/м^3$  (медіана – 15,6  $мг/м^3$ ). При цьому, 25 % та 75 % результатів були в межах: опалювальний період – 15,9÷32,2  $мкг/м^3$ , міжопалювальний сезон – 12,0÷20,7  $мг/м^3$  (рис. 4.3).

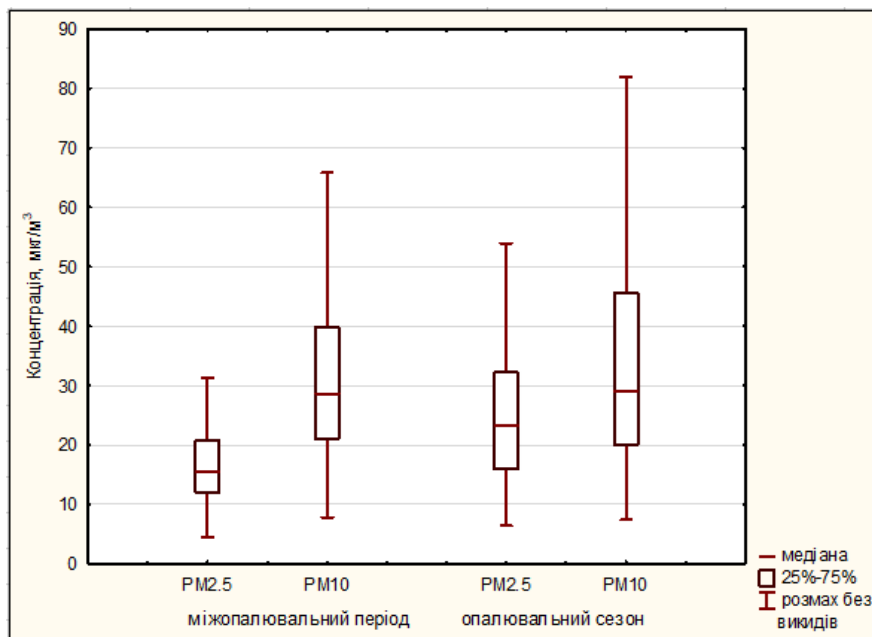


Рисунок 4.3 - Діаграма розмаху концентрацій  $PM_{2.5}$  та  $PM_{10}$  в опалювальний та міжопалювальний періоди в м. Київ,  $мкг/м^3$  (з червня 2017 р. по травень 2018 р.).

Концентрації  $PM_{10}$  характеризувалися більшою однорідністю у порівнянні з  $PM_{2.5}$  та знаходилися на рівні: 33,4  $мкг/м^3$  (медіана – 29,0  $мкг/м^3$ ; нижній і верхній квартилі: 20,0-45,7  $мкг/м^3$ ) – у жовтні-березні та 33,6  $мкг/м^3$  (медіана – 28,6  $мкг/м^3$ ; нижній і верхній квартилі: 21,0-41,0  $мкг/м^3$ ) – у квітні-вересні.

У таблиці 4.4 представлено дані описової статистики 24-годинних концентрацій твердих часток пилу отриманих протягом періоду дослідження.

Таблиця 4.4

**Концентрації  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  у приземному шарі атмосферного повітря  
м. Київ (червень 2017 р. – травень 2018 р.), мкг/м<sup>3</sup>**

Назва речовини	$M \pm m$	mediana	min	max	25 %	75 %
$PM_{10}$	33,47±1,01	28,60	7,36	118,77	20,52	42,13
$PM_{2.5}$	21,21±0,58	19,10	4,50	68,88	13,54	26,33

З представленої таблиці 4.4 видно, що середньорічні масові концентрації твердих часток пилу знаходилися на рівні: 33,0 мкг/м<sup>3</sup> для  $PM_{10}$  та 21,0 мкг/м<sup>3</sup> для  $PM_{2.5}$ . Результати аналізу даних свідчать про те, що середньорічні рівні забруднення атмосферного повітря  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  знаходяться на досить небезпечному рівні, згідно рекомендаціям ВООЗ, але не перевищують граничні значення зазначені у Директиві 2008/50/ЄС та Постанові КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827 [37, 201]. Отриманні дані встановили, що населення перебуває під хронічним інгаляційним впливом атмосферного повітря, що забруднене твердими частками пилу ( $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ ) та потребують подальших кількісних оцінок їх впливу на громадське здоров'я, що буде представлено в рамках запланованих даною роботою досліджень.

#### **4.2 Оцінка взаємозв'язку та співвідношення між окремими фракціями твердих часток пилу ( $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ )**

Епідеміологічні дослідження проведені у багатьох країнах світу свідчать про статистичні кореляції між короткочасним (обмеженим у часі) та тривалим впливом підвищених концентрацій твердих часток пилу (насамперед,  $PM_{2.5}$ ) на підвищення захворюваності та передчасної смертності [16-20, 260-264]. Тому дуже важливо проаналізувати взаємозв'язок між концентраціями  $PM_{2.5}$  і  $PM_{10}$  та встановити частку (співвідношення), яку складають  $PM_{2.5}$  в  $PM_{10}$ , особливо на територіях, де в

атмосферному повітря вимірюються лише концентрації  $PM_{10}$ . Це дозволить не лише орієнтовно оцінити забруднення атмосферного повітря  $PM_{2.5}$ , але й обґрунтувати доцільність застосування співвідношення при ретроспективному прогнозуванні концентрацій та оцінок їх впливу на громадське здоров'я, якщо доступні тільки дані  $PM_{10}$  [104]. За даними досліджень виконаних у різних країнах було встановлено, що співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  не є постійним та може змінюватися не тільки з часом, але і в залежності від відстані до джерела забруднення, пори року, доби, погодних умов і рельєфу місцевості [265, 256]. Згідно з даними ВООЗ значення співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  дорівнює 0,5, що знаходиться в нижній частині діапазону, який розрахований для міських районів розвинених країн (0,5-0,8) [96, 103]. Загальновідомо, що найпростіші підходи до оцінки співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  передбачають його обчислення з річної усередненої концентрації або шляхом проведення розрахунків середньодобового коефіцієнта з наступним усереднення його протягом року. Основним та достовірним підходом при оцінках таких співвідношень є обчислення нахилу лінійної регресії середньодобових концентрацій, що також було використано в рамках проведених досліджень [267-270].

Аналізуючи вищевикладене, нами було досліджено та оцінено взаємозв'язок між концентраціями  $PM_{2.5}$  та  $PM_{10}$ , що були отриманні під час проведення фіксованих вимірювань на стаціонарному пості, розташованому у м. Київ. Мета дослідження полягала в тому, щоб встановити чи може вимірювана концентрація  $PM_{10}$  використовуватися для орієнтовної оцінки концентрації  $PM_{2.5}$  в місцях, де моніторинг за даною речовиною відсутній. Таким чином, вивчення взаємозв'язку між концентраціями  $PM_{2.5}$  та  $PM_{10}$  проводилося за наступною процедурою розрахунку коефіцієнта співвідношення, а саме з використанням:

- 1) ділення вимірених середньодобових значень концентрацій  $PM_{2.5}$  на  $PM_{10}$  з наступним осередненням значень;
- 2) регресійного аналізу;



3) розрахунків коригувальних коефіцієнтів ( $k$ ) для підвищення точності визначення концентрацій  $PM_{2.5}$  окремо для опалювального сезону та міжопалювального періоду на основі наявних концентрацій  $PM_{10}$ .

Для дослідження були відібрані значення  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ , що відповідають наступним критеріям:

- концентрації  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  виміряні одночасно;
- досліджуваний об'єм даних не менше 75 % (а саме, не менше 274 значень середньодобових масових концентрацій  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ );
- кореляція між середньодобовими концентраціями  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  має бути не менше 0,7. Водночас, слід зазначити, що кореляція не виявляє міжрічних змін і становить у середньому 0,86-0,88, за виключенням постів моніторингу, що розташовані поруч з рухом автотранспорту, де може спостерігатись нижча кореляція ( $R = 0,81$ ) [269].

З метою виявлення наявності та встановлення тісноти кореляційних взаємозв'язків між  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  було використано ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена, який є непараметричною мірою статистичної залежності між двома змінними. Для статистичного аналізу було використано 290 середньодобових концентрацій  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ , отриманих одночасно протягом усього періоду досліджень.

Розрахований коефіцієнт кореляції між твердими частками пилю, визначеними у приземному шарі атмосфери знаходився на рівні 0,89 ( $p < 0,001$ ). Перевірка значущості отриманих коефіцієнтів проводилася за  $t$ -критерієм Стюдента, шляхом перевірки гіпотези рівності нулю.

Таблиця 4.5

#### Рангова кореляція Спірмена між $PM_{2.5}$ та $PM_{10}$

Пара змінних	Spearman R	t(N-2)	p – level
$PM_{2.5}$ та $PM_{10}$	0,89	32,72	< 0,001

Як видно з таблиці 4.5 гіпотеза щодо незначущості кореляційного коефіцієнта відхиляється, тобто кореляційний взаємозв'язок між  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  статистично значущий. Високе значення кореляції між твердими частками пилу може вказувати на загальні джерела викидів, а іноді на загальні метеорологічні показники, що впливають на концентрації  $PM$  [271-273].

Що стосується питання розрахунку співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  з застосуванням середньодобових значень, то для досліджень були використані 24-годинні концентрації твердих часток пилу ( $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ ), що були отримані протягом року (з червня 2017 р. по травень 2018 р.) на стаціонарному пості моніторингу. Коефіцієнт для кожної з 290 пар зареєстрованої концентрації був розрахований шляхом ділення вимірних концентрацій  $PM_{2.5}$  на  $PM_{10}$ , а отримані коефіцієнти в подальшому були використані для розрахунку середньомісячних та річного співвідношень. Якщо для будь-якої речовини дані були відсутні, цю пару виключали з розрахунків.

Сезонний аналіз виявив коливання між середньомісячними співвідношеннями  $PM_{2.5}/PM_{10}$  протягом року. Встановлено, що найбільші рівні співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  (в межах 0,69-0,85) визначались з жовтня по березень (опалювальний сезон) і насамперед були пов'язані з антропогенними джерелами забруднення атмосферного повітря, включаючи ВСУ, що працюють на вугіллі [274-277]. Найменше співвідношення спостерігалось у квітні (0,44), що свідчить про переважання великих часток в загальному забрудненні приземного шару атмосферного повітря  $PM$  (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

**Середньомісячне співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  розраховане з використанням 24-годинних коефіцієнтів**

Місяць, рік	Співвідношеннями $PM_{2.5}/PM_{10}$		
	max	$M \pm m$	Min
1	2	3	4
червень, 2017 р.	0,69	$0,57 \pm 0,01$	0,50
липень, 2017 р.	0,81	$0,61 \pm 0,02$	0,48
серпень, 2017 р.	0,60	$0,56 \pm 0,01$	0,49

1	2	3	4
вересень, 2017 р.	0,90	0,62±0,02	0,42
жовтень, 2017 р.	0,96	0,78±0,01	0,64
листопад, 2017 р.	0,94	0,72±0,03	0,47
грудень, 2017 р.	0,99	0,85±0,02	0,52
січень, 2018 р.	0,80	0,71±0,01	0,65
лютий, 2018 р.	0,81	0,70±0,01	0,59
березень, 2018 р.	0,81	0,68±0,02	0,55
квітень, 2018 р.	0,61	0,47±0,03	0,29
травень, 2018 р.	0,81	0,52±0,02	0,38

За результатами частотного аналізу встановлено, що найбільший відсоток значень середньодобових співвідношень  $PM_{2.5}/PM_{10}$  протягом опалювального сезону та в міжопалювальний період знаходився, відповідно в межах: 0,70-0,80 (34 %) та 0,60-0,70 (43 %) (рис. 4.4). В опалювальний період близько 80 % співвідношень знаходились на рівні 0,6-0,9, що свідчить про те, що дрібні тверді частки ( $PM_{2.5}$ ) є основним джерелом забруднення  $PM$  [165, 247, 265].

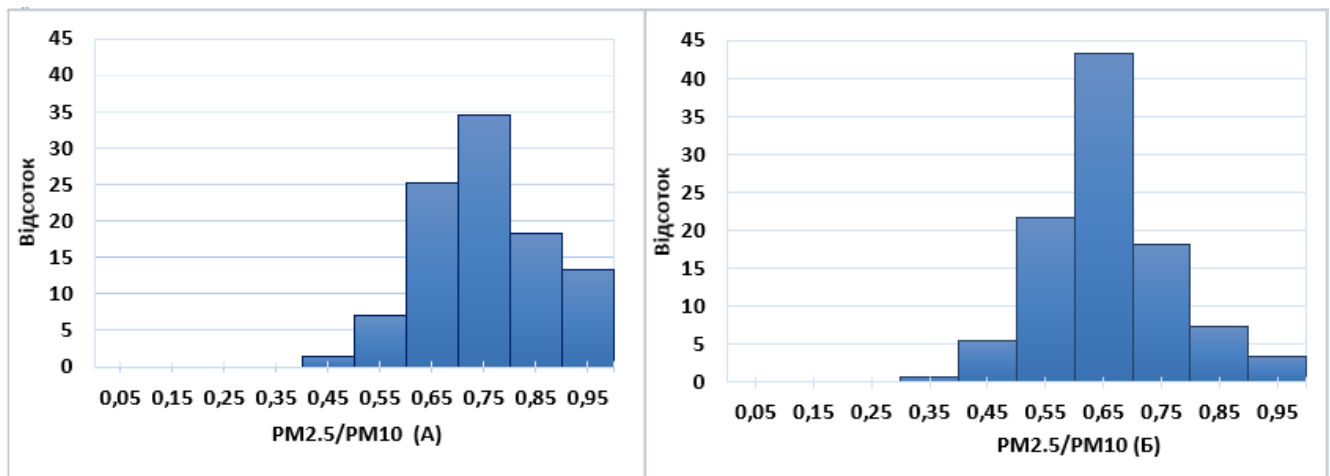


Рисунок 4.4 - Частотний розподіл співвідношень  $PM_{2.5}/PM_{10}$  в опалювальний період (А) та міжопалювальний сезон (Б)

Водночас розраховані з використанням середньодобових коефіцієнтів співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  знаходилися на рівні: 0,75 – опалювальний сезон; 0,56 – міжопалювальний період; 0,65 – рік (табл. 4.7). Отриманні результати співвідносяться з даними оприлюдненими науковцями Китаю, Великобританії, США, Італії, Колумбії, ВООЗ та інших країн світу [96, 103, 197, 278-280].

Отже, отримані результати свідчать, що протягом опалювального сезону  $PM_{2.5}$  є домінуючим джерелом забруднення атмосферного повітря твердими частками пилу, а зниження його рівня має вирішальне значення в системі гігієнічної оцінки якості повітря на державному рівні.

Таблиця 4.7

**Співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  розраховане для опалювального сезону,  
міжопалювального періоду та року**

$PM_{2.5}/PM_{10}$	Кількість	$M \pm m$	mediana	Min	Max
опалювальний сезон	142	$0,75 \pm 0,01$	0,73	0,47	0,99
міжопалювальний період	148	$0,56 \pm 0,01$	0,57	0,29	0,90
рік	290	$0,65 \pm 0,01$	0,64	0,29	0,99

В подальшому отримане значення середньорічного співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  було використано для розрахунку середньодобових та середньорічних концентрацій  $PM_{2.5}$  з використанням коефіцієнта 0,65. Для встановлення кількості збігів розрахованих середньодобових значень  $PM_{2.5}$  із зареєстрованими, проведено визначення відсотку їх збігів за допомогою частотного аналізу в інтервалі відхилень  $[-3; +3]$   $мкг/м^3$  для всього масиву даних й окремо для опалювального сезону та міжопалювального періоду (табл. 4.8).

Таблиця 4.8

**Результати визначення точності розрахунку середньодобових  
концентрацій  $PM_{2.5}$**

Відсоток збігів часовий проміжок	Відсоток збігу розрахованих та зареєстрованих значень у заданому інтервалі			
	-0,5; +0,5	-1; +1	-2; +2	-3; +3
рік	5,86	16,55	36,20	55,17
опалювальний сезон	9,15	19,04	32,39	51,32
міжопалювальний період	2,70	14,19	39,86	58,78

Таблиця 4.8 показує, що відсоток збігів розрахованих, при застосуванні середньорічного співвідношення 0,65 та фактичних концентрацій  $PM_{2.5}$  в інтервалі

відхилень  $[-3;+3]$  становить від 51,32 до 58,78 %. Відсоток збігу був вищий в інтервалі відхилень  $[-0,5;+0,5]$ ,  $[-1;+1]$  для опалювального сезону.

На наступних етапах виконання роботи, додатково за допомогою лінійної регресії запропоновано модель зв'язку залежності концентрацій  $PM_{2.5}$  від  $PM_{10}$ , де точність моделі було оцінено на основі значення коефіцієнта детермінації ( $R^2$ ). Передбачалось, що між концентраціями немає точної лінійної чи прямої залежності оскільки, співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  змінюється протягом доби та пори року залежно від метеорологічних та інших факторів. Це було помічено на багатьох ділянках як у сільській місцевості, так і у містах. Наприклад, навесні та влітку визначається більша частка  $PM_{10}$ , тоді як протягом зими –  $PM_{2.5}$ , що пов'язане з більшими викидами як первинних часток, так і прекурсорів  $PM$  взимку, а також зменшенням дисперсії з місцевих джерел [255, 275-279].

В результаті проведених оцінок та статистичних розрахунків було побудовано графік розсіювання середньодобових концентрацій  $PM_{2.5}$  та  $PM_{10}$  (рис. 4.5), що дозволило вивести рівняння лінійної регресійної залежності  $PM_{2.5}$  від  $PM_{10}$ :  $PM_{2.5} = 0,53 * PM_{10} + 3,13$  (коефіцієнт детермінації моделі становив  $R^2 = 0,79$ ). Слід зазначити, що порівняння концентрацій  $PM_{2.5}$  розрахованих з використанням рівняння лінійної регресії та зареєстрованих за даними моніторингових спостережень проводили за формулою 2.2, наведеної у розділі 2.

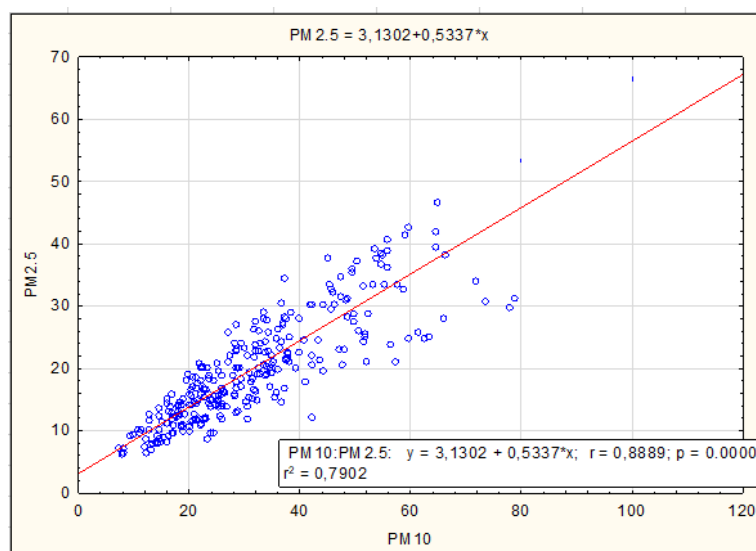


Рисунок 4.5 - Діаграма розсіювання середньодобових концентрацій  $PM_{2.5}$  та  $PM_{10}$

У подальшому для визначення відсотку збігу розрахованих середньодобових значень концентрацій  $PM_{2.5}$  із зареєстрованими було проведено частотний аналіз в інтервалі відхилень  $[-3;+3]$   $мкг/м^3$  (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

**Результати визначення точності розрахунку середньодобових  
концентрацій  $PM_{2.5}$**

Відсоток збігів, часовий проміжок	Відсоток збігу розрахованих та зареєстрованих значень в заданому інтервалі			
	-0,5; +0,5	-1; +1	-2; +2	-3; +3
рік	10,69	17,24	35,17	53,79
опалювальний сезон	11,97	17,61	33,10	46,48
міжопалювальний період	9,46	17,57	36,47	60,81

Аналізуючи вищенаведене, розрахунок середньодобових концентрацій  $PM_{2.5}$  з використанням різних підходів показав, що відсоток збігу розрахованих та зареєстрованих концентрацій в інтервалі відхилень  $[-3;+3]$   $мкг/м^3$  становив 55 % під час застосування середньорічного співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  (I підхід) та 54 %, у разі застосування коефіцієнта розрахованого з використанням рівняння регресії (II підхід). При цьому, відсоток збігів в інтервалі відхилень  $[-0,5;+0,5]$   $мкг/м^3$  був майже вдвічі при використанні другого підходу (табл. 4.8, 4.9) під час оцінок взаємозв'язку між концентраціями  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  та визначенням коефіцієнту їх співвідношення.

Що стосується розрахованих середньорічних концентрацій  $PM_{2.5}$ , то різниця з фактичною (21,21  $мкг/м^3$ ) становила: +0,55 (21,76  $мкг/м^3$ ) під час застосування середньорічного співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  та 0,34 (20,87  $мкг/м^3$ ) у разі використання рівняння регресії (табл. 4.10).

Слід зазначити, що отримані результати є співзвучними з результатами оприлюдненими іншими авторами у роботах щодо оцінки співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  та прогнозування рівнів  $PM_{2.5}$  з урахуванням зареєстрованих концентрацій  $PM_{10}$ . Так, більшість закордонних досліджень описують середньорічні співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  на рівні 0,50-0,80.

Таблиця 4.10

**Розрахункові значення середньорічних концентрацій  $PM_{2.5}$** 

Фактичне середньорічне значення $PM_{10}$	Розрахункове значення $PM_{2.5}$ (різниця до фактичної у дужках), $мкг/м^3$		Фактичне середньорічне значенням $PM_{2.5}$
	$PM_{10} * 0,65$	$PM_{10} * 0,53 + 3,13$	
33,47 $мкг/м^3$	21,76 (+0,55)	20,87 (-0,34)	21,21 $мкг/м^3$

Окремі дослідження описують регресійні моделі для розрахунку концентрацій  $PM_{2.5}$  із значенням  $R^2$  у діапазоні від 0,56 до 0,80 [268, 269]. Отже, доцільним є використання обидвох підходів для оцінки середньорічної концентрації  $PM_{2.5}$  на ділянках, де вимірюється лише  $PM_{10}$ .

Отримані та представлені вище результати виявили певні розбіжності у відсотку збігів розрахованих та зареєстрованих концентрацій  $PM_{2.5}$  для опалювального сезону та міжопалювального періоду (табл. 4.8 та табл. 4.9), тому, з метою підвищення точності розрахунків, було вирішено додатково провести визначення коригувального коефіцієнта ( $k$ ) та розрахунок концентрації  $PM_{2.5}$ , відповідно за формулами 2.4 та 2.5, наведеними у розділі 2. При цьому, ступінь відхилення розрахованих за допомогою коригувального коефіцієнта значень концентрацій  $PM_{2.5}$  від зареєстрованих було виконано за формулою 2.2. Встановлення кількості відсотку збігів розрахованих значень з зареєстрованим було здійснено по аналогії за допомогою частотного аналізу в інтервалі відхилень  $[-3; +3]$   $мкг/м^3$  (табл. 4.11).

Проведені розрахунки показали, що використання коригувального коефіцієнта підвищує точність збігів (в інтервалі відхилень  $[-3; +3]$   $мкг/м^3$ ) розрахованих та зареєстрованих концентрацій  $PM_{2.5}$  до 76,0 та 74,0 % у порівнянні з розрахунком концентрацій  $PM_{2.5}$  на основі середньорічного співвідношення  $PM_{2.5}/PM_{10}$  – 51,0 та 59,0 % для опалювального сезону та міжопалювального періоду, відповідно.

Таблиця 4.11

**Результати визначення точності розрахунку концентрацій  $PM_{2.5}$   
з/без використання коригувального коефіцієнта**

Інтервал відхилення	Відсоток збігів розрахованих і фактичних значень $PM_{2.5}$			
	опалювальний сезон		міжопалювальний період	
	без $k$	з $k$	без $k$	з $k$
	$PM_{10} * 0,53 + 3,13$	$(PM_{10} * 0,53 + 3,13) * 1,15$ (різниця з/без $k$ )	$PM_{10} * 0,53 + 3,13$	$(PM_{10} * 0,53 + 3,13) * 0,86$ (різниця з/без $k$ )
-0,5; +0,5	11,97	12,68 (+0,71)	9,46	11,48 (+2,02)
-1; +1	17,61	28,87 (+11,26)	17,57	28,38 (+10,81)
-2; +2	33,10	54,93 (+21,83)	36,49	57,43 (+20,94)
-3; +3	46,48	76,06 (+29,58)	60,81	73,64 (+12,83)

Отже, використання коефіцієнтів може бути рекомендовано до застосування при визначенні концентрацій  $PM_{2.5}$  на територіях де проводиться моніторинг забруднення атмосферного повітря лише за  $PM_{10}$  та при ретроспективному прогнозуванні концентрацій та оцінок їх впливу на громадське здоров'я.

#### **4.3 Гігієнічна оцінка забруднення атмосферного повітря озonom у м. Київ (за даними індикативних досліджень)**

Дослідження щодо визначення концентрацій озону в приземному шарі атмосферного повітря міста Києва проводилося влітку 2017 року за допомогою газоаналізатора АРОА-370. Відбір проб здійснювався в робочі дні протягом 8 годин (з 10.00 до 18.00). Усереднені значення 1-годинних та 8-годинних концентрацій  $O_3$  порівнювались з вітчизняним гігієнічним нормативом ( $ГДК_{м.р.} - 0,16 \text{ мг/м}^3$ ) та міжнародними критеріями встановленими Директивою 2008/50/ЄС (8-годинне значення –  $0,12 \text{ мг/м}^3$ ) та ВООЗ (8-годинне значення –  $0,10 \text{ мг/м}^3$ ) [37, 197].

За даними проведених натурних вимірювань встановлено, що рівні середніх концентрацій озону коливались у діапазоні (min-max;  $M \pm m$ ):  $(0,10-0,28) \text{ мг/м}^3$ ;  $0,20 \pm 0,03 \text{ мг/м}^3$ . Водночас рівні озону розраховані шляхом усереднення 1-годинних концентрацій протягом місяця перевищували діючий гігієнічний норматив України



(ГДК<sub>м.р.</sub>) у червні в 1,4 рази, липні в 1,3 рази, серпні в 1,2 рази (табл. 4.12). Загалом отримані 1-годинні концентрації озону перевищували 0,16 мг/м<sup>3</sup> у 72,7 % випадків проведених вимірювань.

Таблиця 4.12

### Середні концентрації озону в атмосферному повітрі м. Київ, 2017 р.

Місяць, рік	Масова концентрація, мг/м <sup>3</sup>			
	max	M±m	min	Mediana
Червень	0,28	0,22±0,02	0,13	0,23
Липень	0,27	0,20±0,03	0,11	0,20
Серпень	0,26	0,19±0,02	0,10	0,18

За результатами натурних інструментальних досліджень озону під час оцінок концентрацій за 8-годинний період усереднення було виявлено перевищення гігієнічних критеріїв якості повітря, встановлених Директивою 2008/50/ЄС та ВООЗ у 100 % випадків (максимальне перевищення у 2,6 рази) (рис. 4.6).

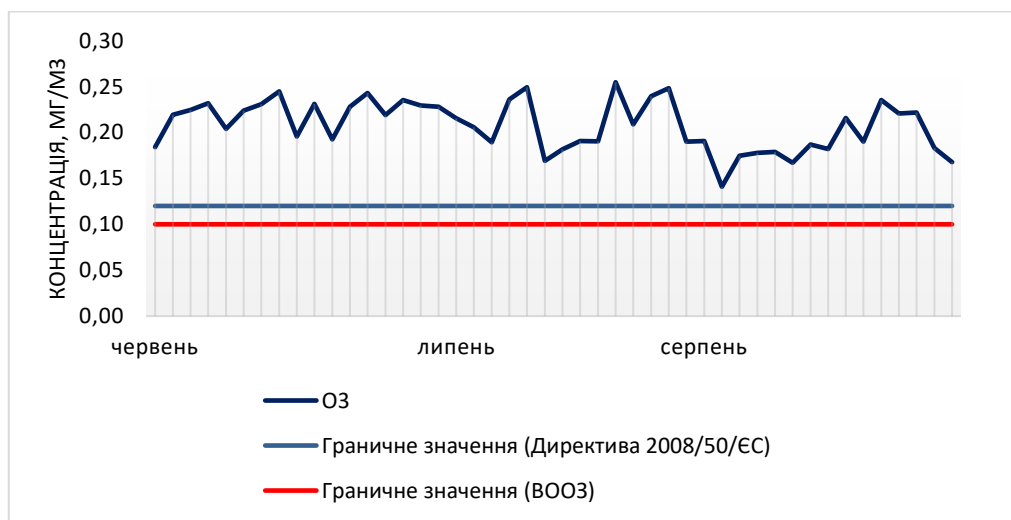


Рисунок 4.6 – Середні 8-годинні концентрації озону в атмосферному повітрі, м. Київ (червень-серпень 2017 р.).

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що виявлені рівні озону можуть призвести до негативних наслідків для здоров'я населення, що знаходиться під експозицією. Відомо, що 1-годинна концентрація озону на рівні:  $0,18 \div 0,24$  мг/м<sup>3</sup>

призводить до подразнення слизової оболонки ока, зниження функції легень (до 5 % серед здорового населення та до 10 % серед чутливих осіб), а також до виникнення кашлю у чутливих груп;  $0,24 \div 0,36$  мг/м<sup>3</sup> до подразнення слизової оболонки ока, носа, горла, зниження функції легень (від 5 до 15 % серед здорового населення та від 10 до 30 % серед чутливих осіб), а також до виникнення кашлю, болю у грудній клітці, задишки у чутливих груп, збільшення важкості перебігу та частоти загострення ХОЗЛ [281-283].

#### Висновки до розділу 4

Аналізуючи вищевикладене, на підставі проведених натурних досліджень якості атмосферного повітря показано та доведено необхідність обов'язкового моніторингу РМ<sub>10</sub>, РМ<sub>2,5</sub> та озону в приземному шарі атмосфери з метою кількісних оцінок їх впливу на здоров'я населення та визначення соціальних втрат, які можуть бути заподіяні держави.

1. Поведено натурні вимірювання концентрацій РМ<sub>10</sub> і РМ<sub>2,5</sub> в атмосферному повітрі м. Київ та встановлено, що їх середньодобові концентрації (на рівні від 7,4 до 118,8 мкг/м<sup>3</sup> для РМ<sub>10</sub>; від 4,5 до 68,9 мкг/м<sup>3</sup> для РМ<sub>2,5</sub>) перевищували граничні значення рекомендовані ВООЗ і Директивою 2008/50/ЄС. Виявлено, що кількість днів з перевищенням середньодобової концентрації становила для: РМ<sub>10</sub> – 54 дні (найбільша кількість днів реєструвалася у квітні-травні - 18 днів та вересні-жовтні – 21 доба, що було обумовлено несприятливими метеорологічними умовами); РМ<sub>2,5</sub> – 95 днів (79 у жовтні-березні під час опалювального сезону), що свідчить про тривалий (хронічний) інгаляційний вплив твердих часток пилу на здоров'я населення.

2. Визначено, що середньорічні концентрації твердих часток пилу знаходилися на рівні для РМ<sub>10</sub> – 33,0 мкг/м<sup>3</sup>, РМ<sub>2,5</sub> – 21,0 мкг/м<sup>3</sup> та не перевищували граничні значення зазначені у Директиві 2008/50/ЄС, але знаходилися на досить небезпечному рівні згідно рекомендаціям ВООЗ. Водночас середні концентрації

PM<sub>2.5</sub>, що визначалися протягом жовтня-березня (опалювального періоду) в середньому в 1,4 рази перевищували величини отримані у квітні-вересні та знаходилися на рівні, відповідно: 24,7 мкг/м<sup>3</sup> та 17,3 мкг/м<sup>3</sup>, що вказує на суттєвий внесок ТЕО у рівень забруднення атмосферного повітря PM<sub>2.5</sub>.

5. Показано достовірний кореляційний зв'язок між концентраціями PM<sub>2.5</sub> та PM<sub>10</sub> ( $r_s = 0,89$ ,  $p < 0,001$ ) та розраховано середньорічне співвідношення PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>, яке знаходилось на рівні 0,65, що не суперечить даним міжнародних досліджень (PM<sub>2.5</sub> складає 0,5-0,8 від PM<sub>10</sub>). Оцінено та розраховано співвідношення PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> для опалювального сезону – 0,75 та міжопалювального періоду – 0,56, що свідчить про підвищення небезпеки для здоров'я населення від впливу PM<sub>2.5</sub> в опалювальний період.

6. Науково обґрунтовано використання коригувальних коефіцієнтів під час розрахунків середньодобових концентрацій PM<sub>2.5</sub> на основі лінійної регресії, окремо – для опалювального сезону та міжопалювального періоду, підвищує точність збігів розрахованих та зареєстрованих концентрацій PM<sub>2.5</sub> до 74,0-76,0 %, у порівнянні з розрахунком на основі середньорічного співвідношення PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> з точністю збігів – 51,0-59,0 %, що дозволяє скоротити невизначеність під час оцінювання експозиції.

9. Виконано серію індикативних вимірювань озону в атмосферному повітрі м. Київ та визначено, що рівні середніх концентрацій коливались в діапазоні від 0,10 до 0,28 мкг/м<sup>3</sup> та перевищували діючий гігієнічний норматив України (ГДК<sub>м.р.</sub>) в 1,2-1,4 рази, відповідно у серпні, липні та червні; граничні значення рекомендовані Директивою 2008/50/ЄС та ВООЗ у 100 %, що свідчить про додатковий ризик для здоров'я населення.

Матеріали даного розділу відображені в наступних публікаціях: [255, 256].

## РОЗДІЛ 5

### ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДИЧНИХ ПІДХОДІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ

#### 5.1 Оцінка експозиційного навантаження та інгаляційного ризику для здоров'я населення, обумовленого викидами Трипільської ТЕС

На підставі отриманих даних щодо моделювання усереднених концентрацій забруднюючих речовин у ПША від стаціонарних джерел викидів Трипільської ТЕС (представлених у розділі 3), використовуючи класичні підходи МОРЗН були проведені розрахунки рівнів ризику у визначених 25 контрольних точках на межі найближчої житлової забудови. Дослідження охоплювали зимовий та літній періоди року та включали наступні розрахунки:

- неканцерогенного ризику у вигляді коефіцієнтів небезпеки (HQ) для окремих речовин (пилу НДЗС,  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ , CO);
- індивідуального ризику смерті від викидів зважених часток пилу з діаметром часток менше 10 мкм (IRM).

Оцінка неканцерогенного ризику проводилася на основі розрахунку коефіцієнтів небезпеки (HQ), які є співвідношенням між величинами експозиції і безпечним (референтним) рівнем впливу. Проведені розрахунки коефіцієнтів небезпеки (на рівні усередненої 1-годинної концентрації) при прогнозній оцінці песимістичного сценарію, показали, що можливий інгаляційний вплив на здоров'я населення ( $HQ \geq 1$ ), у наступних контрольних точках характерний для:

- пилу НДЗС у КТ: А (HQ=3,7); В (HQ=2,1); С (HQ=1,4); D (HQ=1,1); Е (HQ=1,4); F (HQ=3,8); G (HQ=4,0); V (HQ=2,8); W (HQ=2,04);
- $PM_{10}$  – відсутність критеріїв оцінки якості повітря не дала змогу оцінити вплив на здоров'я населення за визначений період усереднення (1 година).

Для інших хімічних сполук, індекси небезпеки знаходилися в межах допустимих рівнів ( $HQ \leq 1$ ). Слід зауважити, що індекси небезпеки у контрольних точках, де спостерігалися перевищення допустимих рівнів від викидів пилу НДЗС, майже однакові при оцінках впливу ТЕС у холодний та теплий періоди. Перевищення визначено у м. Українка, с. Таценки та с.Плюти (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

**Індекси небезпеки для здоров'я населення у контрольних точках при оцінках впливу пилу НДЗС, що викидають стаціонарні джерела ТЕС**

№ п/п	Контрольна точка	HQ (індекс небезпеки)		Допустимий ризик ( $HQ \leq 1$ )	
		Літо	зима		
1	2	3	4	5	
м. Українка					
1	A	3,7	3,7	перевищують	
2	B	2,06	2,06		
3	C	1,34	1,36		
4	D	1,12	1,12		
5	E	1,1	1,7		
6	F	3,84	3,84		
7	G	4,04	4,02		
м. Обухів					
8	H	0,26	0,38	в межах нормативних показників	
9	I	0,34	0,46		
10	J	0,28	0,48		
11	K	0,26	0,44		
12	L	0,18	0,3		
с. Дерев'яна					
13	M	0,42	0,42		
14	X	0,44	0,44		
с. Красне Перше					
15	N	0,32	0,32	в межах нормативних показників	
с. Щербанівка					
16	O	0,52	0,54		
с. Трипілля					
17	P	0,92	0,92		
18	Q	0,28	0,48		
19	R	0,84	0,84		
20	S	0,4	0,5		
21	Y	0,82	0,82		

1	2	3	4	5	
с. Халеп'я					
22	T	0,44	0,48	в межах нормативних показників	
с. Жуківці					
23	U	0,5	0,5	перевищують	
с. Таценки					
24	V	2,82	2,82		
с. Плюти					
25	W	2,04	2,04		

Розрахунки неканцерогенного ризику для здоров'я населення при оцінці гострих інгалаційних впливів (на рівні усередненої добової концентрації) показали, що перевищення допустимого рівня ризику ( $HQ \geq 1$ ), спостерігалось у наступних контрольних точках для:

- пилю НДЗС у КТ: А ( $HQ_{acute} = 1,5$ ); V ( $HQ_{acute} = 1,2$ );
- $PM_{10}$  у КТ: А ( $HQ_{acute} = 2,5$ ); F (зима –  $HQ_{acute} = 1,2$ ; літо –  $HQ_{acute} = 1,3$ ); G ( $HQ_{acute} = 1,1$ ); V ( $HQ_{acute} = 2,0$ ).

Для інших хімічних сполук, рівні неканцерогенного ризику при оцінках гострих інгалаційних впливів знаходяться на допустимому рівні (рис. 5.1, табл. 5.2).

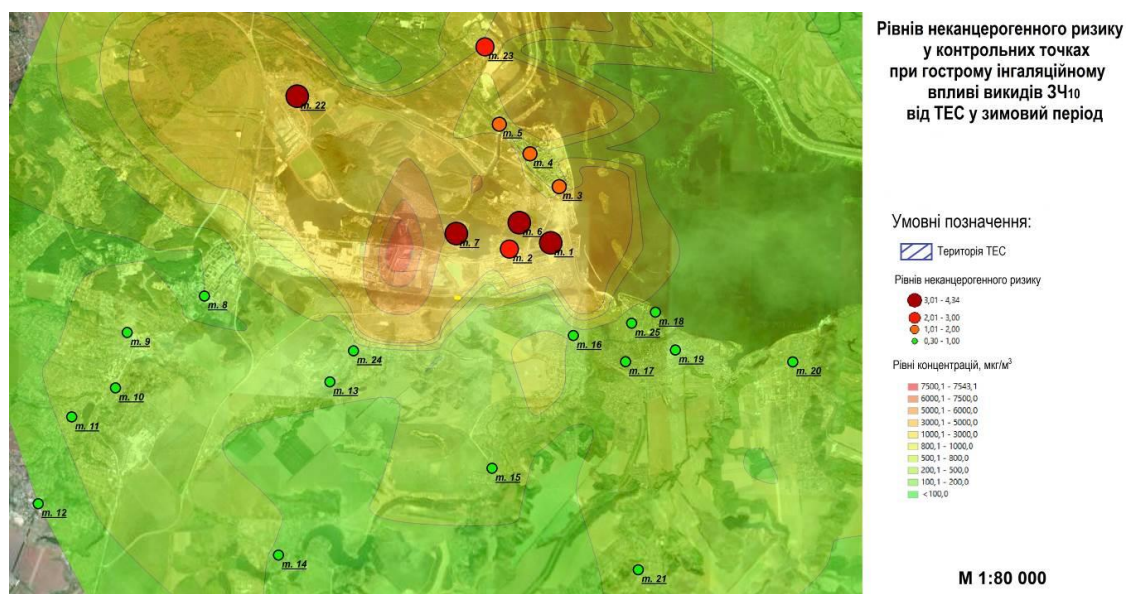


Рисунок 5.1 – Неканцерогенний ризик для здоров'я населення у контрольних точках при гострому інгалаційному впливі викидів  $PM_{10}$  від ТЕС у зимовий період

Таблиця 5.2

**Неканцерогенний ризик для здоров'я населення у контрольних точках  
при оцінках гострого інгаляційного впливу пилу НДЗС та РМ<sub>10</sub>, що  
викидають стаціонарні джерела ТЕС**

№ п/п	КТ	Неканцерогенний ризик (пил НДЗС)		Допустимий ризик (НQ≤1)	Неканцерогенний ризик (РМ <sub>10</sub> )		Допустимий ризик (НQ≤1)
		квітень-липень	жовтень-листопад		квітень-липень	жовтень-листопад	
м. Українка							
1	A	1,51	1,51	Перевищують	2,49	2,49	перевищують
2	B	0,47	0,40	не перевищують	0,77	0,66	не перевищують
3	C	0,37	0,34		0,61	0,56	
4	D	0,23	0,29		0,37	0,48	
5	E	0,41	0,44		0,68	0,73	
6	F	0,81	0,72		1,34	1,19	
7	G	0,66	0,65	1,09	1,08	перевищують	
м. Обухів							
8	H	0,16	0,19	не перевищують	0,27	0,32	не перевищують
9	I	0,09	0,16		0,15	0,26	
10	J	0,10	0,16		0,16	0,27	
11	K	0,09	0,15		0,15	0,25	
12	L	0,07	0,12		0,12	0,19	
с. Дерев'яна							
13	M	0,14	0,18	не перевищують	0,24	0,30	не перевищують
14	X	0,19	0,20		0,31	0,34	
с. Красне Перше							
15	N	0,12	0,19	не перевищують	0,20	0,32	не перевищують
с. Щербанівка							
16	O	0,25	0,30	не перевищують	0,42	0,49	не перевищують
с. Трипілля							
17	P	0,35	0,54	не перевищують	0,58	0,90	не перевищують
18	Q	0,18	0,27		0,29	0,44	
19	R	0,27	0,34		0,45	0,56	
20	S	0,26	0,38		0,42	0,63	
21	Y	0,44	0,54		0,72	0,90	
с. Халеп'я							
22	T	0,15	0,23	не перевищують	0,25	0,39	не перевищують
с. Жуківці							
23	U	0,12	0,17	не перевищують	0,20	0,29	не перевищують
с. Таценки							
24	V	1,21	1,19	Перевищують	2,0	1,96	перевищують
с. Плюти							
25	W	0,46	0,51	не перевищують	0,76	0,84	не перевищують

Під час порівняння усереднених добових концентрацій пилу НДЗС з вітчизняними гігієнічними нормативами та міжнародними критеріями оцінки якості атмосферного повітря (рекомендованих інтегрованою інформаційною системою про ризики Агентства США з охорони довкілля за 24-годинний період усереднення), то розрахунки ризику проводилися за більш «жорстким» гігієнічним нормативом ( $150 \text{ мкг/м}^3$  або  $0,15 \text{ мг/м}^3$ ) [284]. Показано, що перевищення допустимого рівня ризику характерно для населення, яке проживає у м. Українка та с. Таценки.

Оцінка хронічного інгаляційного впливу пріоритезованих забруднюючих речовин (на рівні усередненої річної концентрації) на здоров'я людини протягом життя у 25 контрольних точках показала, що коефіцієнти небезпеки не перевищують допустимий рівень та ризик для здоров'я експонованого населення – мінімальний.

Додаткові дослідження щодо оцінки індивідуального ризику смерті були проведені для твердих часток пилу, а саме для респірабельної фракції з діаметром часток менше 10 мкм. Проведені моніторингові та епідеміологічні дослідження в багатьох країнах світу, доводять, що численні негативні ефекти для здоров'я, в тому числі захворювання та смерть від респіраторної та серцево-судинної патології, спричиняються саме забрудненням атмосферного повітря твердими частками ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ). Відповідно до наявних оцінок в глобальному масштабі, на рахунок впливу РМ відносять близько 3 % смертей від серцево-судинної та дихальної патології та 5 % випадків смертей від раку легень. В Європейському регіоні ВООЗ ця доля в різних субрегіонах складає, відповідно від 1 % до 5 % [285]. Згідно прогнозу Організації економічного співробітництва та розвитку, до 2050 року кількість передчасних смертей в результаті впливу зважених часток подвоється та досягне 3,6 млн в рік у всьому світі [286].

Аналізуючи вищевикладене, були проведені дослідження щодо оцінок впливу РМ на здоров'я експонованого населення, обумовленого впливом викидів стаціонарних джерел Трипільської ТЕС. Розрахунки показали, що рівні



індивідуального ризику смерті (IRM) для  $PM_{10}$  у наступних КТ становлять та коливаються в межах:

- м. Обухів (КТ Н-L):  $IRM = 3,6 \times 10^{-5} \div 8,2 \times 10^{-5}$ ;
- с. Дерев'яна (КТ М, Х):  $IRM = 6,1 \times 10^{-5} \div 7,3 \times 10^{-5}$ ;
- с. Халеп'я (КТ Т):  $IRM = 9,5 \times 10^{-5}$ ;

та відповідають зоні умовно прийняттого (допустимого) ризику,

- м. Українка (КТ А-G):  $IRM = 1,1 \times 10^{-4} \div 7,7 \times 10^{-4}$ ;
- с. Красне Перше (КТ N):  $IRM = 1,3 \times 10^{-4}$ ;
- с. Щербанівка (КТ О):  $IRM = 1,8 \times 10^{-4}$ ;
- с. Трипілля (КТ Р-S, Y):  $IRM = 6,0 \times 10^{-5} \div 1,4 \times 10^{-4}$ ;
- с. Таценки (КТ V):  $IRM = 5,1 \times 10^{-4}$ ;
- с. Плюти (КТ W):  $IRM = 2,3 \times 10^{-4}$ ;
- с. Жуківці (КТ U):  $IRM = 2,2 \times 10^{-4}$ ;

та характеризується як допустимі для професійних контингентів і недопустимі для населення в цілому. Виникнення такого рівня ризику потребує розробки та проведення планових профілактичних заходів. Планування заходів щодо зниження ризику в даному випадку повинно базуватися на результатах більш поглибленої оцінки різних аспектів існуючих проблем та встановленні ступеня їх пріоритетності по відношенню до інших гігієнічних, екологічних, соціальних та економічних проблем на досліджуваній території з метою проведення кількісних оцінок, заснованих на епідеміологічних дослідженнях.

## **5.2 Кількісна оцінка впливу забрудненого атмосферного повітря на здоров'я населення за допомогою інструментів програмного забезпечення AirQ+**

В Україні за статистичними оцінками 2017 року НІЗ стали причиною більш ніж 80 % всіх смертей у країні, переважно за рахунок: серцево-судинних та хронічних респіраторних захворювань, онкологічної патології та діабету [287].

Наразі, Україна все ще не має загальнонаціональних репрезентативних даних про основні фактори ризику неінфекційних захворювань, пов'язаних з впливом забруднення атмосферного повітря, що є перешкодою для прийняття науково обґрунтованих рішень для покращення ситуації. Отже, важливим кроком є впровадження методичних підходів до кількісної оцінки наслідків його впливу на здоров'я населення.

На сьогодні у світі існує безліч програмних (математичних) комплексів, що засновані на методології та функціях «експозиція-відповідь», встановлених в ході епідеміологічних досліджень. До таких програмних інструментів відноситься AirQ+, що розроблений Європейським регіональним бюро ВООЗ та був використаний для розрахунків атрибутивної частки смертей від: РЛ, ХОЗЛ, ІХС, інсульту; частки смертей немовлят у постнеонатальному періоді та частота випадків хронічного бронхіту у дорослих, що обумовлені довгостроковим впливом забруднення атмосферного повітря  $PM_{2.5}$  та  $PM_{10}$  в м. Києві та Київській області [171, 177]. Негативний вплив конкретної забруднюючої речовини за конкретний період часу розраховувався з врахуванням відносного ризику, смертності та захворюваності певної популяції.

Отже, це дослідження було першою спробою орієнтовно оцінити якою мірою певний наслідок для здоров'я може бути віднесено на рахунок тривалого впливу РМ. Для виконання відповідних обчислень у програмний комплекс AirQ+ було імпортовано наступні дані: чисельність населення м. Київ та Київської області, площа міста/області (847,66/28131 км<sup>2</sup>), народжуваність, смертність серед дорослого населення в розбивці за віком та причинами, як зазначено в 10-й редакції Міжнародної класифікації захворювань (МКБ-10) (табл. 5.3, табл. 5.4), смертність немовлят у постнеонатальному періоді, захворюваність на бронхіт у дорослих. Дані були отримані на сайті Державної служби статистики України та Київського обласного центра медичної статистики департаменту охорони здоров'я Київської обласної державної адміністрації [221, 222].

Таблиця 5.3

**Розподіл населення та померлих у м. Київ за віковими групами  
та причинами смерті**

Вік (років)	Чисельність населення (осіб)	Смертність, причини (осіб)			
		ХОЗЛ <sup>1</sup>	ІХС <sup>2</sup>	Інсульт <sup>3</sup>	Рак легень <sup>4</sup>
25-29	132940	-	40	4	2
30-34	154634	-	65	18	-
35-39	128610	1	87	20	3
40-44	124534	1	126	32	10
45-49	117246	2	204	43	15
50-54	123447	5	298	100	36
55-59	125533	9	607	151	75
60-64	105831	4	972	189	117
65-69	86706	16	1388	289	123
70 і старше	17745	67	10616	1186	226
Всього	1276938	105	14403	2032	607

Примітка 1. Хронічні хвороби нижніх дихальних шляхів (J40-J47)

Примітка 2. Ішемічна хвороба серця (J20-J25)

Примітка 3. Цереброваскулярні хвороби (J60-J69)

Примітка 4. Злоякісні новоутворення трахеї, бронхів та легенів (C33-C34)

Перед введенням даних у програмний комплекс AirQ + усі значення були обчислені на 100 тис. населення (окрім постнеонатальної смертності, яка розраховувалася на 1 тис.) шляхом простого ділення кількості смертей на чисельність населення, що знаходилось під експозицією.

Таблиця 5.4

**Розподіл населення та померлих у Київській області за віковими  
групами та причинами смерті**

Вік (років)	Чисельність населення (осіб)	Смертність, причини (осіб)			
		ХОЗЛ <sup>1</sup>	ІХС <sup>2</sup>	Інсульт <sup>3</sup>	Рак легень <sup>4</sup>
1	2	3	4	5	6
25-29	208155	-	44	6	2
30-34	274909	1	151	14	1
35-39	255767	-	192	25	6
40-44	229218	1	228	56	11

1	2	3	4	5	6
45-49	186355	2	270	55	14
50-54	176485	2	426	108	39
55-59	194275	1	658	156	72
60-64	180602	6	928	257	104
65-69	157768	11	1417	383	120
70 і старше	251413	34	10990	2316	274
Всього	2114947	58	15304	3376	643

Примітка 1. Хронічні хвороби нижніх дихальних шляхів (J40-J47)

Примітка 2. Ішемічна хвороба серця (J20-J25)

Примітка 3. Цереброваскулярні хвороби (J60-J69)

Примітка 4. Злоякісні новоутворення трахеї, бронхів та легенів (C33-C34)

Для розрахунку кількості смертей, що можна віднести до тривалого впливу  $PM_{2.5}$  на рівні  $21,2 \text{ мкг/м}^3$  (середньорічна концентрація у м. Київ за даними моніторингових досліджень) та  $17,7 \text{ мкг/м}^3$  (концентрація отримана шляхом усереднення добових концентрацій отриманих протягом квітня-липня та жовтня-листопада під час проведення натурних досліджень у Київській області) використовувались значення відносних ризиків рекомендованих ВООЗ (табл. 5.5, табл. 5.6), що були отримані лог-лінійним методом розрахунку або з використанням інтегрованої функції «експозиція-відповідь» в результаті мета-аналізу 13-ти когортних досліджень [177, 217].

Таблиця 5.5

**Відносні ризики при тривалій експозиції  $PM_{2.5}$  на рівні  $21,2 \text{ мкг/м}^3$**

Вікові групи	RR, причини смерті			
	ХОЗЛ <sup>1</sup>	ІХС <sup>1</sup>	Інсульт <sup>1</sup>	Рак легень <sup>2</sup>
1	2	3	4	5
25-29	1,1 (1,04-1,19)	1,93 (1,54-2,37)	1,75 (1,24-2,45)	
30-34		1,85 (1,51-2,24)	1,69 (1,22-2,3)	1,09 (1,04-1,14)
35-39		1,77 (1,46-2,12)	1,64 (1,21-2,18)	
40-44		1,69 (1,42-1,99)	1,58 (1,2-2,04)	
45-49		1,56 (1,34-1,86)	1,53 (1,18-1,93)	
50-54		1,51 (1,31-1,74)	1,48 (1,18-1,84)	
55-59		1,45 (1,28-1,64)	1,42 (1,16-1,86)	
60-64		1,4 (1,25-1,55)	1,38 (1,14-1,77)	
65-69		1,34 (1,21-1,48)	1,3 (1,1-1,58)	
70 і старше		1,29 (1,18-1,41)	1,26 (1,1-1,51)	

Примітка 1. Інтегрована функція

Примітка 2. Лог-лінійний метод

Таблиця 5.6

Відносні ризики при тривалій експозиції  $PM_{2.5}$  на рівні  $17,7 \text{ мкг/м}^3$ 

Вікові групи	RR, причини смерті			
	ХОЗЛ <sup>1</sup>	ІХС <sup>1</sup>	Інсульт <sup>1</sup>	Рак легень <sup>2</sup>
25-29	1,09 (1,03-1,16)	1,82 (1,48-2,18)	1,61 (1,2-2,07)	
30-34		1,76 (1,45-2,08)	1,56 (1,18-1,96)	1,09 (1,04-1,14)
35-39		1,69 (1,41-1,98)	1,51 (1,17-1,85)	
40-44		1,62 (1,37-1,88)	1,46 (1,17-1,76)	
45-49		1,52 (1,3-1,8)	1,42 (1,16-1,7)	
50-54		1,46 (1,28-1,69)	1,38 (1,15-1,63)	
55-59		1,41 (1,25-1,6)	1,34 (1,14-1,57)	
60-64		1,36 (1,22-1,52)	1,3 (1,12-1,54)	
65-69		1,31 (1,19-1,44)	1,25 (1,09-1,45)	
70 і старше		1,26 (1,17-1,37)	1,21 (1,08-1,38)	

Примітка 1. Інтегрована функція  
Примітка 2. Лог-лінійний метод

Слід зауважити, що не для всіх вікових груп значення відносного ризику є доступним, тому розрахунки наслідків впливу  $PM_{2.5}$  на показники здоров'я, а саме: смертність від ХОЗЛ проводилися для дорослих вікової групи  $\geq 25$  років, від РЛ –  $\geq 30$  років (табл. 5.7). Отриманні результати були визначені із рівнем статистичної значущості 95 % (СІ).

Таблиця 5.7

**Атрибутивні частки та додаткові випадки смерті від ХОЗЛ та раку легень від тривалого впливу  $PM_{2.5}$  на рівні  $21,2 \text{ мкг/м}^3$  в м. Київ та  $17,7 \text{ мкг/м}^3$  в Київській області**

Показник	Результат	Причина смерті			
		ХОЗЛ		Рак легень	
		$21,2 \text{ мкг/м}^3$	$17,7 \text{ мкг/м}^3$	$21,2 \text{ мкг/м}^3$	$17,7 \text{ мкг/м}^3$
атрибутивні випадки	кількість	5	7	59	39
	СІ	3-8	4-10	28-88	18-58
атрибутивна фракція	%	8,79	6,55	9,21	6,42
	% (95 СІ)	5,03-13,19	3,65-9,89	4,3-13,66	2,97-9,6

За результатами розрахунків (наведених у табл. 5.7) атрибутивні випадки смерті у м. Київ та Київській області, що пов'язані з довготривалою експозицією  $PM_{2.5}$  на рівні  $21,7 \text{ мкг/м}^3$  та  $17,7 \text{ мкг/м}^3$  відповідно, становили: 59 (95 % СІ: 28-88) та 39 (95 % СІ: 18-58) випадків за рахунок смерті від РЛ; 5 (95 % СІ: 3-8) та 7 (95 % СІ: 4-10) – від ХОЗЛ.

Що стосується додаткової кількості смертей від ІХС та інсульту, то вони були розраховані окремо для 9 вікових груп та узагальнені у таблиці 5.8. Розрахунки вказують на те, що кількість передчасних смертей від ІХС та інсульту, що виникли внаслідок експозиції  $PM_{2.5}$  на рівнях, що перевищують  $10 \text{ мкг/м}^3$  (рекомендовані ВООЗ) та яких можливо було б уникнути, значно збільшується з віком, але в той самий час атрибутивна фракція має зворотну пропорційну залежність.

Таблиця 5.8

**Атрибутивні частки та додаткові випадки смерті від ІХС та інсульту  
від тривалого впливу  $PM_{2.5}$  на рівні  $21,2 \text{ мкг/м}^3$  в м. Києві та  
 $17,7 \text{ мкг/м}^3$  в Київській області**

Вікова група	Показник	Результат	Причини смерті/Концентрація $PM_{2.5}$ , $\text{мкг/м}^3$			
			ІХС		Інсульт	
			21,2	17,7	21,2	17,7
1	2	3	4	5	6	7
25-29	атрибутивні випадки	кількість	5	3	1	-
		СІ	3-9	2-7	0-1	-
	атрибутивна фракція	%	10,47	8,04	8,78	-
		% (95 СІ)	6,37-21,43	4,78-16,56	4,33-13,6	-
30-34	атрибутивні випадки	кількість	14	5	1	1
		СІ	9-30	3-10	1-2	1-2
	атрибутивна фракція	%	9,57	7,34	8,18	6,18
		% (95 СІ)	5,88-20,07	4,41-15,24	4,41-12,83	3,27-9,27
35-39	атрибутивні випадки	кількість	17	6	2	1
		СІ	10-34	3-12	1-3	1-2
	атрибутивна фракція	%	8,85	6,79	7,76	5,86
		% (95 СІ)	5,24-17,47	3,94-13,48	4,19-12,08	3,11-8,98
40-44	атрибутивні випадки	кількість	19	8	4	2
		СІ	11-43	5-18	2-6	1-3
	атрибутивна фракція	%	8,37	6,41	7,11	5,37
		% (95 СІ)	4,86-18,89	3,62-14,23	3,76-11,33	2,75-8,48

45-49	атрибутивні випадки	кількість	21	12	4	2
		СІ	13-45	7-26	2-6	1-3
	атрибутивна фракція	%	7,65	5,86	6,64	5,01
		% (95 СІ)	4,65-16,6	3,48-12,55	3,75-10,68	2,75-8,02
50-54	атрибутивні випадки	кількість	29	16	7	5
		СІ	17-65	9-34	3-11	2-7
	атрибутивна фракція	%	6,9	5,27	6,09	4,58
		% (95 СІ)	4,03-15,32	3,01-11,57	3,04-9,94	2,25-7,47
55-59	атрибутивні випадки	кількість	41	29	9	6
		СІ	25-88	17-61	5-14	3-10
	атрибутивна фракція	%	6,24	4,76	5,52	4,16
		% (95 СІ)	3,82-12,43	2,88-10,1	3,05-8,87	2,22-6,7
60-64	атрибутивні випадки	кількість	52	42	13	7
		СІ	31-107	24-85	7-20	4-11
	атрибутивна фракція	%	5,59	4,27	4,92	3,71
		% (95 СІ)	3,36-11,56	2,52-8,77	2,69-7,95	1,97-5,88
65-69	атрибутивні випадки	кількість	71	53	17	10
		СІ	44-147	32-107	9-28	5-16
	атрибутивна фракція	%	4,98	3,8	4,53	3,41
		% (95 СІ)	3,11-10,39	2,31-7,74	2,27-7,43	1,65-5,63
70 і старше	атрибутивні випадки	кількість	485	357	92	36
		СІ	294-1053	214-780	49-149	19-57
	атрибутивна фракція	%	4,41	3,37	3,98	3,0
		% (95 СІ)	2,68-9,58	2,01-7,34	2,12-6,45	1,56-4,84
Всього	атрибутивні випадки	кількість	754	531	150	70
		СІ	457-1621	316-1140	79-239	37-111
	атрибутивна фракція	%	4,93	3,69	4,44	3,44
		% (95 СІ)	2,99-10,59	2,19-7,92	2,34-7,08	1,82-5,46

Атрибутивна кількість смертей у м. Київ та Київській області, яка була узагальнена серед дорослих вікової групи  $\geq 25$  років, становила відповідно: 754 (95 % СІ: 457-1621) та 531 (95 % СІ: 316-1140) – від ІХС; 150 (95 % СІ: 79-239) та 70 (95 % СІ: 37-111) – від інсульту.

Кількість атрибутивних випадків на 100 тис. населення, що підпадало під тривалу експозицію  $PM_{2.5}$  на рівні  $21,2 \text{ мкг/м}^3$  та  $17,7 \text{ мкг/м}^3$ , наведено на рисунку 5.2. Показник додаткової смертності становив у середньому для м. Київ та Київської області: 35,65 та 41,60 випадків на 100 тис. осіб для ІХС; 7,10 та 5,50 для інсульту; 3,10 та 3,40 для РЛ; 0,24 та 0,54 для ХОЗЛ.

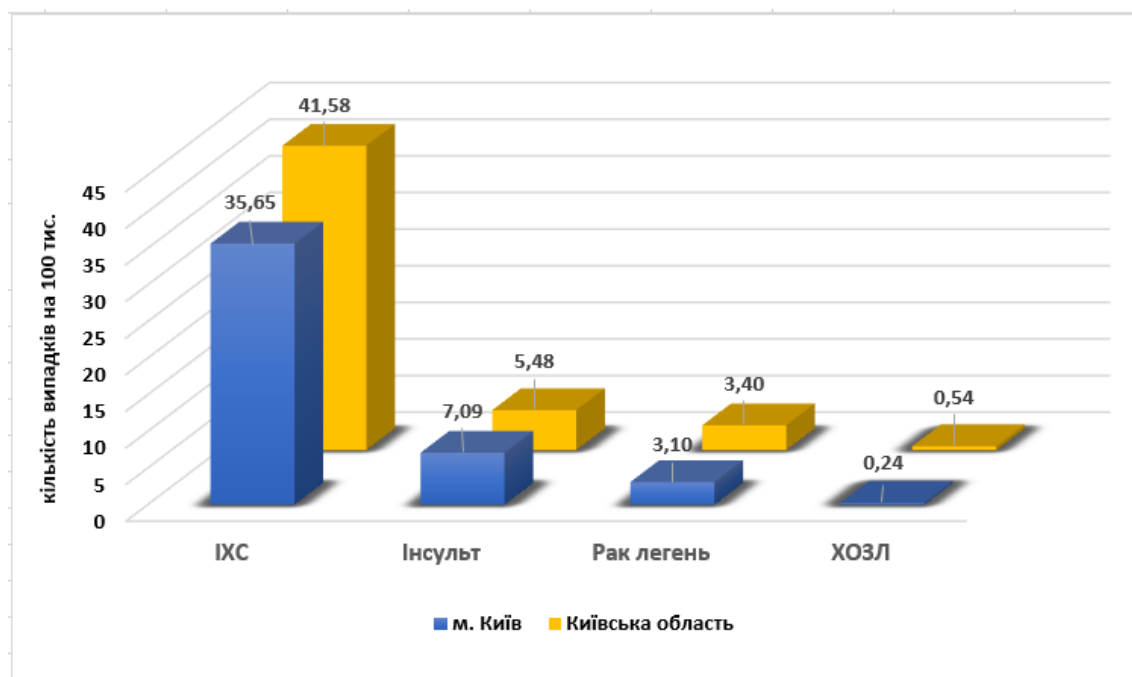


Рисунок 5.2 – Атрибутивна кількість смертей на 100 тис. населення від тривалого впливу  $PM_{2.5}$  на рівні  $21,2 \text{ мкг/м}^3$  в м. Київ та  $17,7 \text{ мкг/м}^3$  в Київській області

Оцінка тривалої експозиції  $PM_{10}$  на рівнях:  $33,47$  – у м. Києві та  $27,8 \text{ мкг/м}^3$  – у Київській області, проводилась з метою визначення частки смертей немовлят у постнеонатальному періоді та визначення кількості випадків хронічного бронхіту (ХБ) у дорослих (старше 18 років, вперше виявлені випадки), яких можна було б уникнути, якби рівень  $PM_{10}$  не перевищував  $20 \text{ мкг/м}^3$ , рекомендованих ВООЗ.

Атрибутивні випадки захворюваності на ХБ у дорослих та постнеонатальна смертність серед дітей становили для м. Київ та Київської області відповідно: 776 (95 % СІ: 288-1166) та 196 (95 % СІ: 72-300); 54 (95 % СІ: 0-109) та 50 (95 % СІ: 0-109).

Як видно з таблиці 5.9 захворюваність на ХБ серед дорослих, що проживають у м. Київ була більшою, порівняно з Київською областю і в середньому дорівнювала 33 та 14 випадків на 100 тис. населення, відповідно. Це пов'язано з тим, що концентрації  $PM_{10}$ , використані в розрахунках були дещо вищими у м. Києві, а також вірогідно з низьким рівнем звернень до закладів медичної допомоги у Київській області з приводу захворювання на ХБ. Орієнтовна постнеонатальна



смертність зумовлена експозицією  $PM_{10}$  у м. Київ та Київській області у 2017 році склала: 3 (95 % СІ: 1-5) та 1 (95 % СІ: 0-1) випадки, відповідно.

Таблиця 5.9

**Атрибутивні частки та додаткові випадки захворюваності на хронічний бронхіт у дорослих та смерті в постнеонатальному періоді від тривалого впливу  $PM_{10}$  на рівні 33,47  $мкг/м^3$  в м. Київ та 27,8  $мкг/м^3$  в Київській області**

Показник стану здоров'я, відносний ризик	Показник	Результат	Концентрація $PM_{10}$	
			33,47 $мкг/м^3$	27,8 $мкг/м^3$
Захворюваність на ХБ у дорослих  1,117 (1,04-1,189)	атрибутивні випадки	кількість	776	196
		СІ	288-1166	72-300
	атрибутивна фракція	%	13,85	8,27
		% (95 СІ)	5,15-20,8	3,01-12,63
Постнеонатальна смертність  1,04 (1,02-1,07)	атрибутивні випадки	кількість	1	3
		СІ	0-1	1-5
	атрибутивна фракція	%	3,01	5,15
		% (95 СІ)	1,53-5,14	2,63-8,71

Загалом проведені розрахунки встановили, що в середньому в 2017 р. у м. Київ та Київській області відповідно: 9,2 та 6,4 % смертей від раку легень; 8,8 та 6,6 % – від ХОЗЛ; 4,9 та 3,7 % – від ІХС; 4,4 та 3,4 % – від інсульту пов'язані з тривалим впливом концентрацій  $PM_{2,5}$  на рівні, що перевищує 10  $мкг/м^3$ , а 13,85 та 8,27 % випадків захворюваності на ХБ у дорослих; 5,2 та 3,0 % випадків смерті в постнеонатальному періоді викликані тривалим впливом концентрацій  $PM_{10}$ , що перевищують 20  $мкг/м^3$ .

Оцінка наслідків для здоров'я, пов'язаних з впливом приземних концентрацій твердих часток пилу з використанням програмного комплексу AirQ+ широко проводиться в різних країнах світу. Дослідження проведені у 2018 році у Тузлі, де основним джерелом забруднення є електростанція, що працює на лігніті, показали, що забруднення атмосферного повітря  $PM_{2,5}$  спричинило 136 передчасних смертей серед дорослого населення старше 30 років, що становить 17 % від усіх смертей у зазначеній групі, а  $PM_{10}$  призвели до 1339 нових випадків бронхіту (третина всіх випадків) у дорослих [288]. У 2014 році в Римі у середньому

27,67 % смертей (1189 випадків) від ІХС; 19,9 % (387 випадків) від інсульту; 15,9 % (348 випадків) від ХОЗЛ та 9,5 % (43 випадки) від раку легень були віднесені на рахунок середньорічної концентрації  $PM_{2.5}$  на рівні 15,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  [289]. Атрибутивна частка передчасних смертей від тривалого впливу дрібних твердих часток пилу в 2015 році у 161 місті Китаю становила: 51,70 % від цереброваскулярних хвороб, 26,26 % – ІХС, 11,77 % – ХОЗЛ, 9,45 % – раку легень [290]. За оцінкою Faridi S та співавторів, у Тегерані тривалий вплив  $PM_{2.5}$  (протягом 2006-2015 рр.) у середньорічних концентраціях від 24,7 до 38,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  став причиною смерті від інсульту у 24,5-36,2 % випадків, від ІХС у 19,8-24,1 %, від раку легень у 13,6-19,2 %, від ХОЗЛ у 10,7-15,3 % випадків [291].

Підсумовуючи, оцінка впливу твердих часток пилу на здоров'я населення, що проживає у м. Київ та Київській області з використанням програмного комплексу AirQ + свідчить про те, що значну кількість передчасних смертей та випадків хронічного бронхіту у дорослих можна було запобігти, якби рівень основних РМ був знижений, відповідно до значень наведених у Керівних принципах ВООЗ щодо якості повітря [197, 198]. Однак, слід зауважити те, що деякі обмеження і невизначеності даного аналізу заслуговують обговорення. Оцінка впливу твердих часток пилу на показники здоров'я населення Київської області може бути недооцінена у зв'язку з тим, що моніторингові дослідження на даній території не проводяться, а концентрації, що були прийняті для розрахунків, отриманні під час досліджень атмосферного повітря проведених протягом квітня-липня та жовтня-листопада 2017 року на території Обухівського району та екстрапольовані на всю область. В той самий час відсутність необхідної статистичної інформації не дозволила провести кількісну оцінку впливу  $PM_{2.5}$  та  $PM_{10}$  виключно на населення, що проживає в Обухівському районі Київської області. Але незаперечним лишається той факт, що забруднення повітря твердими частками пилу є важливою, але запобіжною проблемою охорони громадського здоров'я.

### 5.3 Розрахунок та аналіз індексу якості повітря, відповідно до міжнародних вимог

Індекс якості повітря не використовується як офіційний показник якості повітря в Україні. Найважливішими проблемами, що заважають науковцям розвивати AQI в нашій країні є відсутність даних про постійний моніторинг забруднення атмосферного повітря з 1-годинним або 24-годинним усередненням та граничних значень для  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ , а також недостатній доступ до наявних даних моніторингу.

З 2017 року в Україні швидкими темпами розвивається мережа громадського моніторингу повітря. Перш за все, мова йде про станції громадського моніторингу, що засновані на IT-технологіях і дозволяють за допомогою електрохімічних, лазерних і металооксидних сенсорів вимірювати та оцінювати якість атмосферного повітря. Станції встановлено мешканцями міст, незалежними проектами, організаціями та органами місцевого самоврядування, такими як: Save Dnipro, luftdaten.info, Eco City, AirVisual, Air Pollution, Kyiv Smart City, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, тощо. При цьому, дані щодо якості повітря, а саме індекс якості повітря, розрахований за алгоритмом EPA USA можна отримати через мобільний додаток, соціальні мережі, а також на карті міста через веб-сторінку (сервіс SaveEcoBot, IQAir, [AirVisual](#)) [292-294]. Хоча розробники зазначають, що якість повітря оцінюється за 2 показниками: AQI загальний та окремо для  $PM_{2.5}$ , на веб-сторінках неможливо знайти інформацію щодо показників, які вимірюються та використовуються у розрахунках загального індексу, так само як інформацію щодо його рівня. Також слід зазначити, що розробники використовують американський підхід для розрахунку AQI, який базується на Національних стандартах якості повітря США, що суттєво відрізняються від значень зазначених у Директиві 2008/50/ЄС, положення якої Україна має імплементувати та рекомендацій ВООЗ на яких базується розрахунок Європейського AQI [151, 152, 167, 295].

Основна мета даного дослідження полягала в аналізі індексів якості повітря, отриманих при застосуванні «американського» (ЕРА АQІ) та «європейського» (ЕU АQІ) підходів. Для розрахунків використовувались концентрації твердих часток пилу та озону, тому що вони є одними з найбільш небезпечних забруднюючих речовин в атмосферному повітрі з точки зору шкідливого впливу на здоров'я людини [6, 223, 225]. Аналіз проводився на підставі даних отриманих у м. Київ протягом 2017-2018 років (червень 2017 р. – травень 2018 р.) на стаціонарному пості моніторингу РМ (середньодобові концентрації РМ<sub>10</sub>, РМ<sub>2.5</sub>) та влітку 2017 р. за допомогою медико-екологічної лабораторії (1-годинні та 8-годинні концентрації озону). Фіксовані вимірювання здійснювалися з застосуванням стандартних методів, що зазначені в Директиві 2008/50/ЄС [37].

Вплив на здоров'я населення, пов'язаний з різними рівнями твердих часток пилу та озону в атмосферному повітрі оцінювався, відповідно до категорій АQІ запропонованих ЕРА та ЕЕА (табл. 5.10) [183, 196].

Таблиця 5.10

**Характеристика рівнів індексів якості повітря, їх вплив на здоров'я та відповідні рекомендації для населення**

ЕРА АQІ, рівень	Вплив на здоров'я, рекомендації	ЕU АQІ, Рівень
1	2	3
Добре	вплив на здоров'я відсутній; гарний день для активного відпочинку на відкритому повітрі	Добре
Помірний	вплив на здоров'я мінімальний; гарний день для активного відпочинку на відкритому повітрі для більшості населення; незначна кількість людей, які гіперчутливі до впливу озону або РМ, можуть відчувати респіраторні симптоми (кашель, утруднене дихання), тому їм необхідно обмежити фізичну активність на відкритому повітрі	Задовільний
Шкідливий для чутливих груп	чутливі групи населення (з хронічними захворюваннями дихальної та серцево-судинної системи, літні люди та діти) можуть відчувати наслідки для здоров'я (загострення БА, серцебиття, задишка, втомлюваність) та при появі симптомів, мають обмежити фізичну активність на відкритому повітрі	Помірний

1	2	3
Шкідливий	<p>все населення може відчувати наслідки для здоров'я (дискомфорт при диханні, втомлюваність);</p> <p>у чутливих груп населення можуть спостерігатися більш серйозні наслідки для здоров'я (розвиток респіраторних симптомів у літніх людей та дітей; загострення захворювань серцево-судинної та дихальної систем);</p> <p>чутливим групам населення слід уникати фізичної активності на відкритому повітрі, а все інше населення має обмежити фізичну активність на відкритому повітрі</p>	Поганий
Дуже шкідливий	<p>значне збільшення частоти виникнення респіраторних ефектів серед здорового населення (кашель, біль при глибокому вдиху, задишка), у чутливих групах населення збільшується частота загострень захворювань серцево-судинної та дихальної систем та передчасна смертність людей із цією патологією);</p> <p>чутливим групам населення слід уникати перебування на відкритому повітрі;</p> <p>все інше населення має обмежити перебування на відкритому повітрі</p>	Дуже поганий
Небезпечний	<p>значний ризик виникнення респіраторних ефектів на рівні популяції;</p> <p>здорові люди можуть відчувати несприятливі симптоми, які впливатимуть на нормальну активність;</p> <p>високий ризик передчасної смертності серед літніх людей та людей з хронічними захворюваннями серцево-судинної та дихальної систем;</p> <p>все населення має уникати перебування на відкритому повітрі та підтримувати низький рівень активності у приміщенні</p>	Надзвичайно поганий

Аналіз отриманих даних виявив значні розбіжності між визначеними рівнями небезпеки атмосферного повітря для здоров'я населення в залежності від використаного підходу. Розрахунок AQI для PM<sub>10</sub> за алгоритмом EPA показав, що даний показник був меншим за стандартний ліміт (AQI <100) у 100 % випадків. Натомість, розрахований Європейський AQI свідчив про те, що лише у 65,15 % (200 днів) якість повітря була на рівні при якому вплив на здоров'я населення відсутній або мінімальний. Загалом у 34,85 % (107 днів) люди мали бути попереджені про можливий негативний вплив атмосферного повітря на здоров'я всього населення або чутливих груп (рис. 5.3).

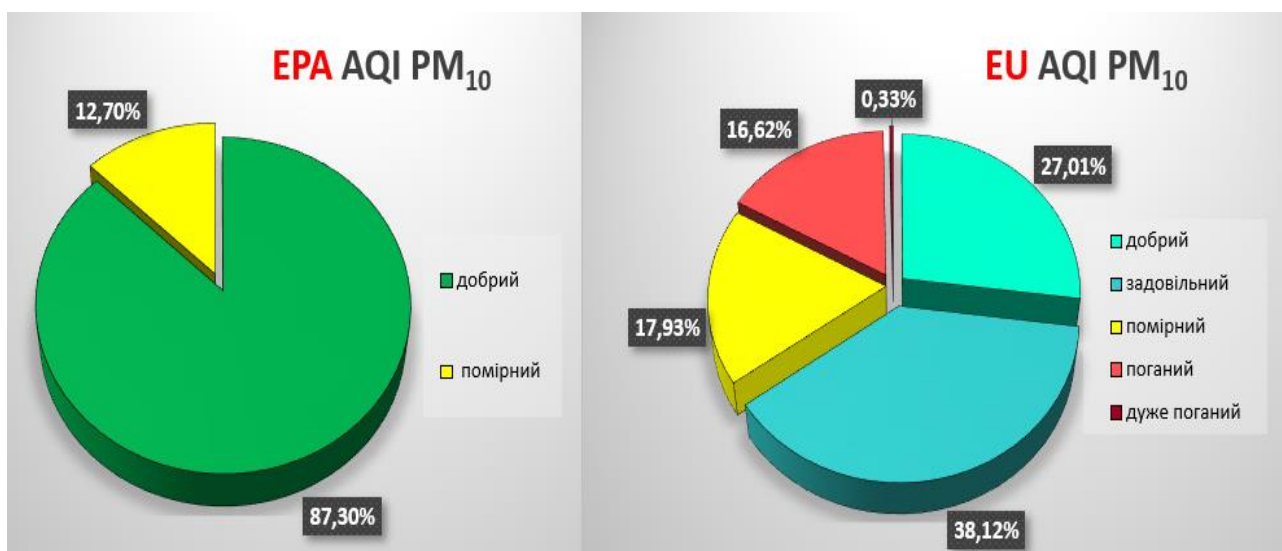


Рисунок 5.3 - Розподіл індексів якості повітря PM<sub>10</sub> за категоріями

Що стосується індивідуальних AQI розрахованих для PM<sub>2.5</sub>, то їх показник не перевищував стандартні ліміти (>50) у: 91,75 % (278 днів) для EPA AQI та у 57,43 % (174 дні) для EU AQI (рис. 5.4). Кількість днів з якістю повітря, що може вплинути на здоров'я лише чутливих груп або населення в цілому становила відповідно: 21 (6,93 %) та 4 дні (1,32 %) для EPA AQI; 50 (16,50 %) та 73 дні (24,09 %) для EU AQI.

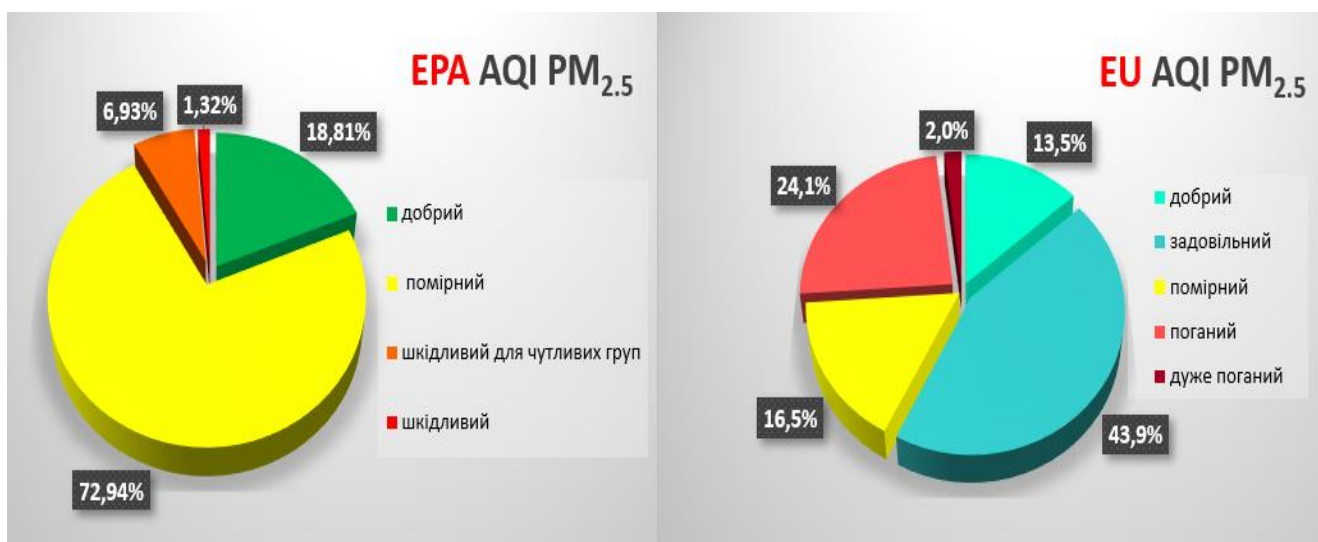


Рисунок 5.4 - Розподіл індексів якості повітря PM<sub>2.5</sub> за категоріями

Розрахунок якості повітря від забруднення  $PM_{2.5}$  за алгоритмом запропонованим ЕЕА виявив, що протягом 6 днів (1,98 %) рівень забруднення визначався як «дуже поганий», що свідчить про те, що перебування на відкритому повітрі призведе до значного збільшення частоти виникнення респіраторних симптомів серед здорового населення (кашель, біль при глибокому вдиху, задишка), а в чутливих групах населення збільшиться частота загострень захворювань серцево-судинної та дихальної систем, що може призвести до передчасної смерті.

Дослідження забруднення атмосферного повітря озоном поводилося влітку 2017 року протягом 46 діб при температурі повітря від 16,2 до 35,9 °С. Як видно з рисунку 5.5, по відношенню до оцінок озону, показник ЕРА АQI був визначений як «помірний» у 2,17 % (1 день), «шкідливий для чутливих груп» у 21,74 % (10 днів), «шкідливий» у 43,48 % (20 днів), «дуже шкідливий» у 32,61 % (15 днів). Кількість днів з «поганим» та «дуже поганим» рівнем якості повітря визначеним за алгоритмом ЕЕА була відповідно вдвічі більша та втричі менша, ніж при розрахунку ЕРА АQI, а саме 41 день (89,13 %) та 5 днів (10,89 %).

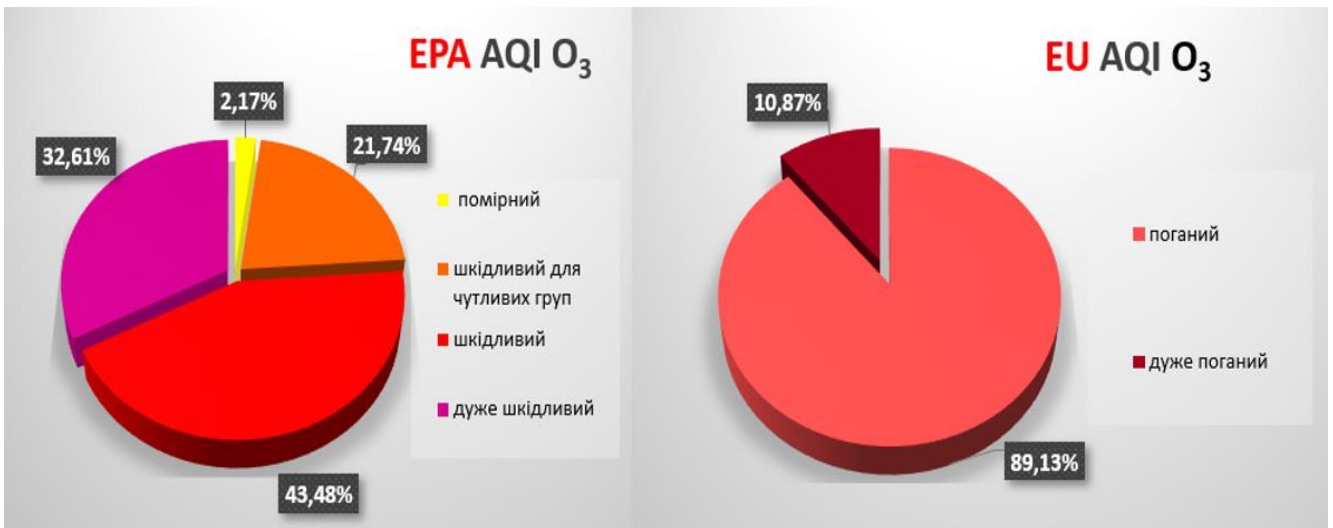


Рисунок 5.5 - Розподіл індексів якості повітря озону за категоріями

Проведені розрахунки вказують на те, що використання американського підходу для розрахунків АQI, який застосовують суб'єкти громадського

моніторингу, може недооцінювати рівень небезпеки атмосферного повітря та його вплив на здоров'я, а отже інформування населення відбувається не в повному обсязі [295]. Ймовірніше за все, це пов'язано з тим, що категорії EPA AQI не мають лінійної залежності з масовою концентрацією забруднюючої речовини, на відміну від EU AQI. Тому загальний AQI було вирішено визначити за алгоритмом запропонованим ЕЕА. Серед індивідуальних індексів  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  та  $O_3$  визначалося найвище значення, яке надалі приймалося за рівень загального щоденного Європейського індексу якості повітря.

Було встановлено, що протягом року якість повітря у 39,19 % (138 днів) була на рівні при якому вплив на здоров'я населення був відсутній або мінімальний. Кількість днів, коли лише чутливі групи населення можуть відчувати наслідки для здоров'я становила 60 днів, що складало 17,2 %. Показник AQI був визначений як «поганий» у 39,2 % (136 днів), а «дуже поганий» у 3,8 % (13 днів) (рис. 5.6).

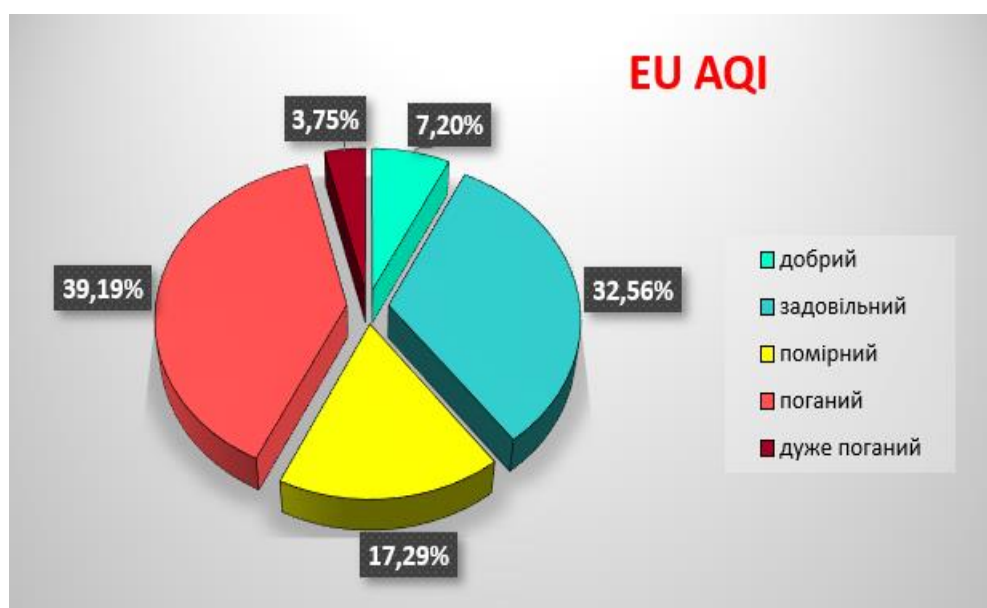


Рисунок 5.6 - Розподіл індексів якості повітря за категоріями

Також, у даному дослідженні було проаналізовано рівні AQI в опалювальний та міжопалювальний періоди. Кількість днів зі шкідливим для всього населення рівнем якості повітрям була однаковою для обох періодів і становила 68 днів, але протягом опалювального сезону у 100 % днів найважливішим фактором



підвищення показника якості повітря були дрібні тверді частки пилу ( $PM_{2.5}$ ), тоді як протягом квітня-вересня це відбувалось переважно за рахунок  $PM_{10}$  та озону. Впродовж жовтня-березня 7 днів були віднесені до категорії AQI «дуже поганий» за рахунок високих середньодобових концентрацій  $PM_{2.5}$  (на рівні  $59,71 \text{ мкг/м}^3$ , що в 2,4 рази перевищує граничні значення рекомендовані ВООЗ). Отже, можна зробити висновок, що ТЕО під час опалювального сезону є основним стаціонарним забруднювачем атмосферного повітря як первинними, так і вторинними  $PM_{2.5}$ , що може призвести до підвищення захворюваності та додаткових випадків передчасної смерті від захворювань серцево-судинної системи та органів дихання.

Встановлено, що протягом періоду дослідження відсоток днів, коли певна забруднююча речовина відповідала за рівень AQI становив для:  $PM_{2.5}$  – 61,9 %,  $PM_{10}$  – 16,2 %, озону – 21,9 %. Отже,  $PM_{2.5}$  можна вважати одним з пріоритетних забруднювачів атмосферного повітря, особливо у холодний період року, що становить серйозну небезпеку для здоров'я населення. Слід зазначити, що результати отриманні в теплий період року можуть бути недооціненими. Це пов'язано з тим, що для розрахунків були наявні концентрації озону лише за 46 днів, проте саме у ці дні даний забруднювач був найважливішим фактором підвищення показника якості повітря. Результати дослідження вказують на те, що нагальною проблемою в Україні, яка потребує вирішення є моніторинг за твердими частками пилу (насамперед  $PM_{2.5}$ ) та озону, а також затвердження гігієнічних нормативів для  $PM_{2.5}$  та  $PM_{10}$ .

На підставі проведених досліджень, показано, що використання AQI з метою привернення уваги громадськості та відповідальних місцевих державних службовців до проблем забруднення атмосферного повітря є вельми корисним. У зв'язку з цим вважаємо за доцільне вдосконалити використовувані в Україні методи інтегральної оцінки забруднення атмосферного повітря, включаючи розробку нового інтегрального індексу забруднення повітря, з урахуванням досвіду використання таких індексів в інших країнах. На нашу думку, більш прийнятною методологією розрахунку AQI в Україні є методологія запропонована ЕЕА.

## Висновки до розділу 5

На підставі проведених досліджень було показано високу ймовірність впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення, що проживає в зонах впливу ТЕО та підкреслено необхідність у пошуку та адаптації сучасних методичних підходів до кількісної оцінки характеристик та інформування ризику.

1. Визначено рівні неканцерогенного ризику (HQ) при оцінках гострих (на рівні усередненої добової концентрації) та хронічних (на рівні усередненої річної концентрації) інгаляційних впливів пріоритетних хімічних речовин ТЕС на здоров'я експонованого населення. Встановлено, що коефіцієнти небезпеки (гострий вплив) у 25 контрольних точках перевищують допустимий рівень ризику ( $HQ \geq 1$ ) для: пилу НДЗС – м. Українка КТ А ( $HQ=1,5$ ); с. Таценки КТ V ( $HQ=1,2$ );  $PM_{10}$  – м. Українка КТ А ( $HQ=2,5$ ); КТ F (зима –  $HQ = 1,2$ ; літо –  $HQ = 1,3$ ); КТ G ( $HQ = 1,1$ ); с. Таценки КТ V ( $HQ=2,0$ ). При оцінках хронічного впливу на здоров'я людини викидів пріоритезованих забруднюючих речовин, визначено, що коефіцієнти небезпеки не перевищують допустимий рівень ( $HQ \leq 1$ ) та ризик для здоров'я експонованого населення – мінімальний.
2. Розраховано рівні індивідуального ризику смерті (IRM) для  $PM_{10}$  та визначено, що їх рівні коливаються в наступних межах: м. Обухів  $IRM = 3,6 \times 10^{-5} \div 8,2 \times 10^{-5}$ , с. Дерев'яне  $IRM = 6,1 \times 10^{-5} \div 7,3 \times 10^{-5}$ , с. Халеп'я  $IRM = 9,5 \times 10^{-5}$  та відповідають зоні умовно прийняттого (допустимого) ризику; м. Українка  $IRM = 1,1 \times 10^{-4} \div 7,7 \times 10^{-4}$ ; с. Красне Перше  $IRM = 1,3 \times 10^{-4}$ ; с. Щербанівка  $IRM = 1,8 \times 10^{-4}$ ; с. Трипілля  $IRM = 6,0 \times 10^{-5} \div 1,4 \times 10^{-4}$ ; с. Таценки  $IRM = 5,1 \times 10^{-4}$ ; с. Плюти  $IRM = 2,3 \times 10^{-4}$ ; с. Жуківці  $IRM = 2,2 \times 10^{-4}$ , що характеризуються як допустимі для професійних контингентів та недопустимі для населення в цілому та потребують розробки та проведення планових профілактичних заходів.
3. Проведено кількісну оцінку впливу забрудненого атмосферного повітря на здоров'я населення за допомогою інструментів програмного забезпечення AirQ+ та доведено, що тривалий вплив концентрацій  $PM_{2.5}$  на рівні  $21,2 \text{ мкг/м}^3$  та  $17,7 \text{ мкг/м}^3$ ,  $PM_{10}$  на рівні  $33,47 \text{ мкг/м}^3$  та  $27,8 \text{ мкг/м}^3$  у м. Києві

та Київській області відповідно, можуть бути передбачуваною причиною значної кількості передчасних смертей та випадків хронічного бронхіту, як у дорослих так і у дітей.

4. Встановлено, що атрибутивна частка смертей у м. Київ та Київській області, яка пов'язана з експозицією  $PM_{2.5}$ , становить, відповідно: 9,2 та 6,4 % від раку легень; 8,8 та 6,6 % від хронічного обструктивного захворювання легень; 4,9 та 3,7 % від ішемічної хвороби серця; 4,4 та 3,4 % від інсульту. Експозиція  $PM_{10}$  може призвести до 13,9 % випадків захворюваності на хронічний бронхіт серед дорослих у м. Київ та 8,3 % у Київській області.
5. Визначено, що протягом року індекс якості повітря (AQI) для сельбищних територій поблизу ТЕО був оцінений у 39,2 % (136 днів) як «поганий» – шкідливий для всього населення; у 17,2 % (60 днів) як «помірний» – шкідливий для чутливих груп; у 3,8 % (13 днів) як «дуже поганий». Влітку шкідливий рівень забруднення повітря був обумовлений підвищеними концентраціями озону, а протягом опалювального сезону в 100 % концентраціями  $PM_{2.5}$ . Отримані дані доводять те, що ТЕО є основними стаціонарними забруднювачами повітря  $PM_{2.5}$  в опалювальний період.
6. Доведено необхідність розробки офіційного інтегрального показника якості атмосферного повітря як інструменту оперативного інформування населення, а більш прийнятною методологією розрахунку індексу якості повітря в Україні є методологія запропонована Європейським агентством з навколишнього середовища.

Матеріали даного розділу відображені у наступних публікаціях: [234, 295].

**РОЗДІЛ 6**  
**НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМУ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ**  
**ВПЛИВУ НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**  
**ЗАБРУДНЕНОГО ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ**  
**(аналіз та узагальнення результатів)**

На підставі проведених досліджень та отриманих результатів було показано/доведено, що функціонування ТЕО становить серйозну загрозу для здоров'я та життя людини за рахунок ІХС, цереброваскулярних захворювань, хронічних захворювань нижніх дихальних шляхів та раку легень тощо. Проте уряд України продовжує витрачати величезні державні кошти, в т.ч. податки своїх громадян, на підтримку вугільної енергетики.

Найближчим часом не варто сподіватися на значне зниження забруднення атмосферного повітря продуктами згоряння органічного палива, насамперед вугілля. Тому, проблема кількісної оцінки впливу забрудненого атмосферного повітря на здоров'я населення, яке проживає на територіях, що знаходяться в зоні впливу твердопаливних ТЕО є досить актуальною.

Врегульованим питанням захисту населення, що проживає поруч ТЕО є лише вимоги до організації санітарно-захисної зони (СЗЗ) від майданчиків-накопичувачів золошламових сумішей, що визначаються відповідно до санітарної класифікації підприємств, виробництв, споруд «Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів. ДСП №173-96», розрахунковим методом розміром не менше 300 м [296]. Розмір СЗЗ власне для ТЕО має встановлюватися на підставі розрахунків розсіювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі та підтверджуватись даними натурних (інструментальних) досліджень. Водночас несприятливий вплив цих об'єктів на довкілля та санітарно-гігієнічні умови проживання населення спостерігається не лише на прилеглих до них територіях, але й залишається значним на територіях, що потрапляють до їх зон впливу (понад 4000 м) та не враховуються при встановленні СЗЗ. Таку ситуацію можна пояснити використанням високоємних та енергоефективних технологій у

виробничих процесах; висотою джерел викидів (у середньому понад 100 м) та температурою виходу газоповітряної суміші; рельєфу місцевості, особливостей метеорологічних умов (тиск, хмарність, атмосферна вологість, температура, швидкість та напрямок вітру, хмарність, сонячна радіація та ін.), що впливають на формування специфічних стійких на певному часовому проміжку станів атмосфери, які і визначають рівні концентрацій забруднюючих речовин та їх часово-просторовий розподіл; дефіцитом земельних ресурсів населених місць і обмеженням можливості нецільового використання земель промислового та сільськогосподарського призначення. Отже, хмара викидів може переноситись на сотні кілометрів, у тому числі долаючи кордони держави (транскордонне забруднення). При цьому, забруднення територій відбувається вкрай нерівномірно. Викиди в атмосферне повітря осідають і забруднюють ґрунтовий покрив у вигляді радіальних смуг на відстані до 20 км [297]. Тверді частки пилу діаметром 10 мкм і більше, осідають досить швидко та їх вплив проявляється у безпосередній близькості від ТЕО в радіусі до 3 км, на той час як РМ<sub>2.5</sub> можуть долати сотні кілометрів, перш ніж осядуть. З огляду на те, що в Україні не має нормування пилу в залежності від дисперсного складу, то відповідно під час організації та проектування СЗЗ ризик для здоров'я населення, яке проживає в зоні впливу ТЕО не розглядається. Це, своєю чергою, вимагає достовірних оцінок та вивчення закономірностей формування експозиційних навантажень впливу цих об'єктів на здоров'я населення, яке проживає у зонах неприйнятної ризику в тому числі під час обґрунтування розмірів санітарно-захисних зон.

Насамперед оцінка впливу забруднюючих речовин на здоров'я людини базується на визначенні їх концентрацій в ПША. Наявність моніторингових даних у зоні впливу ТЕО суттєво допомогло б у визначенні рівня забруднення ПША речовинами, що викидаються даними об'єктами. На жаль, на сьогодні організація та методологія моніторингу за станом атмосферного повітря не відповідає критеріям зазначеним в Директиві 2008/50/ЄС, яку Україна зобов'язалася впровадити у повному обсязі до кінця 2019 року. Хоча, великим кроком на зустріч гармонізації законодавства України до ЄС було затвердження постанови КМУ від

14 серпня 2019 р. № 827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря». Але й досі залишаються не вирішеними питання щодо адаптації методології вимірів концентрацій забруднюючих речовин, відповідно до вимог європейського законодавства; встановлення граничних величин (гігієнічних нормативів) для  $PM_{10}$  та  $PM_{2,5}$ ; організація автоматизованих постів спостережень за твердими частками пилу та озоном із застосуванням стандартних методів (Додаток 3, Директива 2008/50/ЄС) вимірювання забруднюючих речовин та оприлюдненням з використанням інформаційно-аналітичної системи даних про якість атмосферного повітря.

У звіті Альянсу з охорони здоров'я (The Health and Environment Alliance – HEAL) було проаналізовано реальні витрати на здоров'я, які виникають в результаті субсидій на викопне паливо в ряді окремих країн. Наприклад, у Великобританії витрати на охорону здоров'я лише від передчасної смерті, обумовленої забрудненням атмосферного повітря ТЕО, що працюють на викопному паливі, становлять 30,7 мільярда доларів та майже у п'ять разів перевищують виплачені на галузь субсидії (6,5 мільярдів доларів). У Китаї викопне паливо призводить до приголомшливих витрат на охорону здоров'я в розмірі 1790 мільярдів доларів США в результаті забруднення повітря, що більш ніж у 18 разів перевищує витрати країни на видобуток нафти, газу і вугілля, що сприяє розпалюванню кризи у сфері охорони здоров'я [298].

На сьогодні в Україні не проводиться кількісна оцінка наслідків впливу забруднення атмосферного повітря вугільними ТЕО на здоров'я населення, а як наслідок і пов'язані з цим витрати на охорону здоров'я. Тому необхідним є розробка алгоритму кількісної оцінки впливу ТЕО, що дозволить оцінити ризик здоров'ю населення, яке проживає в зоні впливу підприємств та надасть об'єктивні підстави для впровадження профілактичних заходів. У даній роботі за основу алгоритму пропонується використати загальну процедуру методології оцінки ризику для здоров'я населення (Human Health Risk Assessment), що розроблена й рекомендована Агентством США з охорони довкілля, ВООЗ та ефективно використовується науковцями всього світу для усунення або зменшення ризику.

Також, слід зазначити, що впровадження даної методології в Україні базувалося на використанні алгоритму, розробленого лабораторією якості повітря ДУ «ІГЗ ім. О.М. Марзеєва НАМН України» [210].

Таким чином, на підставі проведених досліджень, враховуючи вимоги чинного санітарного і природоохоронного законодавства України та сучасні (доступні) методичні підходи було запропоновано до впровадження алгоритм кількісної оцінки впливу на здоров'я населення атмосферного повітря забрудненого теплоенергетичними об'єктами (рис. 6.1).

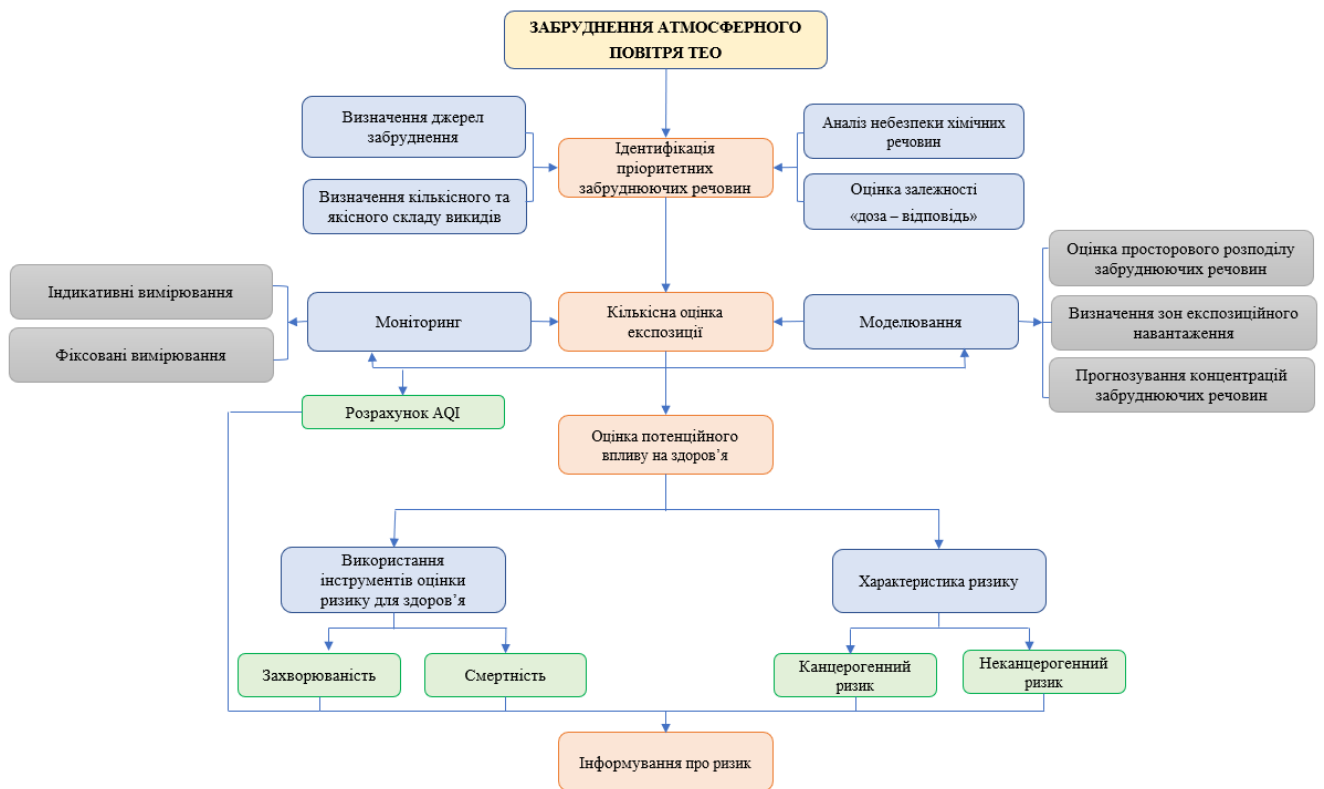


Рисунок 6.1 – Алгоритм кількісної оцінки впливу на здоров'я населення атмосферного повітря забрудненого теплоенергетичними об'єктами

Даний алгоритм, перш за все, орієнтований на кількісну оцінку впливу ТЕО на здоров'я населення та передбачає проведення ідентифікації небезпеки, а саме визначення переліку пріоритетних речовини, що потребують контролю, використовуючи наступні критерії: значний об'єм викидів, дані щодо небезпеки для здоров'я населення та здатність забруднюючих речовин вступати в атмосфері

у фотохімічні та хімічні перетворення з утворенням більш токсичних речовин (зокрема озону). Для ТЕО такими речовинами є: сірки діоксид, оксиди азоту, пил НДЗС,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , але перелік може бути розширено.

Другим етапом є кількісна оцінка рівнів забруднення ПША пріоритетними речовинами в зоні впливу ТЕО. Це можливо за рахунок проведення моніторингових досліджень якості атмосферного повітря або моделювання забруднюючих речовин, що викидаються підприємством. Організація моніторингу дозволяє не лише систематично вимірювати забруднюючі речовини з метою збирання та збереження інформації, але при доповненні автоматичними системами збору, аналізу та передачі інформації швидко реагувати на небезпечний рівень забруднення атмосферного для подальшого інформування населення. Оскільки, екологічні знання позитивно впливають на сприйняття забруднення атмосферного повітря, інформація про його якість повинна широко розкриватися, щоб населення могло вживати заходів щодо зниження впливу і ризику для здоров'я. Це насамперед, стосується молоді та людей з низьким рівнем освіти, які мають обмежені знання. Тому в поєднанні наприклад, з прогнозом погоди населенню може бути передана інформація про якість атмосферного повітря на локальному рівні та рекомендовано заходи щодо зниження ризику.

Як інструмент оперативного інформування населення про рівень забруднення атмосферного повітря, з метою підвищення обізнаності широкої громадськості щодо наслідків забруднення повітря для здоров'я та заходів з їх пом'якшення, нами пропонується використовувати AQI запропонований ЕЕА. Його визначення базується на міжнародних критеріях зазначених у Директиві 2008/50/ЄС та рекомендацій ВООЗ, положення яких Україна має імплементувати. Набір категорій, які відповідають рівням небезпеки для здоров'я супроводжуються простими і легко зрозумілими рекомендаціями для населення. Необхідність застосування інтегрального показника стану атмосферного повітря обумовлена тим, що підприємства, які забруднюють атмосферне повітря (в т.ч. ТЕО), за умов чинного регулювання не зацікавлені у фінансуванні природоохоронних заходів у зв'язку з відсутністю економічних стимулів. Кошти, що витрачаються



підприємствами на сплату за забруднення є відносно незначними, тому дані підприємства не поспішають впроваджувати сучасні системи очищення. Отже, оперативне інформування населення про якість атмосферного повітря може зменшити експозиційне навантаження на населення при виконанні відповідних рекомендацій.

Слід зазначити, що для кількісної оцінки рівнів забруднення ПША пріоритетними речовинами від ТЕО пости моніторингу мають бути встановлені на підставі результатів математичного моделювання поширення забруднення атмосферного повітря та оцінки ризику для здоров'я населення, як того вимагає Директива ЄС 2008/50/ЄС та Постанова КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827. З огляду на те, що наявні системи моніторингу є недосконалими, то в багатьох країнах світу для моделювання атмосферної дисперсії, прогнозування концентрацій забруднюючих речовин в часі та оцінки рівнів усереднених концентрацій (година, доба, місяць, рік), відповідно до загальноприйнятих рекомендацій ВООЗ, міжнародних агенцій з охорони довкілля та директив ЄС, використовуються різні математичні моделі (дисперсійні, регресійні тощо) такі як ISC-AERMOD View, AEROPOL, CALPUFF тощо [47, 58, 71, 301]. Для адаптації застосування моделей розсіювання забруднення, зокрема ISC-AERMOD View (що був застосований в даній роботі), до вирішення задач розрахунку викидів ТЕО та прогнозування забруднюючих речовин в ПША, пропонується застосувати середньорічний коефіцієнт співвідношення між концентрацією  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  на рівні 0,65, що був визначений нами з використанням даних отриманих при проведенні моніторингових досліджень, а також коригувальний коефіцієнт при розрахунках середньодобових концентрацій  $PM_{2.5}$  на основі методу лінійної регресії окремо для опалювального сезону та в міжопалювальний період. Моделювання забруднення дозволяє не лише визначити концентрації забруднюючих речовин в ПША, але й виявити зони з високим експозиційним навантаженням для населення, що може слугувати підґрунтям для проведення моніторингових досліджень на визначеній території.

Отриманні під час моніторингових досліджень та моделювання рівні концентрацій забруднюючих речовин надалі повинні бути використані для оцінки

потенційного впливу на здоров'я населення з наступним застосуванням аналізу ризиків (канцерогенних та неканцерогенних) та розрахунків кількісних наслідків для здоров'я населення (захворюваність, смертність, тощо), пов'язаних з короткочасним та тривалим впливом забруднюючих речовин та використанням інструментів оцінки ризику для на здоров'я від забруднення повітря, наприклад: +AirQ+2.2, Aphekom, EcoSense, BenMAP-CE, TM5-FASST тощо. Апробований та рекомендований нами програмний комплекс AirQ+2.0 зручний та зрозумілий для користувача, а також враховує наслідки для здоров'я населення, що пов'язані з короткочасним та тривалим впливом пріоритетних забруднюючих речовин, які надходять в атмосферне повітря від ТЕО [299].

Отримані результати про ризик для здоров'я населення мають бути оприлюднені для можливості обговорення проблематики фахівцями, науковцями, громадськістю та іншими зацікавленими групами з метою прийняття управлінських рішень для зменшення рівня захворюваності, смертності серед населення та зниження медичних витрат, пов'язаних із забрудненням атмосферного повітря ТЕО.

Узагальнюючи сказане, необхідно зазначити, що запропонований алгоритм кількісної оцінки впливу на здоров'я населення атмосферного повітря забрудненого теплоенергетичними об'єктами передбачає використання фіксованих та індикативних вимірювань, змодельованих сценаріїв забруднення, ймовірнісну оцінку окремих індикаторних показників стану здоров'я, що дозволяє врахувати специфіку функціонування теплоенергетичних об'єктів як джерела забруднення атмосферного повітря. Його впровадження на державному рівні може бути основою для визначення управлінських заходів, необхідних для розробки та здійснення медико-екологічних програм щодо зниження інгаляційних ризиків для здоров'я експонованого населення, що проживає в зонах теплоенергетичних об'єктів.

**Матеріали даного розділу відображені у наступних публікаціях: [299, 301].**

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі проведених комплексних досліджень (аналітичних та натурних) узагальнено та поглиблено розуміння щодо небезпеки для здоров'я населення забруднення атмосферного повітря ТЕО та удосконалено методичні підходи до їх гігієнічної оцінки.

1. Проведено натурні дослідження атмосферного повітря у Київській області та м. Київ в зонах впливу ТЕО. Встановлено максимальне перевищення вітчизняних гігієнічних нормативів та міжнародних критеріїв оцінки якості повітря для пилу НДЗС у 5,4 раза ( $0,10 \div 2,68$  мг/м<sup>3</sup>), озону в 1,8 раза ( $0,05 \div 0,29$  мг/м<sup>3</sup>), РМ<sub>2,5</sub> в 1,5 раза ( $5,8 \div 36,6$  мкг/м<sup>3</sup>), РМ<sub>10</sub> в 1,1 раза ( $10,0 \div 53,4$  мкг/м<sup>3</sup>) – у населених пунктах Київської області; РМ<sub>2,5</sub> – у 2,7 раза ( $6,0 \div 69,0$  мкг/м<sup>3</sup>), РМ<sub>10</sub> – у 2,4 раза ( $7,0 \div 118,0$  мкг/м<sup>3</sup>) та озону – у 1,4 раза ( $0,19 \div 0,22$  мкг/м<sup>3</sup>) у м. Київ. Це доводить необхідність розширення моніторингових програм та переліку потенційно небезпечних хімічних речовин за рахунок твердих часток пилу та озону.
2. Визначено, на підставі проведених фіксованих вимірювань з використанням стандартних методів, які відповідають вітчизняним та міжнародним вимогам пробовідбору, що середньорічні концентрації твердих часток пилу знаходилися на рівні для РМ<sub>10</sub> – 33,0 мкг/м<sup>3</sup>, РМ<sub>2,5</sub> – 21,0 мкг/м<sup>3</sup> та не перевищували граничні значення, вказані в Директиві 2008/50/ЄС, але обумовлювали небезпечний рівень, згідно з рекомендаціями ВООЗ. Показано, що кількість днів з перевищенням середньодобової концентрації протягом року становила для РМ<sub>10</sub> – 54 дні, РМ<sub>2,5</sub> – 95 днів (з них 79 днів в опалювальний період); при цьому РМ<sub>10</sub> у 2,4 раза перевищували граничні значення за Директивою 2008/50/ЄС, РМ<sub>2,5</sub> у 2,7 раза за рекомендаціями ВООЗ. Це свідчить про превалюючий сезонний вплив РМ<sub>2,5</sub> на населення.
3. Встановлено, на підставі порівняльного аналізу вмісту твердих часток пилу в атмосферному повітрі, співвідношення РМ<sub>2,5</sub>/РМ<sub>10</sub> в зоні впливу ТЕО на

- рівні значень: 0,65 – середньорічне; 0,75 – в опалювальний сезон; 0,56 – в міжопалювальний період. Доведено можливість застосування коригувальних коефіцієнтів під час розрахунків середньодобових концентрацій  $PM_{2.5}$  на основі методу лінійної регресії, окремо для опалювального сезону та міжопалювального періоду, що підвищує точність збігів розрахованих та виміряних концентрацій до 76 % та дозволяє скоротити невизначеність при оцінках експозиції.
4. Проведено моделювання усереднених 1-годинних, добових та річних концентрацій азоту діоксиду, вуглецю оксиду, сірки діоксиду, пилу НДЗС,  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  у ПША в зоні впливу вугільної ТЕС радіусом до 10 км від джерела забруднення підприємства з урахуванням розташування золовідвалів. Виявлено перевищення неканцерогенного ризику ( $HQ \geq 1$ ), за умови гострого інгаляційного впливу для пилу НДЗС ( $HQ_{acute}$  до 1,5) та  $PM_{10}$  ( $HQ_{acute}$  до 2,5), що підтверджує розширення можливостей гігієнічної оцінки забруднення атмосферного повітря.
  5. Встановлено, що на сельбищних територіях, які знаходяться в зоні впливу ТЕО залежно від індивідуальних характеристик територіального розташування та умов поширення забруднення, рівні індивідуального ризику смерті для  $PM_{10}$  коливалися в межах від  $3,6 \times 10^{-5}$  до  $7,7 \times 10^{-4}$  та характеризувались як недопустимі для експонованого населення.
  6. Доведено, що тривалий вплив концентрацій  $PM_{2.5}$  на рівні – 21,2  $\mu\text{кг}/\text{м}^3$  та 17,7  $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $PM_{10}$  на рівні – 33,47  $\mu\text{кг}/\text{м}^3$  та 27,8  $\mu\text{кг}/\text{м}^3$  відповідно у м. Київ та Київській області, можуть бути передбачуваною причиною значної кількості випадків відворотних смертей та захворюваності на хронічний бронхіт серед дорослих. Встановлено, що атрибутивна частка смертей у м. Київ та Київській області, яка пов'язана з експозицією  $PM_{2.5}$ , становить, відповідно: 9,2 та 6,4 % від раку легень; 8,8 та 6,4 % від хронічного обструктивного захворювання легень; 4,9 та 3,7 % від ішемічної хвороби

серця; 4,4 та 3,4 % від інсульту. Експозиція  $PM_{10}$  може призвести до 13,9 % випадків захворюваності на хронічний бронхіт серед дорослих у м. Київ та 8,3 % у Київській області.

7. Визначено, що протягом року індекс якості повітря (AQI) для сельбищних територій поблизу ТЕО був оцінений у 39,2 % (136 днів) як «поганий» – шкідливий для всього населення; у 17,2 % (60 днів) як «помірний» – шкідливий для чутливих груп; у 3,8 % (13 днів) як «дуже поганий».
8. Розроблено алгоритм кількісної оцінки впливу на здоров'я населення атмосферного повітря, забрудненого ТЕО, який передбачає використання комплексу натурних вимірювань, змодельованих сценаріїв забруднення, ймовірнісну оцінку впливу та його наслідків для здоров'я населення. Зважаючи на те, що в холодний період року шкідливий вплив атмосферного повітря був обумовлений високими рівнями твердих часток пилу, а влітку – озону, це може стати науковим підґрунтям для впровадження сезонних профілактичних програм щодо зниження рівня передчасної смертності та захворюваності населення, пов'язаних з патологією серцево-судинної, дихальної систем та розробки адаптаційних програм із змін клімату.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Coal 2019. Analysis and Forecasts to 2024. Fuel report: IEA, 2019. URL: <https://www.iea.org/reports/coal-2019> (дата звернення: 23.01.2020).
2. Energy and Air Pollution. World Energy Outlook (Special Report). Paris. International Energy Agency, 2016. URL: <https://webstore.iea.org/download/direct/343?fileName=WorldEnergyOutlookSpecialReport2016EnergyandAirPollution.pdf> (дата звернення: 17.05.2018).
3. Tackling the Global Clean Air Challenge. Geneva : WHO, 2011. URL: [https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2011/air\\_pollution\\_20110926/en/](https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2011/air_pollution_20110926/en/) (дата звернення: 01.02.2020).
4. Jaganmohan M. Mortality rate worldwide in 2012, by energy source: Statista, 2021. URL: <https://www.statista.com/statistics/494425/death-rate-worldwide-by-energy-source/> (дата звернення: 21.01.2020).
5. Буштуева К.А. Санитарная охрана атмосферного воздуха при сжигании топлива // Руководство по гигиене атмосферного воздуха. М. : Медицина, 1976. С. 128-165.
6. Бабий В.Ф. Гигиеническое обоснование мероприятий по охране атмосферного воздуха от загрязнения бенз/а/пиреном и окислами азота в районах размещения современных тепловых электростанций: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 1987. 22 с.
7. Черниченко І.О., Литвиченко О.М., Бабій В.Ф., Соверткова Л.С. Теплові електростанції як джерело забруднення атмосферного повітря бенз/а/піреном // Гігієна населених місць: зб. наук. праць. Київ, 2015. Вип. 66. С. 70– 75.
8. Ревич Б.А. К оценке влияния деятельности тэк на качество окружающей среды и здоровье населения // Проблемы прогнозирования. 2010. № 4. С. 87-99.
9. Жданов В.В. Оценка воздействия Луганской ТЭС на состояние воздушного бассейна и заболеваемость населения // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2006. Т.10, № 1. С. 13-17.

10. Жданов В.В., Куляс В.М., Ермаченко А.Б., Трунова О.А. Анализ состояния местного иммунитета детского населения, проживающего в условиях загрязнения предприятиями теплоэнергетики // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2007. Т.11, № 2. С. 168-171.
11. Черниченко І.О., Литвиченко О.М. Особливості прояву впливу бенз/а/пірену на онкозахворюваність органів дихання населення // Довкілля та здоров'я. 2009. №4. С. 22 – 25.
12. Черниченко І. О., Литвиченко О. М., Соверткова Л. С., Цимбалюк С. М. Оцінка канцерогенного ризику для населення промислових міст України // Довкілля та здоров'я. 2017. № 2. С. 17-22.
13. Penney S., Bell J., Balbus J. Estimating the Health Impacts of Coal-Fired Power Plants. Environmental Defense Fund, 2009. URL: [https://www.edf.org/sites/default/files/9553\\_coal-plants-health-impacts.pdf](https://www.edf.org/sites/default/files/9553_coal-plants-health-impacts.pdf) (дата звернення: 21.12.2016).
14. Holland M. Health impacts of coal fired power plants in South Africa: Report. 2017. URL: <https://cer.org.za/wp-content/uploads/2017/04/Annexure-Health-impacts-of-coal-fired-generation-in-South-Africa-310317.pdf> (дата звернення : 09.05.2019).
15. Lin C.K., Lin R.-T., Chen T. et al. A global perspective on coal-fired power plants and burden of lung cancer // Environmental Health. 2019. Vol. 18(1). P. 9.
16. Pope C.A., Dockery D.W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect // J. Air Waste Manag. Assoc. 2006. Vol. 56. P. 709-742.
17. Pope C.A., Burnett R.T., Thun M.J. et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution // J. Am. Med. Assoc. 2002. Vol. 287 (9). P. 1132-1141.
18. Pope C.A., Ezzati M., Dockery D.W. Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States // N. Engl. J. Med. 2009. Vol. 360 (4). P.376-386.
19. Pope C.A., Turner M.C., Burnett R.T. et al. Relationships between fine particulate air pollution, cardiometabolic disorders, and cardiovascular mortality // Circ. Res. 2015. Vol. 116 (1) P.108-115.

20. Pope C.A., Ezzati M., Cannon J.B. et al. Mortality risk and PM 2.5 air pollution in the USA: an analysis of a national prospective cohort *Air Quality // Atmosphere & Health*. 2018. Vol.11 (3). P. 245-252.

21. Проданчук М.Г., Власик Л.І, Колодніцька Т.Л., Михальчук Б.В. Вплив ультрадисперсних частинок атмосферного повітря на здоров'я населення // *Гігієнічна наука та практика: сучасні реалії : матеріали XV з'їзду гігієністів України*. Львів, 2012. С. 248-250.

22. Власик Л. І., Власик Л. Й. Шляхи реалізації в Україні ініціатив ВООЗ щодо профілактики неінфекційних захворювань, обумовлених забрудненням повітря // *Актуальні проблеми транспортної медицини: навколишнє середовище; професійне здоров'я; патологія*. 2017. № 1. С. 44-51.

23. Турос О.І., Петросян А.А., Картавцев О.М., Давиденко Г.М., Кобзаренко І.В. Оцінка токсичності викидів стаціонарних джерел забруднення атмосферного повітря в контексті аналізу ризику для здоров'я населення // *Гігієна населених місць: зб. наук. пр. Київ, 2010. Вип. 55. С. 35-42.*

24. Турос О.І., Петросян А.А., Давиденко Г.М., Близнюк В.В., Ананьєва О.В., Севальнєв А.І. Аналіз оцінки соціальних втрат здоров'я населення, обумовлених забрудненням атмосферного повітря (на прикладі викидів ЗЧ10) // *Гігієна населених місць : зб. наук. пр. Київ, 2012. Вип. 59. С. 52-57.*

25. Турос О.І., Петросян А. А., Давиденко Г. М. Оцінка соціальних втрат здоров'я населення, зумовлених промисловим забрудненням атмосферного повітря викидами зважених часток (ЗЧ10) // *Медичні перспективи*. 2017. Т. 22, № 1. С. 97-102.

26. Севальнєв А. І., Волкова Ю. В. Цільове планування заходів щодо зниження ризиків для здоров'я від впливу зважених твердих часток // *Вісник проблем біології і медицини*. 2017. Вип.4, том 3 (141). С. 87-91.

27. Петросян А.А. Аналіз ризику для здоров'я дитячого населення, яке проживає в зонах забруднення атмосферного повітря викидами сірки діоксиду // *Медичні перспективи*. 2015. Т. XX, №4. С. 91-97.



28. Давиденко Г.М. Гігієнічна оцінка небезпеки здоров'ю населення від забруднення атмосферного повітря зваженими частками пилу : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 14.02.01 – Гігієна та професійна патологія. Київ, 2017. 21с.
29. Ревич Б.А. Мелкодисперсные взвешенные частицы в атмосферном воздухе и их воздействие на здоровье жителей мегаполисов // ПЭММЭ. 2018. Том XXIX, № 3. С. 53-78.
30. Просвирякова И.А., Шевчук Л.М. Гигиеническая оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными твердыми частицами на здоровье населения // Медицина труда и экология человека. 2018. № 3. С. 28–32.
31. Europe's dark cloud. How coal-burning countries are making their neighbours sick / Health and Environment Alliance. 2016. 55 p.
32. Holland M. Cost-benefit Analysis of Final Policy Scenarios for the EU Clean Air Package. EMRC report. 2014. URL: <https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/TSAP%20CBA.pdf> (дата звернення: 09.05.2019).
33. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Розпорядження КМУ від 18.08.2017. № 605-р // Урядовий кур'єр. 2017. № 167.
34. Огляд енергетичного сектору України: інституції, управління та політичні засади / OECD. 2019. 75 с. URL: <https://www.oecd.org/eurasia/competitiveness-programme/eastern-partners/%D0%9E%D0%B3%D0%BB%D1%8F%D0%B4-%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D1%81%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%83-%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8-UKR.pdf>
35. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей / НЕК «Укренерго». 2019. URL: [https://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Materialy\\_zasidan/2020/berezen/13.03.2020/p12\\_13-03-20.pdf](https://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Materialy_zasidan/2020/berezen/13.03.2020/p12_13-03-20.pdf) (дата звернення: 24.01.2020).

36. Ukraine coal LCPs / Ministry of energy and coal production of Ukraine. 2018. URL: [http://cdr.eionet.europa.eu/Converters/run\\_conversion?file=ua/eu/lcp\\_ied/envxppjxw/lcp\\_ied\\_art72\\_1.xls&conv=tohtml&source=local](http://cdr.eionet.europa.eu/Converters/run_conversion?file=ua/eu/lcp_ied/envxppjxw/lcp_ied_art72_1.xls&conv=tohtml&source=local) (дата звернення: 20.01.2019).
37. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. URL : <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj> (дата звернення: 19.09.2017).
38. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj> (дата звернення: 19.09.2017).
39. The unpaid health bill. How coal power plants make us sick : A report from the Health and Environment Alliance, 2013. 45 p. URL: [https://www.env-health.org/IMG/pdf/heal\\_report\\_the\\_unpaid\\_health\\_bill\\_how\\_coal\\_power\\_plants\\_make\\_us\\_sick\\_final.pdf](https://www.env-health.org/IMG/pdf/heal_report_the_unpaid_health_bill_how_coal_power_plants_make_us_sick_final.pdf) (дата звернення: 20.09.2017).
40. Reddy B.S.K., Kumar K.R., Balakrishnaiah G. et al. Analysis of diurnal and seasonal behavior of surface ozone and its precursors (NO<sub>x</sub>) at a semi-arid rural site in Southern India // *Aerosol and Air Quality Research*. 2012. Vol.12. P.1081-1094.
41. Agudelo-Castaneda D.M., Teixeira E.C., Pereira F.N. Time-series analysis of surface ozone and nitrogen oxides concentrations in an urban area at Brazil // *Atmospheric Pollution Research*. 2014. Vol. 5 (3). P. 411-420.
42. Jerrett M., Burnett R.T., Pope C.A. et al. Long-term ozone exposure and mortality // *N. Engl. J. Med*. 2009. Vol. 360 (11). P.1085-1095.
43. Bell M.L., Zanobetti A., Dominici F. Who is more affected by ozone pollution? A systematic review and meta-analysis // *Am. J. Epidemiol*. 2014. Vol.180 (1). P.15-28. DOI:10.1093/AJE/kwu115.
44. Pascal M., Wagner V., Chatignoux E. et al. Ozone and short-term mortality in nine French cities: Influence of temperature and season // *Atmospheric Environment*. 2012. Vol. 62. P. 566-572.

45. Vicedo-Cabrera A.M., Sera F., Liu C., Armstrong B., Milojevic A. et al. Short term association between ozone and mortality: global two stage time series study in 406 locations in 20 countries // *BMJ*. 2020. 368. m108. DOI: 10.1136/bmj.m108.
46. Williams M.L., Atkinson R.W., Anderson H.R., Kelly F.J. Associations between daily mortality in London and combined oxidant capacity, ozone and nitrogen dioxide // *Air Qual. Atmosphere Health*. 2014. Vol. 7(4). P.407-414.
47. Indonesia's coal power emission norms. Lessons from India and China / Centre for Science and Environment. 2017. 83p. URL: <https://icel.or.id/wp-content/uploads/Policy-Paper.-ICEL-CSE-REEI-2017-Indonesias-Coal-Power-Emission-Norms-Lessons-from-India-China.pdf> (дата звернення: 11.04.2018).
48. World Energy Outlook 2019. Part of World Energy Outlook. Flagship report. 2019. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019/coal> (дата звернення: 22.01.2020).
49. Analysis: Decline in China's coal consumption accelerates. Carbon Brief. 2016. URL: <https://www.carbonbrief.org/analysis-decline-in-chinas-coal-consumption-accelerates> (дата звернення: 21.01.2019).
50. Infographics: The world's coal power plants. Carbon Brief. 2020. URL: <https://www.carbonbrief.org/mapped-worlds-coal-power-plants> (дата звернення: 21.01.2020).
51. Powering past coal alliance: Declaration. 2015. URL: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/660041/powering-past-coal-alliance.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/660041/powering-past-coal-alliance.pdf) (дата звернення: 22.01.2020).
52. A Global Alliance to Phase Out Coal Forms at COP23 // Natural Resources Defense Council. 2017. URL: <https://www.nrdc.org/experts/han-chen/global-alliance-phase-out-coal-forms-cop23> (дата звернення: 15.05.2018).
53. Jones D., Moore C. Renewables beat fossil fuels // A half-yearly analysis of Europe's electricity transition, 2020. 9p. URL: <https://ember-climate.org/project/renewables-beat-fossil-fuels/> (дата звернення: 23.07.2020).

54. Wettengel J. Spelling out the coal exit – Germany’s phase-out plan / Clean Energy Wire. 2020. URL: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/spelling-out-coal-phase-out-germanys-exit-law-draft> (дата звернення: 05.07.2020).
55. Rinscheid A., Wüstenhagen R. Germany’s decision to phase out coal by 2038 lags behind citizens’ timing preferences // Nature Energy. 2019.Vol. 4(10). P. 856-863.
56. The Energy Policy of Poland until 2040 (EPP2040): Extract from the draft of EPP2040 – 23.11.2018 / Ministry of Energy. Warsaw, 2018. 8 p.
57. Nace T., Plante L., Browning J. The New Gas Boom. Tracking the global coal plant pipeline. Global Energy Monitor Report, 2019. URL: <https://globalenergymonitor.org/wp-content/uploads/2019/06/NewGasBoomEmbargo.pdf> (дата звернення: 11.01.2020).
58. Shearer C., Myllyvirta L., Yu A. et al. Boom and Bust 2020: Tracking the Global Coal Plant Pipeline: Report Global Energy Monitor, Sierra Club, Greenpeace, Crea, 2020. URL: [https://endcoal.org/wp-content/uploads/2020/03/BoomAndBust\\_2020\\_English.pdf](https://endcoal.org/wp-content/uploads/2020/03/BoomAndBust_2020_English.pdf) (дата звернення: 23.01.2020).
59. Угода про Асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами – членами, з іншої сторони від 26.09.2014 р. // Офіційний вісник України. 2014. № 75. Ст. 2125. 83 с.
60. Цілі сталого розвитку. Україна : Національна доповідь 2017. URL: <http://www.un.org.ua/ua/tsili-rozvytku-tysiacholittia/tsili-staloho-rozvytku>
61. Звіт Міністерства екології та природних ресурсів щодо виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони за III квартал 2018 року. URL: <https://menr.gov.ua/news/32821.html> .
62. Якість атмосферного повітря : короткий опис Директив ЄС та графіку їх впровадження : Проект технічної допомоги ЄС «Додаткова підтримка

Міністерства екології та природних ресурсів України у впровадженні секторальної бюджетної підтримки». Київ, 2015. 15 с.

63. Про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства: Протокол від 15.12.2010 р. №2787-VI // Офіційний вісник України. 2011. № 32. Ст.1369. С.153.

64. Про затвердження плану заходів щодо виконання зобов'язань в рамках Договору про заснування Енергетичного Співтовариства: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 03 серпня 2011 р. № 733 // Урядовий кур'єр. 2011 №157.

65. Про виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: Постанова Кабінету Міністрів України від 25 жовтня 2017 р. №1106 // Офіційний вісник України. 2018. № 24. Ст.852. С.27.

66. Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. №796-р // Урядовий кур'єр. 2017. №226.

67. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері промислового забруднення : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 22 травня 2019 р. № 402-Р. // Офіційний вісник України. 2019. № 49. Ст. 1677. С. 68.

68. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря : Постанова Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 827// Офіційний вісник України. 2019. №70. Ст. 2451. С.108

69. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28 лютого 2019 р. № 2697-VIII // Офіційний вісник України. 2019. № 28. Ст. 980. С.29.

70. Рамкова конвенція ООН про зміну клімату. Ратифіковано Законом № 435/96-ВР від 29.10.1996 р. ВВР, 1996, № 50, ст.277). URL : [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_044#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044#Text) (дата звернення: 25.01.2017).

71. Кіотський протокол до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату. №995\_801: ЗУ №1430-IV від 17 листопада 2006 року. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_801#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_801#Text) (дата звернення: 25.01.2017).

72. Конвенція про транскордонне забруднення повітря на великі відстані №995\_223: ЗУ №2707-XII від 16.10.1992р. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_223#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_223#Text) (дата звернення: 25.01.2017).

73. Віденська конвенція про охорону озонowego шару № 995-088 від 22.03.1985 р. // Офіційний вісник України. 2005. № 21. Ст. 1179. С. 240.

74. Монреальський протокол про речовини, що руйнують озоневий шар : ООН № 995\_215 від 16.09.1987 р. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/MU87002R> (дата звернення: 25.01.2017).

75. Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі : закон України від 18.04.2007 р. №949-V // Відомості Верховної Ради України. 2007. № 30. Ст. 396. С. 1016.

76. Актуалізація та доповнення Додатків ХХХ та ХХХІ. Угода про Асоціацію між Україною та ЄС (Довкілля та зміна клімату) / Ресурсно-аналітичний центр «Суспільство і довкілля». Львів, 2019. 17 с.

77. Про Загальнодержавну програму адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу : Закон України від 18 березня 2004 р. № 1629-IV. // Відомості Верховної Ради України. 2004. № 29. Ст. 367.

78. Меморандум між Україною та Європейським Союзом про порозуміння щодо співробітництва в енергетичній галузі: Меморандум від 01.12.2005 р. №994\_694 // Офіційний вісник України. 2006. №13.Ст.945. С.453.

79. Меморандум про взаєморозуміння щодо Стратегічного Енергетичного Партнерства між Україною та Європейським Союзом спільно з Європейським Співтовариством з атомної енергії: Меморандум від 24.11.2016 р. №984\_003-16 // Офіційний вісник України. 2017. №80. Ст. 2494. С.603.

80. Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства: Закон України №2787-17 // Офіційний вісник України. 2011. №1. Ст. 1. С.13.

81. Договір про заснування Енергетичного Співтовариства: Договір від 25.10.2005р. №994\_926. // Офіційний вісник України. 2011. №32. Ст. 1368.

82. Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants // Official Journal. L 2001. Vol. 309. P.21.

83. Про затвердження Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт: Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 22.10.2008 р. № 541 // Офіційний вісник України. 2008. №89. Ст.2995. С.66.

84. Черноусенко О.Ю. Стан енергетики України та результати модернізації енергоблоків ТЕС // Проблеми загальної енергетики : науковий збірник. 2014. Вип. № 4. С. 20–28.

85. Про схвалення розроблених Міністерством екології та природних ресурсів планів імплементації деяких актів законодавства ЄС : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.04.2015 р. № 371-Р // Офіційний вісник України. 2015. №31. Ст. 907. С.30.

86. Огляд реалізації основних положень Кіотського протоколу до Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату та зобов'язання країн-членів ОЕСР і Євросоюзу щодо виконання рекомендацій Паризької Конференції / Міненерговугілля України ДП «НЕК «Укренерго». Київ, 2017. 107 с.

87. Омельченко В.Ю., Білявський М.Л. Нацплан скорочення викидів: поточний стан та проблеми реалізації у розрізі міжнародного досвіду. 2018. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/natsplan-skorochennia-vykydiv-potochnyi-stand-ta-problemy-realizatsii-u-rozrizi-mizhnarodnogo-dosvidu> (дата звернення: 14.11.2019).

88. Про Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 Р. № 796-Р // Урядовий кур'єр. 2017. №226.

89. Про затвердження плану заходів на 2018 рік щодо впровадження Національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 13 червня 2018 р. № 428-Р // Урядовий кур'єр. 2018. №117.

90. Про внесення змін у додатки 1-4 до Національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24 липня 2019 р. № 597-Р // Урядовий кур'єр. 2019. №149.

91. Про запобігання, зменшення та контроль промислового забруднення : Проект Закону № 3117 від 24.02.2020 р. URL: [http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4\\_1?pf3511=68219](http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=68219) (дата звернення: 24.03.2020).

92. Вербицкая И. Состояние объектов теплоэнергетики и перспективы их экологической модернизации в контексте выполнения. // Соглашения об ассоциации Украина-ЕС. URL: [http://www.sbs-envir.org/images/documents/seminar\\_25.11.2015/Verbitska.pdf](http://www.sbs-envir.org/images/documents/seminar_25.11.2015/Verbitska.pdf) (дата звернення: 22.11.2017).

93. Córdoba P. Emissions of Inorganic Trace Pollutants from Coal Power Generation. 2018. P.18. DOI: 10.5772/intechopen.79918

94. Богачева Т.М., Юшинов В.А. Экологическая безопасность угольных ТЭС // Экология и промышленность России. 2015. Т.19, №7. С.40-43.

95. Global Energy & CO2 Status Report 2018 / International Energy Agency, 2019. URL: [https://webstore.iea.org/download/direct/2461?filename=global\\_energy\\_and\\_co2\\_status\\_report\\_2018.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2461?filename=global_energy_and_co2_status_report_2018.pdf) (дата звернення: 14.11.2019).

96. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP : technical report. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2013. 302 p.

97. Ambient air pollution: Health impacts. URL : <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/ru/>

98. US EPA. Study of Hazardous Air Pollutant Emissions from Electric Utility Steam Generating Units - Final Report to Congress. 1998: EPA-453/R-98-004a.

99. Clancy L., Goodman P., Sinclair H., Dockery D.W. Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study // Lancet. 2002. Vol. 360 (9341). P.1210–1214.



100. Brock C.A., Washenfelder R.A., Trainer M., Ryerson T.B. et al. Particle growth in the plumes of coal-fired power plants // *J. Geophys. Res.* 2002. P.107. doi: 10.1029/2001JD001062.
101. Ostro B., Tobias A., Querol X., Alastuey A. et al. The effects of particulate matter sources on daily mortality: a case-crossover study of Barcelona, Spain // *Environ Health Perspect.* 2011. Vol. 119(12). P.1781-1787.
102. Sarnat J.A., Marmur A., Klein M., Kim E. et al. Fine particle sources and cardiorespiratory morbidity: An application of chemical mass balance and factor analytical source-apportionment methods // *Environ. Health Perspect.* 2008. Vol.116. P. 459–466. doi: 10.1289/ehp.10873.
103. Air quality guidelines — global update 2005 / WHO Regional Office for Europe. Copenhagen, 2006. 484 p.
104. Parker 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2006. 20 p.
105. BéruBé K., Balharry D., Sexton K., Koshy L., Jones T. Review Combustion-derived nanoparticles: mechanisms of pulmonary toxicity // *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 2007. Vol. 34(10). P.1044-1050.
106. Possamai F.P., Júnior S.Á., Parisotto E.B. et al. Antioxidant intervention compensates oxidative stress in blood of subjects exposed to emissions from a coal electric-power plant in South Brazil // *Environ Toxicol Pharmacol.* 2010. Vol. 30(2). P.175-180.
107. Wong R.H., Kuo C.Y., Hsu M.L. et al. Increased levels of 8-hydroxy-2 - deoxyguanosine attributable to carcinogenic metal exposure among schoolchildren // *Environ Health Perspect.* 2005. Vol.113(10). P.1386-1390.
108. Mangia C., Cervino M., Gianicolo E. Secondary. Particulate Matter Originating from an Industrial Source and Its Impact on Population Health // *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2015. Vol. 12(7). P. 7667–7681.

109. Gruzieva O., Bergström A., Hulchiy O. et al. Exposure to air pollution from traffic and childhood asthma until 12 years of age // *Epidemiology*. 2013. Vol. 24. P. 54–61.
110. Emilie B., Rachel N., Bénédicte J. Susceptibility Factors Relevant for the Association between Long-Term Air Pollution Exposure and Incident Asthma // *Curr Envir Health Rpt*. 2016. Vol. 3. P. 23–39.
111. Yang I.A., Fong K.M., Zimmerman P.V., Holgate S.T., Holloway J.W. Genetic susceptibility to the respiratory effects of air pollution // *Thorax*. 2008. Vol. 63(6). P. 555–563.
112. Paulin L., Hansel N. Particulate air pollution and impaired lung function // *F1000Research*. 2016. № 5. DOI: 10.12688 / f1000research.7108.1. eCollection 2016.
113. Chen C.H., Chan C.C., Chen B.Y. et al. Effects of particulate air pollution and ozone on lung function in non-asthmatic children // *Environmental Res*. 2015. Vol.137. P. 40–48.
114. Zhao Y., Yiju Zhao, Shengyong Wang, Lingling Lang et al. Ambient fine and coarse particulate matter pollution and respiratory morbidity in Dongguan, China // *Environmental Pollution*. 2017. Vol. 222.P. 126–131.
115. Rodinkova V. Pollen calendar in Vinnitsa (Ukraine), 1999-2000 years study // *Allergy as a Global Problem : abstract book of the XXII Congress of European Academy of Allergology and Clinical Immunology*. Paris, 2003. P. 395–396.
116. Bateson T.F., Schwartz J. Children's response to air pollutants // *Toxicol Environ Health*. Part A. 2008. Vol. 71(3). P. 238–243.
117. Gauderman W.J., Avol E., Gilliland F. et al. The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age // *N Engl J Med*. 2004. Vol. 351(11). P. 1057–1067.
118. *Aging and Toxic Response: Issues Relevant to Risk Assessment (Final)* / U.S. Environmental Protection Agency. Washington, 2006.
119. Fung K.Y., Luginaah I., Gorey K.M., Webster G. Air pollution and daily hospitalization rates for cardiovascular and respiratory diseases in London, Ontario // *Int J Environ Stud*. 2005. Vol. 62. P. 677–685.

120. Peel J.L., Tolbert P.E., Klein M. et al. Ambient air pollution and respiratory emergency department visits // *Epidemiol.* 2005. Vol. 16(2). P.164–174.
121. Ritz B., Wilhelm M., Zhao Y. Air pollution and infant death in southern California, 1989-2000 // *Pediatrics.* 2006. Vol.118(2). P. 493–502.
122. Valko M., Leibfritz D., Moncol J., Cronin M.T.D., Mazur M., Telser J. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease // *Int J Biochem and Cell Biology.* 2007. Vol. 39. P. 44–84.
123. Dominici F., Peng R.D., Bell M.L. et al. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases // *JAMA.* 2006. Vol. 295(10). P. 1127–1134.
124. Beeson W.L., Abbey D.E., Knutsen S.F. Long-term concentrations of ambient air pollutants and incident lung cancer in California adults: results from the adventist Health study on smog // *Environ Health Perspect.* 1998. Vol. 106(12). P. 813–823.
125. Dockery D.W., Pope C.A. III, Xu X. et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities // *N Engl J Med.* 1993. Vol. 329(24). P. 1753–1759.
126. Lockwood Alan H., Welker-Hood K., Rauch M. Coal's assault on human health. A report from physicians for social responsibility. Washington, 2009. 64 p.
127. Tanwar V., Katapadi A., Adelstein J.M. Cardiac pathophysiology in response to environmental stress: a current review // *Current Opinion in Physiology.* 2018. Vol.1. P. 198–205.
128. Lawal A.O. Air particulate matter induced oxidative stress and inflammation in cardiovascular disease and atherosclerosis: The role of Nrf2 and AhR-mediated pathways // *Toxicol Lett.* 2017. Vol. 270. P. 88–95.
129. Tabor C.M., Shaw C.A., Robertson S., Miller M.R., Duffin R. et al. Platelet activation independent of pulmonary inflammation contributes to diesel exhaust particulate-induced promotion of arterial thrombosis // *Part Fibre Toxicol.* 2016. Vol. 13(1). DOI:10.1186/s12989-016-0116-x

130. Peters A., Dockery D.W., Muller J.E., Mittleman M.A. Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction // *Circulation*. 2001. Vol. 103(23). P. 2810–2815.
131. Du Y., Xu X., Chu M., Guo Y., Wang J. Air particulate matter and cardiovascular disease: the epidemiological, biomedical and clinical evidence // *J Thorac Dis*. 2016. Vol. 8(1). E8–E19.
132. Argacha J.F., Collart P., Wauters A., Kayaert P., Lochy S. et al. Air pollution and ST-elevation myocardial infarction: A case-crossover study of the Belgian STEMI registry 2009–2013 // *Int J Cardiol*. 2016. Vol. 223. P. 300–305.
133. Künzli N., Jerrett M., Mack W.J. et al. Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles // *Environ Health Perspect*. 2005. Vol. 113(2). P. 201–206.
134. Delfino R.J., Staimer N., Tjoa T. et al. Circulating biomarkers of inflammation, antioxidant activity, and platelet activation are associated with primary combustion aerosols in subjects with coronary artery disease // *Environ Health Perspect*. 2008. Vol. 116(7). P. 898–906.
135. Liao D., Creason J., Shy C. et al. Daily variation of particulate air pollution and poor cardiac autonomic control in the elderly // *Environ Health Perspect*. 1999. Vol. 107(7). P. 521–525.
136. Pope C.A., Burnett R.T., Thurston G.D. et al. Cardiovascular mortality and long – term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease // *Circulation*. 2004. Vol. 109(1). P.71–77.
137. Pope C.A., Muhlestein J.B., May H.T. et al. Ischemic heart disease events triggered by short – term exposure to fine particulate air pollution // *Circulation*. 2006. Vol. 114(23). P. 2443–2448.
138. Katsouyanni K., Touloumi G., Samoli E. et al. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project // *Epidemiology*. 2001. Vol. 12(5). P. 521–531.

139. Wellenius G.A., Schwartz J., Mittleman M.A. Air pollution and hospital admissions for ischemic and hemorrhagic stroke among medicare beneficiaries // *Stroke*. 2005. Vol. 36(12). P. 2549–2553.
140. Hong Y.C., Lee J.T., Kim H. et al. Effects of air pollutants on stroke mortality // *Environ Health Perspect*. 2002. Vol. 110(2). P. 187–191.
141. Tsai S.S., Goggins W.B., Chiu H.F., Yang C.Y. Evidence for an association between air pollution and daily stroke admissions in Kaohsiung, Taiwan // *Stroke*. 2003. Vol. 34(11). P. 2612–2616.
142. Nolan C.J., Damm P., Prentki M. Type 2 diabetes across generations: from pathophysiology to prevention and management // *Lancet*. 2011. Vol. 378. P. 169–181.
143. Polonsky K.S. The past 200 years in diabetes // *New England Journal of Medicine*. 2012. Vol. 367. P. 1332–1340.
144. Wild S., Roglic G., Green A. et al. Global Prevalence of Diabetes: Estimates for the year 2000 and projections for 2030 // *Diabetes care*. 2004. Vol. 27(5). P.1047 – 1053.
145. Pearson J.F., Bachireddy C., Shyamprasad S. et al. Association between fine particulate matter and diabetes prevalence in the U.S. // *Diabetes Care*. 2010. Vol. 33. P. 2196 – 2201.
146. Andersen Z.J., Raaschou-Nielsen O., Ketznel M. et al. Diabetes incidence and long – term exposure to air pollution: a cohort study // *Diabetes Care*. 2012. Vol. 35(1). P. 92–98.
147. Chen H., Burnett R.T., Kwong J.C. et al. Risk of incident diabetes in relation to long – term exposure to fine particulate matter in Ontario, Canada // *Environ Health Perspect*. 2013. Vol. 121(7). P. 804–810.
148. Liu C., Bai Y., Xu X et al. Exaggerated effects of particulate matter air pollution in genetic type II diabetes mellitus // *Part Fibre Toxicol*. 2014. Vol. 11. P. 27 – 30.
149. Balti E.V., Echouffo-Tcheugui J.B., Yako Y.Y., Kengne A.P. Air pollution and risk of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta- analysis // *Diabetes Res Clin Pract*. 2014. Vol. 106. P 161 – 172.

150. Lopez M.T., Zuk M., Garibay V., Tzintzun G., Iniestra Fernandez A. Health impacts from power plant emissions in Mexico // *Atmospheric Environment*. 2005. Vol. 39. P. 1199–1209.

151. US EPA. Guidance for PM<sub>2.5</sub> Permit. Modeling EPA-454/B-14-001 / Office of Air Quality Planning and Standards, Air Quality Assessment Division; Research Triangle Park, NC, USA. 2014. P. 144.

152. Air quality in Europe – 2017 Report / European Environment Agency. 2017. 74 p.

153. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць: наказ МОЗ України від 14.01.2020 р. №52, зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 10.02.2020 р №156/34439 // *Офіційний вісник України*. 2020. № 15. Ст. 608. С. 20.

154. Про затвердження нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел: Наказ Мінприроди України від 27.06.2006 р. №309 // *Офіційний вісник України*. 2006. № 31. Ст. 2259. С. 236.

155. Маремуха, Т. П., Кобзаренко І.В. До питання необхідності оцінок впливу викидів забруднюючих речовин на здоров'я населення в атмосферне повітря при зміні паливного балансу в енергосистемах України // *Східноєвропейський журнал громадського здоров'я*. 2013. № 1. С.186-187.

156. Турос О.І., Петросян А.А., Ананьєва О.В., Маремуха Т.П. Оцінка ризику для здоров'я населення як інструмент управління якістю повітря // *Казантип Еко-2013 : сб. тр. XXI Международной научно-практ. конф. (3-7 июня 2013 г.)*. Том 2. Щелкино, АР Крым, 2013. С. 256-261.

157. Петросян А.А. Кобзаренко І.В., Маремуха Т.П. Перспективи впровадження національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок // *Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (одинадцяті марзєєвські читання)*. зб. тез доп. наук.-практ. конф. Київ, 2015. С. 41 – 42.

158. Про затвердження порядку розроблення та затвердження нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел: Постанова Кабінету Міністрів України від 28.12.2001 р. №1780 // Офіційний вісник України. 2002. № 1. Ст. 9. С. 84.

159. Турос О.І., Петросян А.А., Маремуха Т.П., Черненко Л.М. Використання оцінки ризику для здоров'я населення при розробці технологічних нормативів допустимих викидів / ДУ «Ін-т гігієни та мед. екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України»; Санітарно-епідеміологічна станція Державного управління справами. Київ, 2015. С. 3. (Укрмедпатентінформ МОЗ України / Інформаційний лист про нововведення № 334-2015).

160. Human health risk assessment. URL: <https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment> (дата звернення: 16.01.2020).

161. US EPA. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment); EPA/540/R/070/002; US Environmental Protection Agency // Office of Emergency and Remedial Response. Washington, DC, USA, 2009. 68 p.

162. Про затвердження методичних рекомендацій "Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря": Наказ МОЗ України від 13.04.2007 р. № 184. Київ, 2007. 28 с.

163. Петросян А.А. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря викидами різних видів промислових підприємств : автореф. дис. ... канд. біол. наук : спец. 14.02. 01 «Гігієна та професійна патологія». Київ, 2010. 22 с.

164. Турос О.І., Петросян А.А., Михіна Л.І., Маремуха Т.П. Проблеми якості повітря в Україні та оцінки його впливу на громадське здоров'я // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (дванадцяті марзєєвські читання) : зб. тез доп. наук.-практ. конф. Київ, 2016. С. 131-132.

165. Health risk assessment of air pollution. General principles. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2016. 29 p.

166. Spickett J., Brown H., Matisons M., Katscherian D. Health risk assessment in Western Australia. 2006. 19 p.

167. Frequently asked questions about integrating health impact assessment into environmental impact assessment // Human Impact Partners. 2014. 6 p. URL: [http://www.kohalacenter.org/archive/pdf/FAQs\\_HIAandEIA.pdf](http://www.kohalacenter.org/archive/pdf/FAQs_HIAandEIA.pdf)

168. Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level. Meeting report Bonn, Germany / World Health Organization. Bonn, 2014. 109 p.

169. Murray C.J.L., Lopez A.D. Measuring the global burden of disease // New England Journal of Medicine. 2013. Vol. 369. P. 448–457.

170. Pascal M., Corso M., Ung A., Declercq Ch., Medina S. Рекомендации для оценки воздействия на здоровье загрязнения воздуха в европейских городах : Рабочий пакет 5. Результат 5 / Aphekom. 2011. 45 с. URL: [http://aphekom.org/c/document\\_library/get\\_file?uuid=b221e90d-9124-4d0b-8640-01f55eeb4553&groupId=10347](http://aphekom.org/c/document_library/get_file?uuid=b221e90d-9124-4d0b-8640-01f55eeb4553&groupId=10347).

171. AirQ+: software tool for health risk assessment of air pollution / WHO Regional Office for Europe. URL: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/airq-software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution> (дата звернення: 24.10.2018).

172. Chanel O., Perez L., Künzli N, Medina S. The hidden economic burden of air pollution-related morbidity: evidence from the Aphekom project // The European Journal of Health Economics. 2016. Vol. 17(9). P. 1101 – 1115.

173. Bickel P., Reiner F., Droste-Franke B., Bachman T.M. Extern E. Externalities of Energy: Methodology 2005 update / European Communities. 2004. 270 p.

174. Rabl A., Spadaro J.V. Public health impact of air pollution and implications for the energy system // Annual Reviews of Energy and Environment. 2020. Vol. 25 (1). P. 601-627.

175. Environmental Benefits Mapping and Analysis Program Community Edition / BenMAP-CE. 2018. 471 p.



176. Dingenen R.V., Dentener F., Crippa M., Leitao J., Marmer E. et al. TM5-FASST: a global atmospheric source–receptor model for rapid impact analysis of emission changes on air quality and short-lived climate pollutants // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2018. Vol. 18. P. 16173–16211.

177. Van den Brenk I. The use of Health Impact Assessment tools in European Cities / Utrecht University. 2018. URL: [https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/the\\_use\\_of\\_health\\_impact\\_assessment\\_tools\\_in\\_european\\_cities.pdf](https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/the_use_of_health_impact_assessment_tools_in_european_cities.pdf) (дата звернення: 24.06.2019).

178. Scott I. Interpreting risks and ratios in therapy trials // *Australian Prescriber*. 2008. Vol. 31. P. 12–16.

179. An Overview of Methods for EPA’s National-Scale Air Toxics Assessment / US EPA, 2011. 220 p. URL: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/2005-nata-tmd.pdf> (дата звернення: 24.10.2018).

180. Fensterstock J.C., Goodman K., Duggan G.M., Baker W.S. The Development and Utilization of an Air Quality Index (presented at the 62nd Annual Meeting of the Air Pollution Control Administration). 1969. P. 69–73.

181. US EPA. Air Quality Index Reporting; Final Rule Federal Register // *Federal Register*. 1999. Vol. 64(149) P. 42530-42549.

182. Cheng W.L. , Chen U.S., Zhang J. et al. Comparison of the Revised Air Quality Index with the PSI and AQI indices // *Science of the Total Environment*. 2007. Vol. 382. P. 191–198.

183. Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI) / US EPA. 2012. P. 26.

184. Revised Air Quality Standards for Particle Pollution and Updates to the Air Quality Index (AQI). The National Ambient Air Quality Standards for Particle Pollution. URL: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-04/documents/2012\\_aqi\\_factsheet.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-04/documents/2012_aqi_factsheet.pdf) (дата звернення: 28.10.2018).

185. van den Elshout S., Léger K., Nussio F. Comparing Urban Air Quality across Borders. A Review of Existing Air Quality Indices and the Proposal of a Common Alternative. Rijnmond: DCMR Environmental Protection Agency, 2007. 35 p.

186. About the Air Quality Health Index / Government of Canada. URL: [https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-quality-health-index/about.html#What\\_is\\_AQHI](https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-quality-health-index/about.html#What_is_AQHI) (дата звернення: 24.10.2018).

187. Wong T.W., Tam W.W.S., Lau A.K.H., Ng S.K.W. et al. A Study of the Air Pollution Index Reporting System. Final Report / School of Public Health and Primary Care ; The Chinese University of Hong Kong. 2012. 51 p.

188. Air Quality Health Index / Government of the Hong Kong Special Administrative Region. 2014. URL: <https://www.gov.hk/en/residents/environment/air/aqhi.htm> (дата звернення: 24.10.2018).

189. Fanyu Gao. Evaluation of the Chinese New Air Quality Index (GB3095-2012) Based on Comparison with the US AQI System and the WHO AQGs. 2013. 40 p.

190. Air Quality Index. Ambient Air Quality // Australia State of the Environment. 2016. URL: <https://soe.environment.gov.au/theme/ambient-air-quality/topic/2016/air-quality-index> (дата звернення: 24.10.2018).

191. What is the Daily Air Quality Index? / UK Air Information Resource URL: <https://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daqi?view=more-info> (дата звернення: 24.10.2018).

192. AIRPARIS. URL: <https://www.airparif.asso.fr/en/stations/index> (дата звернення 24.10.2018).

193. Stieb D.M., Burnett R.T., Smith-Doiron M., Brion O., Shin H.H., Economou V. A new multipollutant, no-threshold air quality health index based on short-term associations observed in daily time-series analyses // Journal of Air and Waste Management Association. 2008. Vol. 58. P.435-450.

194. van den Elshout S., Leger K., van Paassen A., Heich H. Communicating air quality (Component 3) // A guidebook on communication with the public about air quality. 2007. P.80.

195. van den Elshout S., Léger K., Nussio F. Comparing urban air quality in Europe in realtime, a review of existing air quality indices and the proposal of a common alternative // *Environ. Int.* 2008. Vol. 34(5). P.720-726.

196. Services to develop an EU Air Quality Index. EU AQI Final report – Issue 1.1 / Ricardo Energy & Environment. 2016. P. 30. URL: [https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/Air%20quality%20index\\_final%20report.pdf](https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/Air%20quality%20index_final%20report.pdf).

197. European Air Quality Index: Current Air Quality Information at Your Finger Tips / European Environment Agency. 2017. URL : <https://www.eea.europa.eu/highlights/european-air-quality-index-current> (дата звернення: 14.11.2019).

198. Какарека С.В. Методические подходы к оценке суммарного загрязнения атмосферного воздуха // *Природопользование*. Минск, 2014. №25. С. 61 – 69.

199. Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities / U.S. Environmental Protection Agency. 2005. 890 p.

200. US EPA. Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part A); EPA/540/1-89/002; US Environmental Protection Agency, Office of Emergency and Remedial Response. Washington, 1989. 291 p.

201. US EPA. Human Health Risk Assessment. URL: <https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment> (дата звернення: 22.10.2019).

202. APMA-370 Ambient Carbon Monoxide Monitor, MCERT Certified / HORIBA Process and Environmental. URL: <https://www.horiba.com/uk/process-environmental/products/ambient/details/apma-370-ambient-carbon-monoxide-monitor-270/> (дата звернення: 22.12.2017).

203. APNA-370 Ambient NO<sub>x</sub> Monitor, MCERT Certified / HORIBA Process and Environment. URL: <https://www.horiba.com/uk/process-environmental/products/process/air-quality-monitoring/details/apna-370-ambient-nox-monitor-274> (дата звернення: 22.12.2017).

204. APSA-370 Ambient Sulfur Dioxide Monitor, MCERT Certified / HORIBA Process and Environment. URL: <https://www.horiba.com/uk/process->

environmental/products/ambient/details/apsa-370-ambient-sulfur-dioxide-monitor-272/ (дата звернення:22.12.2017).

205. APOA-370 Ambient Ozone Monitor, MERTS Certified / HORIBA Process and Environmental. URL: <https://www.horiba.com/uk/process-environmental/products/ambient/details/apoa-370-ambient-ozone-monitor-276/> (дата звернення: 22.12.2017).

206. Personal Dust Monitor Portable Fine Dust Monitoring Unit / IONER. URL: <https://ioner.eu/portfolio/personal-dust-monitor/> (дата звернення: 22.12.2017).

207. HAZ-DUST Model EPAM-5000 / Environmental Devices Corporation. URL: <https://environmentaldevices.com/pdfs/brochures/epam-5000.pdf> (дата звернення: 22.12.2017).

208. Антомонов М.Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных. Киев, 2006. 558 с.

209. Берланд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнений в атмосфере. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1985. 272 с.

210. Турос О.І., Петросян А.А., Картавцев О.М., Вознюк О.В., Михіна Л.І., Мельник Є.А. Патент № 33659 UA, МПК А61В 10/00. Спосіб визначення осереднених концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі / заявник і власник ДУ «ІГМЕ ім. О. М. Марзєєва АМНУ». №и 200800699; заявл. 21.01.2008 ; опубл. 10.07.2008, Бюл.№13.

211. Турос О.І., Петросян А.А., Слаутенко Є.Г., Моргульова В.В., Маремуха Т.П. Деклараційний патент на корисну модель (51) А61В 10/00. Спосіб визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі». Заявник і власник ДУ «ІГЗ ім. О. М. Марзєєва НАМНУ». № 131880 (11); заявл. 11.02.2019; Бюл. № 3.

212. Онищенко Г.Г., Новиков С. М., Рахманин Ю.А., Авалиани С.Л., Буштуева К.А. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / под. ред. Рахманина Ю.А., Онищенко Г.Г. Москва : НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. 408 с.

213. Dockery D.W., Pope C.A. Acute respiratory effects of particulate air pollution // Ann. Rev. Public Health. 1994. Vol.15. P. 107–132.

214. Просвирякова И.А., Шевчук Л.М. Гигиеническая оценка содержания твердых частиц Р<sub>m10</sub> и Р<sub>m2.5</sub> в атмосферном воздухе и риска для здоровья жителей в зоне влияния выбросов стационарных источников промышленных предприятий // Анализ риска здоровью. 2018. №2. С. 14–22.

215. Леонович Э.И., Скоробогатая И.В. Оценка риска для жизни и здоровья населения от воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе // Гигиенические показатели уровня загрязнения атмосферы: учебно-методическое пособие. Минск : БГМУ, 2019. 48 с.

216. Policy for Risk Characterization / Environmental Protection Agency. Washington, 1995. 41 p.

217. Mudu P., Gapp C., Dunbar M. AirQ+ Example of Calculations / WHO Regional Office for Europe, 2018. 31 p.

218. Krzyzanowski M. Methods for assessing the extent of exposure and effects of air pollution // Occup. Environ. Med. 1997. Vol. 54(3). P. 145–151.

219. Burnett R.T., Pope C.A., Ezzati M., Olives C., Lim S.S. et al. An Integrated Risk Function for Estimating the Global Burden of Disease Attributable to Ambient Fine Particulate Matter Exposure. Supplemental material // Environmental Health Perspectives. 2014. Vol. 122(4) P. 397 – 403.

220. Держстат України. Інформаційний банк даних «Статистика населення України». 2009-2021. URL : [http://database.ukrcensus.gov.ua/MULT/Dialog/statfile\\_c.asp](http://database.ukrcensus.gov.ua/MULT/Dialog/statfile_c.asp) (дата звернення: 23.01.2020).

221. Основні показники здоров'я та медичної допомоги дитячому населенню м. Києва в 2017 році / Міський науковий інформаційно-аналітичний центр медичної статистики. URL:<https://medstat.kiev.ua/dovidniki/> (дата звернення: 14.11.2019).

222. Дикун О.П. Показники здоров'я населення та використання ресурсів охорони здоров'я в Київській області за 2016-2017 роки. Київ. 2018 р. С.153.

223. Pascal M. Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: results of the Apekom project // Science of the Total Environment. 2013. Vol. 449. P. 390–400.

224. Cohen A.J., Anderson H.R., Ostro B., Pandey K.D., Krzyzanowski M. et al. The global burden of disease due to outdoor air pollution // J. Toxicol. Environ. Health A. 2005. Vol. 68. P. 1301–1307 .

225. Lelieveld J., Evans J.S., Fnais M., Giannadaki D., Pozzer A. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale // Nature. 2015. Vol. 525(7569). P. 367-71.

226. European Air Quality Index. Legend Explained / European Environment Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index> (дата звернення: 11.09.2019).

227. Екологічний паспорт Київської області / Київська обласна державна адміністрація. 2016. 175 с.

228. Екологічний паспорт Київської області / Київська обласна державна адміністрація. 2017. 194 с.

229. Маремуха Т.П., Петросян А.А. Загрязнение атмосферного воздуха фракциями мелкодисперсной пыли (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) в районе функционирования угольной ТЭС // Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр. Минск, 2016. № 26. С. 39-42.

230. КД 52.9.4.01-09 Охорона природи. Атмосфера. Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України / Державна гідрометеорологічна служба. Київ, 2010. 78 с.

231. Emissions of air pollutants from large combustion plants / European Environment Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/emissions-of-air-pollutants-from/assessment-1> (дата звернення: 11.09.2019).

232. Руководство по контролю загрязнения атмосферы: РД 52.04.186-89. 1991.

233. Про затвердження Інструкції про загальні вимоги до оформлення документів, у яких обґрунтовуються обсяги викидів, для отримання дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами для підприємств, установ, організацій та громадян-підприємців : Наказ

Мінприроди України від 09.03.2006 р. № 108 // Офіційний вісник України. 2006. №13. Ст. 916. 250 с.

234. Турос О.І., Петросян А.А., Маремуха Т.П., Моргульова В.В. Переваги використання оцінки ризику для здоров'я населення при обґрунтуванні розмірів санітарно-захисних зон для теплоенергетичних об'єктів // Довкілля та здоров'я. 2018. №3(88). С. 45-49.

235. Clapp L.J., Jenkin M.E. Analysis of the relationship between ambient levels of O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> and NO as a function of NO<sub>x</sub> in the UK // Atmospheric Environment. 2001. Vol. 35. P. 6391-6405.

236. Shareef M.M., Husain T., Alharbi B. Analysis of Relationship between O<sub>3</sub>, NO, and NO<sub>2</sub> in Riyadh, Saudi Arabia // Asian Journal of Atmospheric Environment. 2018. Vol.12 (1). P. 17-29.

237. Tuross O., Petrosian A., Kobzarenko I., Kharchenko K., Maremukha T., Ananyeva O., Measurement of ambient ozone (O<sub>3</sub>) levels correlation with the NO<sub>x</sub> levels and the development of the monitoring network for O<sub>3</sub> // ISES ISIAQ 2019. WE-PO-14.

238. Ulke A.G., Mazzeo N.A. Climatological aspects of the daytime mixing height in Buenos Aires city, Argentina // Atmospheric Environment. 1998. Vol. 32 (9). P. 1615-1622.

239. Hashim N.I.M., Noor N.M. Variations of Ground-level Ozone Concentration in Malaysia // MATEC Web of Conferences 97. 2017. P. 6.

240. Notario A., Bravo I., Adame J.A. et al. Analysis of NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> and oxidant (OX= O<sub>3</sub>+ NO<sub>2</sub>) levels measured in a metropolitan area in the southwest of Iberian Peninsula // Atmospheric Research. 2012. Vol.104-105. P. 217-226.

241. Побережная Т.М. Воздействие золоотвала Южно-Сахалинской ТЭЦ на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба // Вестник Сахалинского музея. 2002. № 9. С. 378–381.

242. Курсанов В.Ф., Шайхутдинова А.А. Комплексная оценка влияния золоотвала Кумертауской ТЭЦ на экосистемы // Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 7. С. 36-42.

243. Черенцова А.А. Оценка воздействия золоотвалов на окружающую среду: на примере Хабаровской ТЭЦ-3 : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Київ, 2013.
244. Manoli E., Voutsas D., Samara C. Chemical characterization and source identification/apportionment of fine and coarse air particles in Thessaloniki, Greece // *Atmospheric Environment*. 2002. Vol. 36(6). P. 949-961.
245. Meng X., Wu Y., Pan Z. et al. Seasonal Characteristics and Particle-size Distributions of Particulate Air Pollutants in Urumqi // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Vol. 16(3). P. 396.
246. Zhang X.X., Chen X., Wang Z.F. et al. Dust deposition and ambient PM10 concentration in Northwest China: spatial and temporal variability // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2017. Vol. 17 (3). P. 1699–1711.
247. Said Munir, Turki M. Habeebullah, Atef MF Mohammed, Essam A Morsy, Mohammad Rehan, Kawsar Ali Analyzing PM<sub>2.5</sub> and its association with PM10 and meteorology in the arid climate of Makkah, Saudi Arabia // *Aerosol and Air Quality Research*. 2017. Vol.17(2). P. 453-464.
248. Bray C., Battye W., Uttamang P., Pillai P., Aneja V. Characterization of Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) Relating to a Coal Power Plant in the Boroughs of Springdale and Cheswick, PA // *Atmosphere*. 2017. Vol. 8(10).
249. Cimorelli A.J., Perry S.G., Venkatram A., Weil J.C., Paine R.J., Wilson R.B. et al. AERMOD: Description of Model Formulation / EPA-454/R-03-004 September, 2004.
250. User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET). EPA-454/B-03-002. / U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. 2004. 252 p.
251. Meteorological Model Performance for Annual 2016 Simulation WRF v3.8 / U.S. Environmental Protection Agency. 2016. 114 p.
252. Proposed guidance for air dispersion modeling. RFP #SSB-034875 / Ontario Ministry of the Environment. Toronto, 2003. 98 p.



253. Електроенергія. ЄВРО реконструкція. URL: <http://tec4.kiev.ua/ee> (дата звернення: 01.02.2020).

254. Екологічний паспорт Дарницького району м. Києва. 2018. URL: [https://darn.kyivcity.gov.ua/files/2018/9/13/Pasport\\_ekologichniy\\_2018.pdf](https://darn.kyivcity.gov.ua/files/2018/9/13/Pasport_ekologichniy_2018.pdf) (дата звернення: 23.12.2019).

255. Турос О.І., Маремуха Т.П., Кобзаренко І.В., Петросян А.А., Михіна Л.І., Брезіцька Н.В., Давиденко Г.М., Харченко К.О. Забруднення атмосферного повітря зваженими частками пилу ( $ЗЧ_{10}$  и  $ЗЧ_{2,5}$ ) у Деснянському районі м. Києва // Гігієна населених місць: зб. наук. пр. Київ, 2017. Вип. 67. С. 31-37.

256. Турос О.І., Маремуха Т.П., Петросян А.А., Брезіцька Н.В. Дослідження забруднення атмосферного повітря зваженими частинками пилу ( $PM_{10}$  та  $PM_{2,5}$ ) у м. Києві // Довкілля та здоров'я. 2018. №4(89). С. 36-39.

257. Про теплозабезпечення об'єктів соціальної сфери: Розпорядження КМДА від 06.10.2017 року № 1235. URL: [https://old.kyivcity.gov.ua/done\\_img/f/%d0%a0%d0%9a%d0%9c%d0%94%d0%90-1235-06102017.PDF](https://old.kyivcity.gov.ua/done_img/f/%d0%a0%d0%9a%d0%9c%d0%94%d0%90-1235-06102017.PDF) (дата звернення: 16.05.2018).

258. Про початок опалювального періоду 2017/2018 року в м. Києві: Розпорядження КМДА від 12.10.2017р. № 1266. URL: [https://old.kyivcity.gov.ua/done\\_img/f/%d0%a0%d0%9a%d0%9c%d0%94%d0%90-1266-12102017.PDF](https://old.kyivcity.gov.ua/done_img/f/%d0%a0%d0%9a%d0%9c%d0%94%d0%90-1266-12102017.PDF) (дата звернення: 16.05.2018).

259. Про закінчення опалювального періоду 2017/2018 року в м. Києві: Розпорядження КМДА від 04.04.2018р. № 534. URL: <https://don.kyivcity.gov.ua/files/2018/4/5/534.pdf> (дата звернення: 29.11.2018).

260. Parker J.D., Kravets N., Vaidyanathan A. Particulate matter air pollution exposure and heart disease mortality risks by race and ethnicity in the United States: 1997 to 2009 National Health Interview Survey with mortality follow-up through 2011 // Circulation. 2018. Vol. 137(16). P.1688-1697.

261. Jo Y.S., Lim M.N., Han Y.-J., Kim W.J. Epidemiological study of  $PM_{2.5}$  and risk of COPD-related hospital visits in association with particle constituents in Chuncheon, Korea // Int. J. Chronic Obstr. Pulm. Dis. 2018. Vol.13. P. 299.

262. Guo C., Zhang Z., Lau A.K., Lin C.Q., Chuang Y.C., Chan J. et al. Effect of long-term exposure to fine particulate matter on lung function decline and risk of chronic obstructive pulmonary disease in Taiwan: a longitudinal, cohort study // *Lancet Planet. Health*, 2018. Vol. 2(3). P. e114-e125.

263. Tobías A., Rivas I., Reche C., Alastuey A., Rodríguez S., Fernández-Camacho R., Querol X. Short-term effects of ultrafine particles on daily mortality by primary vehicle exhaust versus secondary origin in three Spanish cities // *Environ. Int.* 2018. Vol.111. P. 144-151.

264. Downward G.S., van Nunen E.J.H.M., Kerckhoffs J., Vineis P., Brunekreef B. et al. Long-Term Exposure to Ultrafine Particles and Incidence of Cardiovascular and Cerebrovascular Disease in a Prospective Study of a Dutch Cohort // *Environmental Health Perspectives*. 2018. Vol.126(12).127007.

265. Blanco-Becerra L.C., Gafaro-Rojas A.I., Rojas-Roa N.Y. Influence of precipitation scavenging on the  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ratio at the Kennedy locality of Bogota, Colombia // *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. 2015. Vol. 76. P. 58–65.

266. Coskuner G., Jassim M.S., Munir S. Characterizing temporal variability of  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ratio and its relationship with meteorological parameters in Bahrain // *Environmental Forensics*. 2018. Vol. 19(4). P. 315-326.

267. Denby B., Gola G., de Leeuw F., de Smet P., Horálek J. Calculation of pseudo  $PM_{2.5}$  annual mean concentrations in Europe based on annual mean  $PM_{10}$  concentrations and other supplementary data. ETC/ACC Technical Paper 2010/9. URL: [https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/etcacc\\_tp\\_2010\\_9\\_pseudo\\_pm2-5\\_stations](https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/etcacc_tp_2010_9_pseudo_pm2-5_stations).

268.  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  in Scotland. Report for the Scottish Government ED57729. Ricardo Energy & Environment. 2006. URL: [http://www.scottishairquality.scot/assets/documents/technical%20reports/pm2.5-pm10ratio\\_29Mar2016-FINAL\\_Version\\_Approved.pdf](http://www.scottishairquality.scot/assets/documents/technical%20reports/pm2.5-pm10ratio_29Mar2016-FINAL_Version_Approved.pdf) (дата звернення: 23.12.2017).

269. de Leeuw F., Horálek J. Assessment of the health impacts of exposure to PM<sub>2.5</sub> at a European level. ETC/ACC Technical Paper 2009/1. Bilthoven, The Netherlands, 2009. 21 p.

270. Simulating PM<sub>2.5</sub> Air Quality when only PM<sub>10</sub> is available: case study for South Korea. URL: <https://aqicn.org/experiments/south-korea-pm25-air-quality/> (дата звернення: 23.12.2017).

271. Bisht D.S., Srivastava A.K., Pipal A.S. et al. Aerosol characteristics at a rural station in southern peninsular India during CAIPEEX-IGOC: physical and chemical properties // *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. Vol. 22(7). P. 5293.

272. Shen G.F., Yuan S.Y., Xie Y.N., Xia S.J., Li L., Yao Y.K. et al. Ambient levels and temporal variations of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> at a residential site in the mega-city, Nanjing, in the western Yangtze River Delta, China // *Journal of Environmental Science and Health. A Toxic Hazardous Substances & Environmental Engineering*. 2014. Vol. 49(2). P. 171–178.

273. Dimitriou K., Kassomenos P. Decomposing the profile of PM in two low polluted German cities - Mapping of air mass residence time, focusing on potential long range transport impacts // *Environmental Pollution*. 2014. Vol. 190. P. 91–100.

274. Haiyan Li, Fengkui Duan, Kebin He et al. Size-Dependent Characterization of Atmospheric Particles during Winter in Beijing // *Atmosphere*. 2016. Vol. 7(3). P. 36.

275. Liu H.M., Zhulu Lin, Liming Liu, Jialing Qi. The spatial-temporal characteristics and influencing factors of air pollution in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration // *Acta Geogr. Sin.* 2018. Vol. 73. P. 177–191.

276. Huang T., Chen J., Zhao W., Cheng J., Cheng, S. Seasonal variations and correlation analysis of water-soluble inorganic ions in PM<sub>2.5</sub> in Wuhan // *Atmosphere*. 2016. Vol.7. P. 49–60.

277. Guiqin Zhang, Chun Ding, Xiaojing Jiang et al. Chemical Compositions and Sources Contribution of Atmospheric Particles at a Typical Steel Industrial Urban Site // *Scientific Reports*. 2020. Vol.10(1). P. 7654.

278. Munir S. Analyzing Temporal Trends in the Ratios of  $PM_{2.5}/PM_{10}$  in the UK // *Aerosol and Air Quality Research*. 2017. Vol. 17. P. 34 – 48.

279. Gang Xu, Limin Jiao, Boen Zhang et al. Spatial and Temporal Variability of the  $PM_{2.5}/PM_{10}$  Ratio in Wuhan, Central China // *Aerosol and Air Quality Research*. 2017. Vol. 17. P. 741 – 751.

280. Speranza A., Caggiano R., Margiotta S. et al. A clustering approach based on triangular diagram to study the seasonal variability of simultaneous measurements of  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  and  $PM_1$  mass concentration ratios // *Arabian J. Geosci.* 2016. Vol. 9. P. 132.

281. Rombout P.J. A., Liou P.J., Goldstein B.D. Rationale for an eight-hour ozone standard // *J. Air Pollut Control Assoc.* 1986. Vol. 36(8). P. 913-917.

282. Bates D.V. Ambient ozone and mortality // *Epidemiology*. 2005. Vol. 16 (4). P. 427–429.

283. Gryparis A., Forsberg B., Katsouyanni K., Analitis A., Touloumi G. et al. Acute Effects of Ozone on Mortality from the «Air Pollution and Health: A European Project Approach» // *Am. J. Respir. Crit. CareMed.* 2004. Vol. 170. P. 1080–1087.

284. US EPA. Criteria Air Pollutants. URL: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table> (дата звернення: 23.12.2017).

285. Ezzati M., Lopez A.D, Rodgers A., Murray Christopher J.L. Comparative quantification of health risks : global and regional burden of disease attributable to selected major factors // World Health Organization. 2004. P. 2234. URL:

286. OECD Environmental Outlook to 2050. The Consequences of Inaction : OECD, 2012. URL: <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49846090.pdf> (дата звернення: 23.12.2017).

287. Про затвердження Національного плану заходів щодо неінфекційних захворювань для досягнення глобальних цілей сталого розвитку (план НІЗ): розпорядження КМУ від 26.06.2018 р. №530-р // Урядовий кур'єр. 2018. № 144.

288. Lifting the smog. How much Tuzla's public health would benefit from enforcement of air quality legislation : CEE Bankwatch Network, HEAL, and the Center for Ecology and Energy, 2018. URL: <https://www.env-health.org/wp->

content/uploads/2019/06/Lifting-the-smog-ENG-June-24-2019.pdf (дата звернення: 23.11.2019).

289. Amoatey P., Sicard P., De Marco A., Khaniabadi Y.O. Long-term exposure to ambient PM<sub>2.5</sub> and impacts on health in Rome, Italy // *Clinical Epidemiology and Global Health*. 2020. Vol. 8(2). P. 531-535

290. Maji K.J., Dikshit A.K., Arora M., Deshpande A. Estimating premature mortality attributable to PM<sub>2.5</sub> exposure and benefit of air pollution control policies in China for 2020 // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 612. P. 683-693.

291. Faridi S. Long-term trends and health impact of PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub> in Tehran, Iran, 2006-2015 // *Environment International*. 2018. Vol.114. P. 37-49.

292. Save EcoBot. Save Dnipro. URL: <https://www.savednipro.org/bot/> (дата звернення: 07.01.2018).

293. Air quality in Kyiv. IQAir. URL: <https://www.iqair.com/ukraine/kyiv/kyiv-c> (дата звернення: 07.01.2018).

294. Air Visual. Save EcoBot. URL: <https://www.saveecobot.com/ru/platform/airvisual> (дата звернення: 07.01.2018).

295. Turos O., Maremukha T., Petrosian A., L. Mykhina, Morhulova V. Integral indicators as tools for air quality assessment // *Довкілля та здоров'я*. 2019. Vol.1(90). С. 51-55.

296. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів (ДСП № 173-96): наказ МОЗ України від 19.06.1996 №173.

297. Крижанівський Є.І., Кошлак Г.В. Екологічні проблеми енергетики // *Нафтогазова енергетика*. 2016. № 1(25) С. 80-90 .

298. Hidden Price Tags. How fossil fuels are bad for health and climate // *Heal Report*. 2017. URL: <https://www.euractiv.com/wp-content/uploads/sites/2/2017/07/HEAL-Report-Hiddenpricetags.pdf> (дата звернення: 07.01.2018).

299. Morhulova V., Petrosian A., Maremukha T. Improved methods of assessing the impact of air pollution on public health // *ISES ISIAQ 2019*. – SU-PO-18.

300. Турос О.І., Петросян А.А., Ананьєва О.В., Маремуха Т.П., Кобзаренко І.В. Використання оцінки ризику для здоров'я населення в системі управління якості повітря // Збірник законодавчих та нормативно-правових актів, які регулюють діяльність суб'єктів господарювання в частині запобігання несприятливого впливу на стан здоров'я і життя людини шкідливих факторів атмосферного повітря. Київ, 2014. С. 15-21.

301. Турос О.І., Маремуха Т.П., Петросян А.А., Моргульова В.В. Використання даних дистанційного зондування Землі високої роздільної здатності (космічні знімки) при вирішенні еколого-гігієнічних питань // Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки : Шоста Всеукраїнська конференція «GEO-UA». Київ, 2018. С. 66-68.

## ДОДАТКИ

## Додаток А

## Список публікацій здобувача за темою дисертації

**1) наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:****- у наукових фахових виданнях України:**

1. Турос О.І., Петросян А.А., Маремуха Т.П., Моргульова В.В. Переваги використання оцінки ризику для здоров'я населення при обґрунтуванні розмірів санітарно-захисних зон для теплоенергетичних об'єктів // Довкілля та здоров'я. 2018. №3(88). С. 45-49. *(збір і обробка матеріалу, участь в написанні та оформленні статті).*

2. Турос О.І., Маремуха Т.П., Петросян А.А., Брезіцька Н.В. Дослідження забруднення атмосферного повітря зваженими частинками пилу (PM<sub>10</sub> та PM<sub>2,5</sub>) у м. Києві // Довкілля та здоров'я. 2018. №4(89). С. 36-39. *(ідея робити, статистична обробка даних, участь у написанні та підготовці висновків).*

3. Turos O., Maremukha T., Petrosian A., L. Mykhina, Morhulova V. Integral indicators as tools for air quality assessment. Довкілля та здоров'я. 2019. №1(90). С. 51-55. *(ідея робити, аналіз наукової літератури, участь у написанні статті).*

**- у періодичних наукових виданнях інших держав:**

4. Маремуха Т.П., Петросян А.А. Загрязнение атмосферного воздуха фракциями мелкодисперсной пыли (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) в районе функционирования угольной ТЭС // Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр. Минск, 2016. Вып. 26. С. 39-42. *(ідея робити, статистична обробка даних, участь у написанні та підготовці висновків).*

**2) наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

5. Маремуха, Т. П., Кобзаренко І.В. До питання необхідності оцінок впливу викидів забруднюючих речовин на здоров'я населення в атмосферне повітря при зміні паливного балансу в Енергосистемах України // Східноєвропейський журнал громадського здоров'я : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2013 р. № 1. С.186-187.

6. Турос О.І., Петросян А.А., Ананьєва О.В., Маремуха Т.П. Оцінка ризику для здоров'я населення як інструмент управління якістю повітря // Казантип Еко-2013 : сб. тр. XXI Международной научно-практ. конф. (3-7 июня 2013 г.). Том 2. Щелкино, АР Крым, 2013. С. 256-261.

7. Петросян А.А. Кобзаренко І.В., Маремуха Т.П. Перспективи впровадження національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (одинадцяті марзеєвські читання). зб. тез доп. наук.-практ. конф. Київ, 2015. С. 41 – 43.

8. Турос О.І., Петросян А.А., Михіна Л.І., Маремуха Т.П. Проблеми якості повітря в Україні та оцінки його впливу на громадське здоров'я // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (дванадцяті марзеєвські читання) : зб. тез доп. наук.-практ. конф. Київ, 2016. С. 131-132.

9. Турос О.І., Маремуха Т.П., Петросян А.А., Моргульова В.В. Використання даних дистанційного зондування Землі високої роздільної здатності (космічні знімки) при вирішенні еколого-гігієнічних питань // Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки. Шоста Всеукраїнська конференція «GEO-UA». К., 2018. С. 66-67.

10. Morhulova V., Petrosian A., Maremukha T. Improved methods of assessing the impact of air pollution on public health // ISES, ISIAQ – 2019. SU-PO-18. P.19.

11. Turos O., Petrosian A., Kobzarenko I., Kharchenko K., Maremukha T., Ananyeva O. Measurement of ambient ozone (O<sub>3</sub>) levels, correlation with the NO<sub>x</sub> levels and the development of the monitoring network for O<sub>3</sub> // ISES, ISIAQ – 2019. SU-PO-14. P.41.



**3) наукові праці, що додатково відображають наукові результати дисертації:**

12. Турос О.І., Петросян А.А., Ананьєва О.В., Маремуха Т.П., Кобзаренко І.В. Використання оцінки ризику для здоров'я населення в системі управління якості повітря // Збірник законодавчих та нормативно-правових актів, які регулюють діяльність суб'єктів господарювання в частині запобігання несприятливого впливу на стан здоров'я і життя людини шкідливих факторів атмосферного повітря. Київ, 2014. С. 15-21.

13. Турос О.І., Маремуха Т.П., Кобзаренко І.В., Петросян А.А., Михіна Л.І., Брезіцька Н.В., Давиденко Г.М., Харченко К.О. Забруднення атмосферного повітря зваженими частками пилу (ЗЧ10 и ЗЧ2,5) у Деснянському районі м. Києва // Гігієна населених місць: зб. наук. пр. Вип. 67. К., 2017. С. 31-37 (*ідея роботи, статистична обробка даних, участь у написанні та підготовці висновків*).

14. Турос О.І., Петросян А.А., Маремуха Т.П., Черненко Л.М. Використання оцінки ризику для здоров'я населення при розробці технологічних нормативів допустимих викидів / ДУ «Ін-т гігієни та мед. екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України»; Санітарно-епідеміологічна станція Державного управління справами. К., 2015. 3 с. (Укрмедпатентінформ МОЗ України / Інформаційний лист про нововведення № 334-2015).

15. Турос О.І., Петросян А.А., Слаутенко Є.Г., Моргульова В.В., Маремуха Т.П. Деклараційний патент на корисну модель (51) А61В 10/00. Спосіб визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі». Заявник і власник ДУ «ІГЗ ім. О. М. Марзєєва НАМНУ». № 131880 (11); заявл. 11.02.2019; Бюл. № 3.

## Додаток Б

## Відомості про апробацію результатів дисертації:

Основні положення дисертаційної роботи було представлено на:

- XXI Міжнародній науково-практичній конференції «КАЗАНТИП-ЭКО-2013. Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- и ресурсосбережения» (Щолкіне, 2013) – публікація;
- Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій Всесвітньому дню здоров'я (Київ, 2013) – публікація;
- науково-практичній конференції «Актуальні питання громадського здоров'я та екологічної безпеки України (Марзєєвські читання)» (Київ, 2015) – публікація;
- науково-практичній конференції «Актуальні питання громадського здоров'я та екологічної безпеки України (Марзєєвські читання)» (Київ, 2016) – публікація;
- науково-практичній конференції «Актуальні питання громадського здоров'я та екологічної безпеки України (Марзєєвські читання)» (Київ, 2019) – доповідь;
- 6-й Всеукраїнській конференції «GEO-UA» (Київ, 2018), міжнародній конференції «The International Society of Exposure Science» (ISES) (Каунас, 2019) – публікація.

## Додаток В

## Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

## Додаток В 1

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової роботи та інновацій  
Національного медичного університету

імені О.О. Богомольця,

д. мед. н., професор

С.В. Земсков

20 20 р.



## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

1. *Назва пропозиції для впровадження:* Спосіб визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

2. *Установа – розробник, юридична адреса, ППП авторів розробки:* ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України»; лабораторія якості повітря. 02094, м. Київ, вул. Попудренка, 50; Турос О.І., Петросян А.А., Слаутенко Є.Г., Моргульова В.В., Маремуха Т.П.

3. *Пропозиція до впровадження:* методичні особливості визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі сельбищних територій з метою розробки рекомендацій щодо мінімізації ризиків для здоров'я населення.

4. *Джерело інформації (методичні рекомендації, інформаційний лист, монографії, з'їзди конференції, семінари та ін.):* Патент на корисну модель «Спосіб визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі» (№131880 (11) від 11.02.2019 р.) / Турос О.І., Петросян А.А., Слаутенко Є.Г., Моргульова В.В., Маремуха Т.П.

5. *Базова установа, що проводить впровадження:* кафедра гігієни та екології № 2 НМУ імені О.О. Богомольця.

6. *Термін впровадження:* 2019 - 2020 рр.

7. *Форма впровадження:* результати досліджень впроваджено у наукову та педагогічну діяльність під час викладання начальної дисципліни «Гігієна та екологія».

8. *Ефективність впровадження:* дало можливість розширити діапазон знань та розуміння у студентів щодо сучасних методичних підходів до визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі для оцінки медико-екологічних ризиків.

9. *Зауваження та рекомендації:* немає.

Відповідальний за впровадження  
Завідувач кафедри гігієни та екології № 4 НМУ  
імені О.О.Богомольця к.мед.н., доцент

Н.В. Велика

## Додаток В 2



**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ЕКОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР  
ПОВОДЖЕННЯ З НЕБЕЗПЕЧНИМИ ВІДХОДАМИ  
ТА ПРОМИСЛОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ»**

18002, м. Черкаси, вул. Святотроїцька, буд. 102/1 оф. 5, тел/факс:  
/0472/36-10-14, 56-97-89, 067-395-62-56, e-mail: [ncpmv21@ukr.net](mailto:ncpmv21@ukr.net)  
Код ЄДРПОУ 37715319  
р/р UA58 3510 0500 0002 6008 5371 5110 0 АТ «УКРСИББАНК»  
у м.Харків, МФО 351005

ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор  
ТОВ «ЕЦ ПНВ ПТ»  
В.А.Абраменко  
2020 р.

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

**1. Назва пропозиції для впровадження:** Спосіб визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

**2. Установа – розробник, юридична адреса, ПП авторів розробки:**

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України»; лабораторія якості повітря. 02094, Київ, вул. Попудренка, 50; Турос О.І, Петросян А.А., Слаутенко Є.Г., Моргульова В.В., Маремуха Т.П.

**3. Джерело інформації (методичні рекомендації, інформаційний лист, монографії, з'їзди конференції, семінари та ін.)** Патент на корисну модель «Спосіб визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі» (№ 131880 від 11.02.2019 р.).

**4. Базова установа, що проводить впровадження:** ТОВ «ЕЦ ПНВ ПТ»: 18002, м. Черкаси, вул. Святотроїцька, буд. 102/1 оф. 5.

**5. Термін впровадження:** 2019-2020 рр.

**6. Ефективність впровадження:** зазначена інформація дозволяє розширити знання щодо сучасних методичних підходів до визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

Відповідальний за впровадження:  
Директор



В.А.Абраменко

## Додаток В 3

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор

ДЗ «Дніпропетровська медична академія

Міністерства охорони здоров'я України»

д. мед. н., професор І.С. Шидьонька

«10» січня 2018 р.



## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

інформаційного листа «Використання оцінки ризику для здоров'я населення при розробці технологічних нормативів допустимих викидів» у навчальний процес кафедри загальної гігієни ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України»

1. *Назва пропозиції для впровадження:* інформаційний лист «Використання оцінки ризику для здоров'я населення при розробці технологічних нормативів допустимих викидів».
2. *Автори:* Турос О.І., Петросян А.А., Маремуха Т.П. ДУ «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України»; Черненко Л.М. Санітарно-епідеміологічна станція.
3. *Пропозиція до впровадження:* Методичні особливості гігієнічної оцінки забруднення атмосферного повітря викидами пересувних джерел; дані, щодо просторово-часових тенденцій та особливостей формування забруднення повітря, обумовленого викидами автомобілів у сельбищних зонах; алгоритм вирішення задач кількісної оцінки впливу та мінімізації ризиків для здоров'я населення міст від автотранспортного забруднення повітря.
4. *Актуальність дослідження:* Україна, яка є стороною ряду міжнародних угод прийняла на себе зобов'язання щодо здійснення заходів, які спрямовані на запобігання негативного для здоров'я населення та довкілля забруднення атмосферного повітря. Основною вимогою досягнення відповідних цілей щодо якості повітря з урахуванням існуючих критеріїв, рекомендацій та програм ЄС є розробка, встановлення та досягнення технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин промисловими підприємствами.
5. *Установа-розробник:* ДУ «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України», 02660, м. Київ, вул. Попудренка, 50; Санітарно-епідеміологічна станція, 04053, м. Київ, вул. Некрасівська, 10/8.
6. *Джерела інформації:*
  - Петросян А.А., Черненко Л.М. Аналіз міжнародних законодавчих документів, які регулюють якість атмосферного повітря / Медичні перспективи: Зб. наук. статей. 2016. Т. XXI. №1. С.130-134.
  - Петросян А.А. Використання оцінки ризику при управлінні якістю повітря та збереженні громадського здоров'я / Довкілля та здоров'я. К. 2016. Вип. 2 (78). С. 47-50
7. *Базова установа, що проводить впровадження:* кафедра загальної гігієни ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України».
8. *Термін впровадження:* 2016 - 2017 рр.
9. *Форма впровадження:* результати досліджень впроваджено у наукову та педагогічну діяльність під час викладання начальної дисципліни «Гігієна та екологія».
10. *Кількість студентів, що прослухали курс:* 450.
11. *Соціально-економічний ефект:* дозволяє довести до студентів новітню інформацію щодо використання оцінки ризику для здоров'я населення в системі регулювання якості повітря і тим самим навчити сучасним інструментам гармонізації нормативно-законодавчих документів до вимог європейського законодавства.

Завідуюча кафедрою загальної гігієни ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України», д.мед.н., професор

Е.М. Білецька

## Додаток В 4

## «ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. генерального директора  
ДУ «Запорізький обласний  
лабораторний центр МОЗ України»

Терехов Р.Л.

2020 р.

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

**1. Назва пропозиції для впровадження:** Спосіб визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

**2. Установа – розробник, юридична адреса, ПІП авторів розробки:**

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва НАМН України»; лабораторія якості повітря. 02094, Київ, вул. Попудренка, 50; Турос О.І., Петросян А.А., Слауценко Є.Г., Моргульова В.В., Маремуха Т.П.

**3. Джерело інформації (методичні рекомендації, інформаційний лист, монографії, з'їзди конференції, семінари та ін.):** Патент на корисну модель «Спосіб визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі» (№131880 (11) від 11.02.2019 р.) /Турос О.І., Петросян А.А., Слауценко Є.Г., Моргульова В.В., Маремуха Т.П.

**4. Базова установа, що проводить впровадження:** Державна установа «Запорізький обласний лабораторний центр МОЗ України», 69037, Запорізька область, м. Запоріжжя, вул. Рекордна, 27.


**5. Термін впровадження:** 2019-2020рр.

**6. Ефективність впровадження:** зазначена інформація використовується для пріоритетизації медико-екологічних заходів, спрямованих на покращення здоров'я населення; розширенню знань щодо сучасних методичних підходів до визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

**7. Зауваження та пропозиції:** відсутні

Відповідальний за впровадження:

Заступник генерального директора  
Із впровадження системи управління якістю  
ДУ «Запорізький обласний лабораторний  
центр МОЗ України»

 Гаврікова О.П.

## Додаток В 5

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ТОВАРИСТВА З  
ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ  
«ЦЕНТР ЕКОЛОГІЇ ТА РОЗВИТКУ  
НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ»



В.І. Антипов

«12» 02 2020 р.

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

**1. Назва пропозиції для впровадження:** Використання оцінки ризику для здоров'я населення при розробці технологічних нормативів допустимих викидів.

**2. Автори розробки, установа – розробник:** Турос О.І., Петросян А.А. Маремуха Т.П. – ДУ «Інститут гігієни та медичної ім. О.М. Марзєєва НАМН України»; Черненко Л.М. – санітарно-епідеміологічна станція Державного управління справами.

**3. Джерело інформації (методичні рекомендації, інформаційний лист, монографії, з'їзди конференції, семінари та ін.):** Інформаційний лист «Використання оцінки ризику для здоров'я населення при розробці технологічних нормативів допустимих викидів» (Укрмедпатентінформ, №334-2015) / Турос О.І., Петросян А.А., Маремуха Т.П., Черненко Л.М.

**4. Базова установа, що проводить впровадження:** ТОВ «ЦЕНТР ЕКОЛОГІЇ ТА РОЗВИТКУ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ»; 01032, Україна, м. Київ, вул. Льва Толстого, 33, офіс 75.

**5. Термін впровадження:** 2018-2019 рр.

**6. Ефективність впровадження:** використовується у практичній діяльності працівників підприємства під час розроблення звітів з інвентаризації джерел викидів забруднюючих речовин та документів, у яких обґрунтовуються обсяги викидів, для отримання дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами промислових об'єктів.

**7. Зауваження та пропозиції:** відсутні.

Відповідальний за впровадження:

Виконавчий директор



Гончаров Д.М.

## Додаток В 6

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор  
ПНВП «ЕКОЛОГІЯ»

Сідляр Т.М.

04 2020р.

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

**1. Назва пропозиції для впровадження:** Спосіб визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

**2. Установа – розробник, юридична адреса, ПІП авторів розробки:**

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєсва НАМН України»; лабораторія якості повітря. 02094, Київ, вул. Попудренка, 50; Турос О.І., Петросян А.А., Слаутенко Є.Г., Моргульова В.В., Маремуха Т.П.

**3. Джерело інформації (методичні рекомендації, інформаційний лист, монографії, з'їзди конференцій, семінари та ін.)** Патент на корисну модель «Спосіб визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі» (№131880 від 11.02.2019 р.).

**4. Базова установа, що проводить впровадження:** Приватне науково-виробниче підприємство «ЕКОЛОГІЯ» (80700, Львівська область, м. Золочів, вул. Р.Шухевича, 3).

**5. Термін впровадження:** 2019-2020 рр.

**6. Ефективність впровадження:** зазначена інформація дозволяє розширити знання щодо сучасних методичних підходів до визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

Відповідальний за впровадження: еколог Харій Н.П.

Директор ПНВП «ЕКОЛОГІЯ»

Сідляр Т.М.



## Додаток Д 1

Рівні забруднення ПША NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> у контрольних точках вимірювань, мг/м<sup>3</sup>

№ п/п	Шифр точки	Діапазон концентрацій, <u>min-max</u> M±m			
		NO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>	
		квітень-липень	жовтень-листопад	квітень-липень	жовтень-листопад
1	A	<u>0,0030-0,0250</u> 0,0100±0,0010	<u>0,0070-0,0150</u> 0,0110±0,0004	<u>0,051-0,083</u> 0,061±0,002	<u>0,094-0,142</u> 0,109±0,002
2	B	<u>0,0040-0,0220</u> 0,0090±0,0010	<u>0,0060-0,0130</u> 0,0090±0,0004	<u>0,052-0,066</u> 0,056±0,001	<u>0,197-0,339</u> 0,256±0,010
3	C	<u>0,0010-0,0040</u> 0,0020±0,0002	<u>0,0080-0,0510</u> 0,0240±0,0020	<u>0,057-0,089</u> 0,069±0,002	<u>0,086-0,124</u> 0,106±0,003
4	D	<u>0,0010-0,0040</u> 0,0020±0,0001	<u>0,0170-0,0380</u> 0,0250±0,0010	<u>0,069-0,106</u> 0,082±0,003	<u>0,077-0,112</u> 0,093±0,002
5	E	<u>0,0010-0,0040</u> 0,0020±0,0002	<u>0,0002-0,0030</u> 0,0020±0,0002	<u>0,074-0,126</u> 0,094±0,003	<u>0,073-0,103</u> 0,088±0,002
6	F	<u>0,0010-0,0050</u> 0,0030±0,0002	<u>0,0040-0,0060</u> 0,0050±0,0001	<u>0,051-0,074</u> 0,059±0,001	<u>0,090-0,150</u> 0,117±0,005
7	G	<u>0,0010-0,0040</u> 0,0030±0,0001	<u>0,0030-0,0060</u> 0,0050±0,0002	<u>0,051-0,069</u> 0,057±0,001	<u>0,094-0,279</u> 0,149±0,013
8	H	<u>0,0010-0,0510</u> 0,0130±0,0030	<u>0,0170-0,0260</u> 0,0210±0,0007	<u>0,143-0,277</u> 0,186±0,009	<u>0,080-0,109</u> 0,093±0,002
9	I	<u>0,0040-0,0130</u> 0,0080±0,0010	<u>0,0030-0,0260</u> 0,0080±0,0010	<u>0,077-0,152</u> 0,103±0,004	<u>0,092-0,143</u> 0,120±0,003
10	J	<u>0,0004-0,0140</u> 0,0030±0,0010	<u>0,0070-0,0120</u> 0,0090±0,0004	<u>0,077-0,126</u> 0,094±0,003	<u>0,114-0,206</u> 0,161±0,005
11	K	<u>0,0010-0,0050</u> 0,0030±0,0002	<u>0,0050-0,0080</u> 0,0060±0,0002	<u>0,060-0,126</u> 0,088±0,005	<u>0,114-0,167</u> 0,151±0,004
12	L	<u>0,0030-0,0100</u> 0,0060±0,0004	<u>0,0040-0,0060</u> 0,0050±0,0001	<u>0,034-0,054</u> 0,041±0,001	<u>0,100-0,146</u> 0,123±0,003
13	M	<u>0,0010-0,0050</u> 0,0030±0,0003	<u>0,0020-0,0040</u> 0,0030±0,0001	<u>0,007-0,056</u> 0,028±0,003	<u>0,064-0,097</u> 0,078±0,002
14	X	<u>0,0020-0,0050</u> 0,0030±0,0002	<u>0,0002-0,0020</u> 0,0010±0,0001	<u>0,012-0,120</u> 0,30±0,006	<u>0,054-0,097</u> 0,071±0,002
15	N	<u>0,0004-0,0040</u> 0,0020±0,0002	<u>0,0050-0,0120</u> 0,0070±0,0005	<u>0,066-0,103</u> 0,077±0,002	<u>0,032-0,086</u> 0,061±0,003
16	O	<u>0,0008-0,0050</u> 0,0030±0,0002	<u>0,0035-0,0070</u> 0,0050±0,0002	<u>0,012-0,056</u> 0,032±0,002	<u>0,056-0,107</u> 0,077±0,003
17	P	<u>0,0004-0,0050</u> 0,0020±0,0002	<u>0,0060-0,0180</u> 0,0100±0,0007	<u>0,058-0,083</u> 0,069±0,001	<u>0,084-0,148</u> 0,107±0,005
18	Q	<u>0,0016-0,0060</u> 0,0040±0,0003	<u>0,0190-0,0300</u> 0,0260±0,0006	<u>0,058-0,088</u> 0,067±0,001	<u>0,072-0,193</u> 0,149±0,007
19	R	<u>0,0002-0,0020</u> 0,0010±0,0001	<u>0,0060-0,0120</u> 0,0090±0,0004	<u>0,102-0,131</u> 0,113±0,002	<u>0,104-0,140</u> 0,121±0,002
20	S	<u>0,0004-0,0070</u> 0,0020±0,0004	<u>0,0180-0,0370</u> 0,0250±0,0010	<u>0,083-0,107</u> 0,092±0,002	<u>0,103-0,288</u> 0,185±0,013
21	Y	<u>0,0003-0,0100</u> 0,0030±0,0006	<u>0,0035-0,0100</u> 0,0060±0,0004	<u>0,077-0,106</u> 0,098±0,001	<u>0,124-0,284</u> 0,205±0,012
22	T	<u>0,0002-0,0040</u> 0,0020±0,0002	<u>0,0030-0,0060</u> 0,0040±0,0020	<u>0,034-0,054</u> 0,044±0,001	<u>0,105-0,181</u> 0,137±0,006
23	U	<u>0,0050-0,0140</u> 0,0080±0,0004	<u>0,0040-0,0090</u> 0,0060±0,0003	<u>0,017-0,043</u> 0,031±0,002	<u>0,046-0,106</u> 0,073±0,004
24	V	<u>0,0100-0,0150</u> 0,0120±0,0003	<u>0,0190-0,0500</u> 0,0340±0,0020	<u>0,042-0,093</u> 0,020±0,002	<u>0,070-0,129</u> 0,092±0,004
25	W	<u>0,0004-0,0050</u> 0,0030±0,0003	<u>0,0050-0,0100</u> 0,0070±0,0003	<u>0,003-0,004</u> 0,004±0,0001	<u>0,064-0,096</u> 0,081±0,002

## Додаток Д 2

Рівні забруднення ПША CO, O<sub>3</sub> у контрольних точках вимірювань, мг/м<sup>3</sup>

№ п/п	Шифр точки	Діапазон концентрацій, <u>min-max</u> M±m			
		CO		O <sub>3</sub>	
		квітень-липень	жовтень-листопад	квітень-липень	жовтень-листопад
1	A	<u>0,023-0,189</u> 0,128±0,012	<u>0,212-0,291</u> 0,243±0,004	<u>0,160-0,280</u> 0,214±0,010	<u>0,091-0,121</u> 0,110±0,002
2	B	<u>0,085-0,193</u> 0,155±0,005	<u>0,154-0,250</u> 0,201±0,007	<u>0,158-0,287</u> 0,210±0,011	<u>0,091-0,121</u> 0,112±0,002
3	C	<u>0,069-0,243</u> 0,109±0,008	<u>0,127-0,166</u> 0,150±0,003	<u>0,183-0,291</u> 0,237±0,008	<u>0,077-0,105</u> 0,092±0,002
4	D	<u>0,029-0,107</u> 0,071±0,006	<u>0,197-0,407</u> 0,317±0,012	<u>0,181-0,242</u> 0,204±0,004	<u>0,064-0,105</u> 0,085±0,003
5	E	<u>0,043-0,158</u> 0,095±0,006	<u>0,124-0,183</u> 0,159±0,004	<u>0,175-0,250</u> 0,193±0,004	<u>0,124-0,131</u> 0,128±0,000
6	F	<u>0,013-0,104</u> 0,051±0,006	<u>0,153-0,276</u> 0,209±0,007	<u>0,178-0,203</u> 0,187±0,001	<u>0,125-0,147</u> 0,132±0,001
7	G	<u>0,031-0,097</u> 0,064±0,004	<u>0,104-0,276</u> 0,189±0,009	<u>0,155-0,203</u> 0,180±0,002	<u>0,104-0,135</u> 0,124±0,002
8	H	<u>0,106-0,252</u> 0,164±0,008	<u>0,314-0,541</u> 0,396±0,014	<u>0,155-0,248</u> 0,219±0,005	<u>0,083-0,100</u> 0,091±0,001
9	I	<u>0,029-0,129</u> 0,081±0,007	<u>0,138-0,282</u> 0,213±0,010	<u>0,231-0,256</u> 0,249±0,001	<u>0,072-0,105</u> 0,092±0,002
10	J	<u>0,100-0,185</u> 0,139±0,006	<u>0,152-0,234</u> 0,188±0,005	<u>0,245-0,273</u> 0,259±0,001	<u>0,114-0,135</u> 0,124±0,001
11	K	<u>0,077-0,160</u> 0,118±0,005	<u>0,149-0,168</u> 0,158±0,001	<u>0,236-0,279</u> 0,261±0,003	<u>0,122-0,133</u> 0,127±0,001
12	L	<u>0,064-0,119</u> 0,099±0,003	<u>0,190-0,231</u> 0,215±0,003	<u>0,239-0,257</u> 0,246±0,001	<u>0,093-0,111</u> 0,102±0,001
13	M	<u>0,038-0,107</u> 0,072±0,005	<u>0,166-0,244</u> 0,196±0,005	<u>0,172-0,191</u> 0,185±0,001	<u>0,087-0,112</u> 0,105±0,001
14	X	<u>0,019-0,137</u> 0,093±0,006	<u>0,138-0,173</u> 0,158±0,002	<u>0,174-0,211</u> 0,201±0,002	<u>0,104-0,120</u> 0,112±0,001
15	N	<u>0,040-0,157</u> 0,116±0,006	<u>0,193-0,362</u> 0,241±0,009	<u>0,214-0,239</u> 0,226±0,002	<u>0,060-0,114</u> 0,084±0,003
16	O	<u>0,075-0,151</u> 0,121±0,005	<u>0,127-0,298</u> 0,221±0,011	<u>0,195-0,255</u> 0,218±0,004	<u>0,053-0,106</u> 0,078±0,003
17	P	<u>0,043-0,132</u> 0,082±0,005	<u>0,143-0,308</u> 0,225±0,011	<u>0,181-0,236</u> 0,199±0,005	<u>0,112-0,132</u> 0,123±0,001
18	Q	<u>0,069-0,123</u> 0,098±0,003	<u>0,123-0,329</u> 0,255±0,011	<u>0,176-0,214</u> 0,193±0,002	<u>0,069-0,139</u> 0,103±0,005
19	R	<u>0,068-0,109</u> 0,095±0,003	<u>0,220-0,277</u> 0,252±0,003	<u>0,147-0,183</u> 0,172±0,002	<u>0,114-0,133</u> 0,126±0,001
20	S	<u>0,042-0,104</u> 0,084±0,004	<u>0,214-0,299</u> 0,260±0,006	<u>0,180-0,195</u> 0,187±0,001	<u>0,106-0,117</u> 0,110±0,001
21	Y	<u>0,082-0,107</u> 0,097±0,001	<u>0,114-0,302</u> 0,203±0,010	<u>0,181-0,199</u> 0,191±0,001	<u>0,101-0,127</u> 0,120±0,002
22	T	<u>0,049-0,105</u> 0,084±0,003	<u>0,131-0,173</u> 0,154±0,003	<u>0,171-0,219</u> 0,202±0,003	<u>0,078-0,129</u> 0,109±0,004
23	U	<u>0,016-0,098</u> 0,050±0,005	<u>0,143-0,271</u> 0,216±0,007	<u>0,174-0,230</u> 0,197±0,003	<u>0,084-0,117</u> 0,106±0,002
24	V	<u>0,127-0,200</u> 0,160±0,004	<u>0,273-0,414</u> 0,346±0,010	<u>0,173-0,242</u> 0,222±0,005	<u>0,062-0,117</u> 0,084±0,004
25	W	<u>0,049-0,120</u> 0,088±0,004	<u>0,126-0,156</u> 0,143±0,002	<u>0,171-0,194</u> 0,187±0,001	<u>0,085-0,105</u> 0,094±0,001

## Додаток Д 3

Рівні забруднення ПША пилю НДЗС у контрольних точках вимірювань, мг/м<sup>3</sup>

№ п/п	Шифр точки	Населений пункт	Діапазон концентрацій, min-max M±m	
			Квітень-липень	жовтень-листопад
1	A	Українка	<u>0,74–2,65</u> 1,43±0,20	<u>0,54–2,68</u> 1,39±0,23
2	B	Українка	<u>0,79–2,29</u> 1,68±0,17	<u>0,85–2,31</u> 1,56±0,15
3	C	Українка	<u>0,24–0,82</u> 0,48±0,07	<u>0,25–1,06</u> 0,58±0,08
4	D	Українка	<u>0,27–0,97</u> 0,68±0,07	<u>0,34–1,17</u> 0,76±0,09
5	E	Українка	<u>0,37–1,36</u> 0,84±0,10	<u>0,35–0,94</u> 0,59±0,06
6	F	Українка	<u>0,18–1,14</u> 0,57±0,11	<u>0,38–2,01</u> 0,98±0,18
7	G	Українка	<u>0,93–2,43</u> 1,80±0,15	<u>0,86–2,53</u> 1,53±0,15
8	H	Обухів	<u>0,65–1,43</u> 1,01±0,08	<u>0,37–1,84</u> 1,08±0,14
9	I	Обухів	<u>0,36–1,13</u> 0,76±0,08	<u>0,28–1,01</u> 0,54±0,08
10	J	Обухів	<u>0,64–2,43</u> 1,24±0,15	<u>0,31–0,99</u> 0,67±0,07
11	K	Обухів	<u>0,24–0,85</u> 0,53±0,06	<u>0,35–0,94</u> 0,55±0,06
12	L	Обухів	<u>0,21–1,04</u> 0,54±0,10	<u>0,20–0,84</u> 0,46±0,07
13	M	Дерев'яна	<u>0,10–1,05</u> 0,43±0,10	<u>0,23–1,05</u> 0,57±0,10
14	X	Дерев'яна	<u>0,13–0,84</u> 0,41±0,10	<u>0,24–0,98</u> 0,65±0,07
15	N	Красне перше	<u>0,05–0,37</u> 0,17±0,02	<u>0,24–0,58</u> 0,38±0,03
16	O	Щербанівка	<u>0,12–0,46</u> 0,25±0,03	<u>0,13–0,53</u> 0,34±0,04
17	P	Трипілля	<u>0,16–0,43</u> 0,30±0,05	<u>0,35–0,88</u> 0,57±0,05
18	Q	Трипілля	<u>0,15–0,33</u> 0,24±0,03	<u>0,23–0,92</u> 0,54±0,07
19	R	Трипілля	<u>0,46–0,69</u> 0,56±0,04	<u>0,27–0,70</u> 0,47±0,05
20	S	Трипілля	<u>0,29–0,54</u> 0,44±0,05	<u>0,30–0,78</u> 0,48±0,04
21	Y	Трипілля	<u>0,22–0,40</u> 0,32±0,03	<u>0,35–0,85</u> 0,60±0,05
22	T	Халеп'я	<u>0,07–0,36</u> 0,19±0,02	<u>0,17–1,18</u> 0,61±0,08
23	U	Жуківці	<u>0,05–0,43</u> 0,21±0,03	<u>0,11–1,01</u> 0,51±0,09
24	V	Таценки	<u>0,24–2,12</u> 0,96±0,16	<u>0,41–1,13</u> 0,73±0,07
25	W	Плюти	<u>0,04–0,63</u> 0,27±0,04	<u>0,22–0,78</u> 0,45±0,04

## Додаток Д 4

Рівні забруднення ПША  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  у контрольних точках вимірювань, мкг/м<sup>3</sup>

№ п/п	Шифр точки	Діапазон концентрацій, min-max M±m			
		PM10		PM2.5	
		Квітень-липень	Жовень-листопад	Квітень-липень	Жовень-листопад
1	A	<u>15.9–47.2</u> 26,7±3,0	<u>17.2–118.4</u> 43,9±6,8	<u>6.8–15.4</u> 11,6±0,8	<u>7.9–90.5</u> 35,2±5,1
2	B	<u>16.4–57.4</u> 30,6±4,3	<u>19.4–89.0</u> 44,1±4,6	<u>7.1–78.6</u> 17,0±5,7	<u>18.4–49.0</u> 34,7±2,6
3	C	<u>4.6–27.1</u> 16,7±1,6	<u>15.3–56.3</u> 31,5±2,5	<u>4.6–15.2</u> 10,2±0,9	<u>17.9–46.5</u> 31,0±2,4
4	D	<u>15.8–31.9</u> 21,9±1,5	<u>11.5–56.4</u> 33,3±3,8	<u>6.9–15.9</u> 11,5±0,9	<u>9.5–35.3</u> 22,6±1,9
5	E	<u>16.6–33.5</u> 21,8±1,5	<u>27.3–59.4</u> 37,7±2,6	<u>7.3–16.5</u> 10,5±0,8	<u>18.0–38.5</u> 24,7±1,7
6	F	<u>16.9–33.5</u> 23,9±1,7	<u>17.5–64.2</u> 40,3±4,0	<u>7.4–17.3</u> 12,7±1,0	<u>14.6–40.4</u> 25,0±2,1
7	G	<u>16.3–60.6</u> 30,7±4,0	<u>10.2–133.0</u> 49,6±7,8	<u>8.6–30.6</u> 17,0±1,7	<u>18.2–47.4</u> 33,3±2,3
8	H	<u>12.3–35.5</u> 23,1±1,9	<u>15.3–73.4</u> 34,0±4,0	<u>7.3–16.5</u> 11,5±0,9	<u>13.4–35.5</u> 23,0±1,6
9	I	<u>12.8–24.3</u> 16,5±0,9	<u>14.2–39.3</u> 24,3±2,1	<u>4.3–12.7</u> 9,1±0,8	<u>12.3–30.7</u> 19,3±1,4
10	J	<u>10.0–19.9</u> 14,6±0,8	<u>16.4–66.3</u> 29,4±3,2	<u>4.6–12.3</u> 8,7±0,7	<u>11.4–35.3</u> 19,9±1,8
11	K	<u>11.3–19.5</u> 14,1±0,7	<u>11.4–33.8</u> 20,9±2,0	<u>3.0–12.2</u> 7,4±0,7	<u>4.5–25.8</u> 14,6±1,4
12	L	<u>10.2–19.0</u> 14,0±0,8	<u>10.3–32.9</u> 19,8±1,9	<u>5.3–11.7</u> 8,4±0,6	<u>8.2–23.5</u> 13,2±1,2
13	M	<u>11.0–21.3</u> 15,6±0,8	<u>14.3–35.3</u> 24,2±1,8	<u>4.0–11.3</u> 8,3±0,6	<u>10.4–25.5</u> 16,0±1,2
14	X	<u>9.5–23.2</u> 16,6±1,1	<u>16.4–41.3</u> 24,8±1,8	<u>6.3–12.0</u> 9,1±0,5	<u>9.6–25.2</u> 17,9±1,2
15	N	<u>8.7–19.8</u> 13,6±1,0	<u>12.4–32.2</u> 22,3±1,5	<u>5.7–10.0</u> 8,2±0,4	<u>8.6–24.3</u> 15,5±1,2
16	O	<u>11.6–20.5</u> 14,9±0,7	<u>20.4–38.3</u> 29,5±1,6	<u>5.4–10.7</u> 8,0±0,6	<u>8.7–24.5</u> 17,2±1,2
17	P	<u>15.1–26.0</u> 19,1±1,0	<u>20.1–62.3</u> 39,3±3,1	<u>6.0–14.6</u> 10,2±0,7	<u>15.6–46.4</u> 31,5±2,4
18	Q	<u>14.0–28.7</u> 19,0±1,5	<u>14.4–66.4</u> 39,5±4,0	<u>7.0–13.4</u> 9,6±0,6	<u>10.4–43.3</u> 25,2±2,2
19	R	<u>15.3–24.4</u> 19,3±0,8	<u>27.4–62.3</u> 40,5±3,2	<u>6.7–12.4</u> 9,7±0,6	<u>16.3–35.3</u> 25,3±1,4
20	S	<u>13.2–28.3</u> 18,6±1,4	<u>4.4–64.1</u> 35,6±3,7	<u>6.9–12.9</u> 9,2±0,5	<u>3.4–37.5</u> 20,7±2,0
21	Y	<u>14.8–30.8</u> 20,2±1,4	<u>4.4–67.4</u> 37,0±3,8	<u>5.2–16.5</u> 10,8±0,9	<u>19.3–37.3</u> 27,4±1,5
22	T	<u>12.3–29.2</u> 19,3±1,4	<u>19.4–52.3</u> 37,3±2,4	<u>6.0–15.5</u> 10,5±0,7	<u>17.4–33.3</u> 25,0±1,4
23	U	<u>4.0–25.2</u> 16,2±1,7	<u>12.4–44.0</u> 25,5±2,0	<u>3.4–13.0</u> 8,9±0,7	<u>10.4–31.6</u> 20,8±1,4
24	V	<u>16.5–31.5</u> 23,3±1,3	<u>19.1–37.3</u> 28,0±1,4	<u>7.6–16.5</u> 11,7±0,7	<u>14.5–37.2</u> 24,8±1,8
25	W	<u>12.6–27.2</u> 17,4±1,2	<u>22.2–42.4</u> 31,7±1,7	<u>6.4–13.5</u> 10,1±0,7	<u>14.3–33.5</u> 24,0±1,6