

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «ІНСТИТУТ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я
ім. О. М. МАРЗЄЄВА НАМН УКРАЇНИ»**

МАРЕМУХА ТЕТЯНА ПЕТРІВНА

УДК 614.71/72: 621.311:616-053.2/5

**ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ**

14.02.01 – гігієна та професійна патологія

**АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата медичних наук**

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державній установі «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва Національної академії медичних наук України».

Науковий керівник: докторка медичних наук, професорка
Турос Олена Ігорівна,
Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О. М. Марзєєва НАМН України», завідувачка лабораторії якості повітря.

Офіційні опоненти: доктор медичних наук, професор
Омельчук Сергій Тихонович,
Національний медичний університет ім. О.О. Богомольця МОЗ України», директор Інституту гігієни та екології, професор кафедри гігієни та екології № 4.

кандидат медичних наук, доцент
Севальнєв Анатолій Іванович,
Запорізький державний медичний університет, завідувач кафедри загальної гігієни та екології.

Захист відбудеться «23» квітня 2021 року о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.604.01 ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України» за адресою: 02094, м. Київ, вул. Попудренка, 50.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України» за адресою: 02094, м. Київ, вул. Попудренка, 50.

Автореферат розісланий «22 » березня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
докторка біологічних наук



О.М. Литвиченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. За даними Міжнародного енергетичного агентства станом на 2018 рік приблизно 40 % світових потреб в електроенергії були забезпечені теплоелектростанціями, що працюють на вугіллі [ІЕА, 2019]. На їх частку припадає три чверті викидів сірки діоксиду, 70 % оксидів азоту та понад 90 % твердих часток пилу (PM_{10} , $PM_{2.5}$) від загальних обсягів викидів енергетичного сектору [ІЕА, 2016].

Забруднення атмосферного повітря, пов'язане зі спалюванням викопного палива, є одним з головних факторів захворюваності та смертності в усьому світі [ВООЗ, 2011; ІЕА, 2016]. 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 [Буштуева К.А., 1976; Бабій В.Ф. 1986, 2015; Жданов В.В., 2006, 2007; Penney S. et al., 2009; Ревич Б.О., 2010; Черниченко І.О. та Литвиченко О.М. 2009, 2012, 2015, 2017; Holland M., 2017; Lin C.K. et al., 2019]. Науково доведено, що такі забруднюючі речовини (ЗР) як сірки діоксид, $PM_{2.5}$, PM_{10} та оксиди азоту завдають хронічної та незворотної шкоди здоров'ю як прямо, так і опосередковано [Роу С.А. et al., 2007, 2009, 2015, 2018; Власик Л.І., 2012, 2017; Турос О.І. 2010, 2012, 2017; Севальнев А.І., 2012, 2017; Петросян А.А., 2015, 2017; Давиденко Г.М., 2017; Ревич Б.О., 2018; Просвірякова І.А., 2018].

Відповідно до оприлюднених оцінок в Європейському Союзі (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 [HEAL, 2016]. Близько 83 % передчасних смертей від хвороб серцево-судинної системи, інсульту, раку та хронічних захворювань легень пов'язані з впливом $PM_{2.5}$. Крім того, забруднення атмосферного повітря вугільними електростанціями спричинило 21 000 випадків госпіталізації та 6,6 мільйона втрачених робочих днів, а витрати, пов'язані зі здоров'ям, були оцінені від 32,2 до 62,3 млрд євро. Саме тому більшість країн ЄС відмовляються від інвестицій у вугільні електростанції та підтримують перехід на відновлювальні джерела енергії.

Однак, згідно з Енергетичною стратегією України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», Україна не готова відмовлятися від вугільних теплоелектростанцій, хоча планується поступове зменшення частки викопного палива в енергетичному балансі країни. 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.

Теплові електростанції (ТЕС), 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 [Директива 2001/80/ЕС, Директива 2010/75/ЕС]. В Україні $PM_{2.5}$ та PM_{10} досі не входять до переліку ЗР, які характеризують токсичність викидів від ТЕО. 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.

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 роботи з науковими програмами, планами, темами.

Роботу виконано в рамках таких науково-дослідних робіт Державної установи «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзеєва 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 озон) 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 технології», 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 збирала 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 щиру 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 (Марзеевські 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 – у періодичному науковому виданні іншої держави, 2 – 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Перший розділ (аналітичний огляд літератури) присвячено аналізу 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. Встановлено, що забруднення атмосферного повітря, пов'язане зі спалюванням викопного палива, є головним фактором захворюваності та смертності в усьому світі.

У **другому розділі** представлено програму, методи та обсяг досліджень для вирішення поставлених у роботі завдань (табл. 1).

Таблиця 1

Етапи та обсяги досліджень

№	Етапи досліджень	Обсяг досліджень
1.	Огляд європейського та українського законодавства в сфері теплової енергетики, охорони атмосферного повітря та здоров'я	Нормативно-правові документи – 34 (10 міжнародні, 24 національні)
2.	Гігієнічна оцінка забруднення ПША в зоні впливу ТЕО	Індикативні вимірювання концентрацій: оксиду вуглецю, азоту діоксиду, сірки діоксиду, пилу НДЗС), озону – 4725 вимірів для кожної речовини; PM_{10} та $PM_{2.5}$ – 18540 (Київська область); озон – 7360 (м. Київ). Фіксовані вимірювання концентрацій: PM_{10} – 7648 вимірів, $PM_{2.5}$ – 8149 (м. Київ)
3.	Аналіз взаємозв'язків між концентраціями $PM_{2.5}$ та PM_{10}	Розрахунок коефіцієнта кореляції та співвідношення $PM_{2.5}/PM_{10}$; регресійний аналіз, розрахунок коригувального коефіцієнта
4.	Розрахунки усереднених концентрацій ЗР за допомогою моделі ISC-AERMOD View	Розрахунки усереднених 1-, 24-годинних та річних концентрацій ЗР у 96 рецепторних точках
5.	Оцінка ризику для здоров'я населення	Розрахунки неканцерогенного ризику та індивідуального ризику смерті у 25 рецепторних точках
6.	Кількісна оцінка ризику для здоров'я від тривалого впливу $PM_{2.5}$ та PM_{10} за допомогою програмного комплексу AirQ+	Розрахунки атрибутивних часток і додаткових випадків смерті та захворюваності на хронічний бронхіт у дорослих, 50 розрахунків
7.	Оцінка якості повітря за допомогою індексу якості повітря (AQI)	Визначення AQI для трьох речовин із застосуванням «американського» (AQI EPA) та «європейського» (EU AQI) підходів

За допомогою бібліографічного аналізу наукової та нормативно-методичної інформації визначено проблемні питання, що потребують вирішення. Проаналізовано 34 нормативно-правові документи.

Для гігієнічної оцінки забруднення ПША сельбищних територій в зоні впливу ТЕО проведено натурні дослідження з використанням сенсорних приладів пересувної медико-екологічної лабораторії (індикативні та еталонні вимірювання) та стаціонарного посту моніторингу PM_{10} та $PM_{2.5}$ (фіксовані вимірювання). Індикативні вимірювання концентрацій твердих часток пилу (PM_{10} та $PM_{2.5}$) проводили у 2016 році (квітень-липень) в м. Українка; азоту діоксиду, вуглецю оксиду, сірки діоксиду, озону, пилу НДЗС, PM_{10} та $PM_{2.5}$ – у 2017 році (квітень-липень та жовтень-листопад) у дев'яти населених пунктах, що знаходяться в зоні впливу Трипільської теплоелектростанції (ТЕС), а саме: у містах – Українка, Обухів; у селах – Трипілля, Дерев'яна, Красне перше, Щербанівка, Халеп'я, Жуківці, Таценки та Плюти; озону – у 2017 році (червень-серпень) у м. Київ. Фіксовані вимірювання PM_{10} та $PM_{2.5}$ здійснювалися в м. Київ протягом року (з червня 2017 по травень 2018 років) на стаціонарному пості спостережень, який розташований в зоні впливу Дарницької теплоелектроцентралі (ТЕЦ-4) ТОВ «ЄВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ».

Вивчення розсіювання ЗР по території дослідження та кількісної оцінки інгаляційного впливу викидів азоту діоксиду, вуглецю оксиду, сірки діоксиду, озону, пилу НДЗС, PM_{10} та $PM_{2.5}$ від стаціонарних джерел Трипільської ТЕС було проведено за допомогою моделювання їх поширення у ПША. Для цього було використано ліцензований програмний комплекс ISC-AERMOD View (ліцензія ISCAU0002896). Розрахунки розсіювання концентрацій досліджуваних ЗР було проведено у 96 вузлах рецепторної сітки, що були рівномірно розміщені на території дослідження. Отримані усереднені рівні 1-годинних, 24-годинних та річних концентрацій досліджуваних ЗР 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.

Для характеристики якості атмосферного повітря було розраховано індекс якості повітря (AQI) з використанням методології запропонованої Агентством США з охорони довкілля (EPA AQI) та Європейським агентством з навколишнього середовища (EU AQI) на підставі даних спостережень концентрацій PM_{10} , $PM_{2.5}$ та озону.

Під час розрахунків рівнів та аналізу ризику для здоров'я експонованого населення була використана загальна (класична) процедура методології оцінки ризику для здоров'я населення (МОРЗН), розроблена та рекомендована Агентством США з охорони довкілля і ВООЗ; для кількісних оцінок частки смертей (від раку легень, хронічного обструктивного захворювання легень, ішемічної хвороби серця, 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.

Дані щодо чисельності населення у м. Київ та Київської області, смертності серед дорослого населення в розбивці за віком та причинами, як зазначено в 10-й редакції Міжнародної класифікації захворювань (МКБ-10), були отримані на сайті Державної служби статистики України.

Статистична обробка результатів досліджень здійснена з використанням пакетів прикладних програм (StatSoft STATISTICA 10.0 portable, «Microsoft® Excel'2019»). Матеріали досліджень оброблено з використанням регресійного і кореляційного методів аналізу.

У **третьому розділі** на підставі даних, отриманих під час проведення натурних досліджень у 25 контрольних точках (КТ) дев'яти населених пунктів Київської області (знаходяться в зоні впливу вугільної ТЕС), встановлено рівні забруднення атмосферного повітря азоту діоксидом, вуглецю оксидом, сірки діоксидом, озоном, пилом НДЗС, PM_{10} та $PM_{2.5}$ (табл. 2).

Таблиця 2

Результати натурних досліджень забруднення атмосферного повітря в зоні впливу Трипільської ТЕС, Київська область, 2017 р. (мг/м³)

Назва речовини	квітень-липень		жовтень-листопад		ГДК _{м.р.} , мг/м ³
	Концентрація, <u>min-max</u> M ± m	mediana	Концентрація, <u>min-max</u> M ± m	mediana	
Азоту діоксид	<u>0,0002–0,051</u> 0,005±0,0002	0,003	<u>0,004–0,027</u> 0,010±0,0002	0,008	0,200
Вуглецю оксид	<u>0,013–0,252</u> 0,098±0,001	0,098	<u>0,104–0,541</u> 0,216±0,003	0,214	5,000
Сірки діоксид	<u>0,007–0,227</u> 0,071±0,002	0,066	<u>0,032–0,339</u> 0,120±0,002	0,107	0,500
Озон	<u>0,147–0,291</u> 0,210±0,001	0,198	<u>0,053–0,147</u> 0,107±0,001	0,110	0,160
Пил НДЗС	<u>0,042–2,654</u> 0,646±0,035	0,452	<u>0,104–2,675</u> 0,697±0,027	0,576	0,500
PM_{10}	<u>4,0–61,0*</u> 18,0±0,4	16,0	<u>4,0–133,0*</u> 32,0±0,8	28,0	50,0**
$PM_{2.5}$	<u>3,0–79,0*</u> 9,0±0,1	8,0	<u>4,0–91,0*</u> 22,0±0,2	19,0	25,0***

Примітка: * - мкг/м³, 1-годинні концентрації.

** - Директива 2008/50/ЄС, ВООЗ, середньодобова концентрація.

*** - критерії ВООЗ, середньодобова концентрація.

Встановлено, що рівні концентрацій ЗР в атмосферному повітрі знаходилися у діапазоні: 0,0002÷0,051 мг/м³ (медіана: 0,006 мг/м³) – для азоту діоксиду; 0,013÷0,541 мг/м³ (медіана: 0,153 мг/м³) – для оксиду вуглецю;

0,007±0,339 мг/м³ (медіана: 0,086 мг/м³) – для сірки діоксиду, та не перевищували ГДК_{м.р.}. При цьому, середні значення концентрацій пилу НДЗС, отримані протягом квітня-липня та жовтня-листопада, фіксувалися відповідно на рівнях: 0,65±0,04 мг/м³ (медіана – 0,45 мг/м³) та 0,70±0,03 мг/м³ (медіана – 0,58 мг/м³), а перевищення ГДК_{м.р.} за середніми значеннями визначалося в 45 % вимірювань у теплий період року (від 1,1 до 3,6 частки ГДК_{м.р.}) та в 52 % у холодний період року (від 1,1 до 3,2 частки ГДК_{м.р.}). Встановлено найвищі рівні концентрацій на відстані до 2 км від джерел викидів – 3,4-3,6 ГДК_{м.р.}; 2-3 км – не перевищували 1,5 ГДК_{м.р.}; 3-6 км – 1,2 ГДК_{м.р.}, 6-7 км – 1,0 ГДК_{м.р.}. Також було виявлено збільшення рівня забруднення атмосферного повітря РМ₁₀ в 1,8 раза та РМ_{2,5} у 2,4 раза в опалювальний сезон (жовтень-листопад: медіана – 28,0 мкг/м³ для РМ₁₀ та 19,0 мкг/м³ для РМ_{2,5}) у порівнянні з міжопалювальним періодом (квітень-липень: медіана – 16,0 мкг/м³ для РМ₁₀ та 8,0 мкг/м³ для РМ_{2,5}). Найвищі середньодобові рівні концентрацій РМ₁₀ зафіксовані на відстані до 1 км (перевищення в 1,1 раза); РМ_{2,5} на відстані до 2 км (в 1,4-1,5 раза).

Таким чином, найвищі рівні середніх концентрацій пилу НДЗС (у т.ч. РМ₁₀, РМ_{2,5}) відмічались на відстані до 2 км від джерела викиду, а стабільне перевищення нормативів, незалежно від пори року, спостерігалось як за рахунок високого джерела (труба) забруднення ТЕС, так і площинного (золівідвал) (рис. 1).

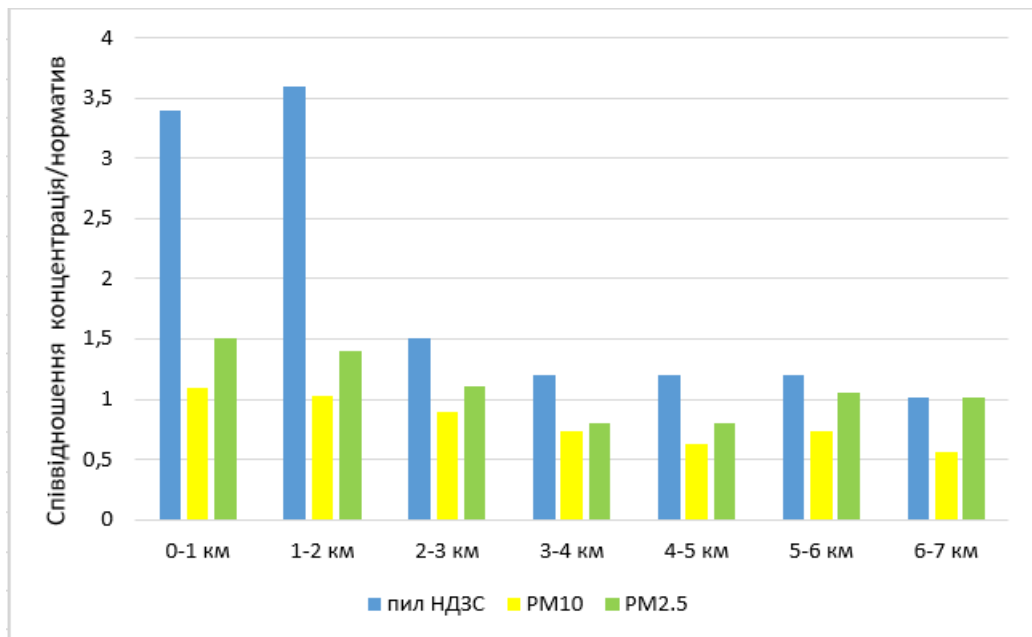


Рис. 1 – Розподіл концентрацій пилу НДЗС (1-годинна), РМ₁₀, РМ_{2,5} (24-годинна) в зоні впливу Трипільської ТЕС

Що стосується гігієнічних оцінок визначених рівнів середніх концентрацій озону (0,147±0,291 мг/м³; медіана: 0,198 мг/м³), то перевищення граничних значень за вітчизняним нормативом (1,1-1,8 ГДК_{м.р.}) та міжнародними критеріями (8-годинна концентрація: ВООЗ в 1,9-2,2 раза; Директива 2008/50/ЄС в 1,7-1,9 раза) було встановлено, відповідно у 95 % та 100 % вимірювань проведених протягом квітня-липня 2017 року.

Проведено моделювання розсіювання ЗР у ПША та їх порівняльний аналіз з даними, отриманими під час натурних вимірювань. Аналіз та оцінка результатів показали, що усереднені концентрації пилю НДЗС (1-годинні) та PM_{10} і $PM_{2.5}$ (24-годинні) 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 (рис. 2).

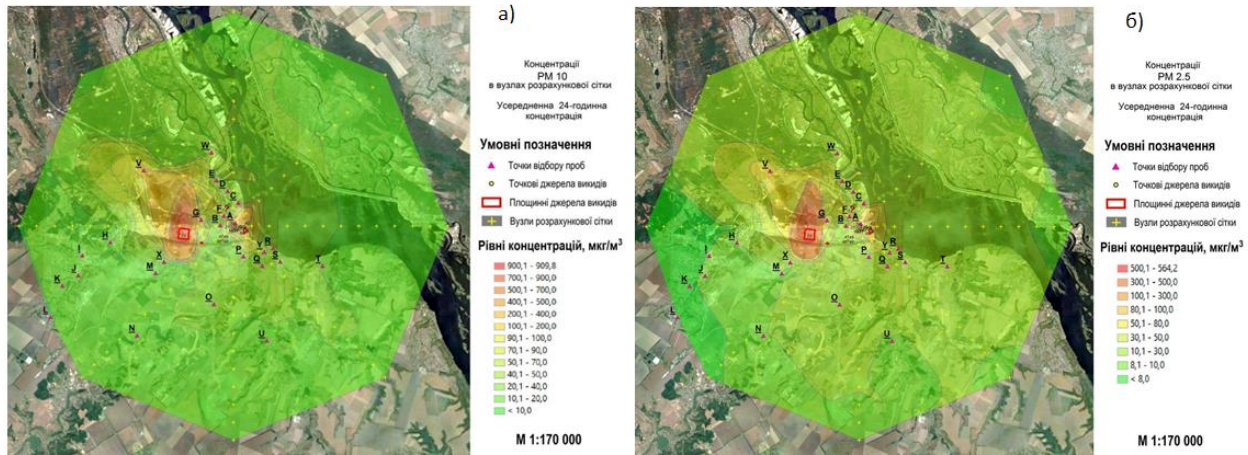


Рис. 2. – Просторове поширення усереднених 24-годинних концентрацій PM_{10} (а) та $PM_{2.5}$ (б) в зоні впливу Трипільської ТЕС

За даними моделювання встановлено максимальне перевищення нормативних рівнів забруднення атмосферного повітря (обумовлене впливом золовідвалу) на відстанях 2-4 км від джерела викиду ТЕС для пилю НДЗС – до 15 разів ($GDK_{м.р}$); PM_{10} – до 18 разів (24-годинна концентрація, Директива 2008/50/ЄС) та $PM_{2.5}$ – до 23 разів (24-годинна концентрація, ВООЗ). Таким чином, можна зазначити, що поєднання натурних вимірювань з моделюванням розсіювання ЗР дає більш точні оцінки та дозволяє визначити оптимальні контрольні точки для подальших кількісних оцінок інгалаційного впливу на здоров'я експонованого населення.

Розділ **четвертий** був присвячений вивченню особливостей забруднення атмосферного повітря твердими частками пилю (PM_{10} , $PM_{2.5}$) та озонем у м. Київ. Фіксовані вимірювання PM_{10} та $PM_{2.5}$ в м. Київ, які проводилися протягом року (з червня 2017 по травень 2018 року) на стаціонарному пості спостережень, розташованому в зоні впливу ТЕО, встановили, що середньорічні концентрації твердих часток пилю знаходилися на рівні для PM_{10} – $33,0 \text{ мкг}/\text{м}^3$, $PM_{2.5}$ – $21,0 \text{ мкг}/\text{м}^3$ та не перевищували граничні значення вказані в Директиві 2008/50/ЄС, але обумовлювали небезпечний рівень згідно з рекомендаціями ВООЗ. Водночас проведені дослідження показали, що 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 (PM₁₀ – не більше 35 днів на рік) та ВООЗ (PM_{2.5} – не більше трьох днів на рік).

Значення середньодобових концентрацій PM_{2.5}, що визначалися протягом опалювального періоду, у середньому в 1,5 раза перевищували величини, отримані в міжопалювальний сезон (квітень-вересень) та знаходилися відповідно на рівні: 25,0 мкг/м³ (медіана – 23,3 мкг/м³) та 17,1 мкг/м³ (медіана – 15,6 мкг/м³), що свідчить про суттєвий вклад ТЕО в забруднення атмосферного повітря PM_{2.5}, а також про підвищення небезпеки для здоров'я населення від їх впливу в опалювальний період (рис. 3). Концентрації PM₁₀ характеризувалися більшою однорідністю у порівнянні з PM_{2.5} та знаходилися на рівні: 33,4 мкг/м³ (медіана – 29,0 мкг/м³) – у жовтні-березні та 33,6 мкг/м³ (медіана – 28,6 мкг/м³) – у квітні-вересні.

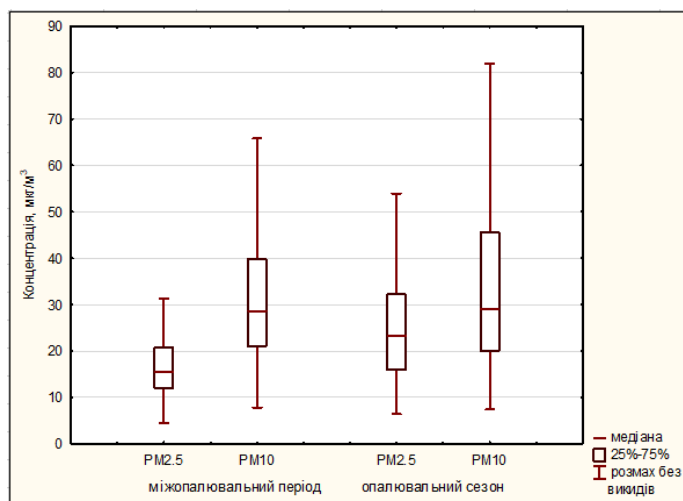


Рис. 3 - Діаграма розмаху концентрацій PM_{2.5} та PM₁₀ в опалювальний сезон та міжопалювальний період, м. Київ, мкг/м³ (з червня 2017 р. по травень 2018 р.).

Під час проведених досліджень було виявлено достовірний кореляційний зв'язок між концентраціями PM₁₀ та PM_{2.5} ($r_s = 0,89$; $p < 0,001$). Аналіз залежності між окремими фракціями твердих часток пилу виконувався з використанням декількох підходів: розрахунку середньодобового співвідношення шляхом ділення виміряних середньодобових значень концентрацій PM_{2.5} на PM₁₀, з наступним усередненням усіх значень; використанням регресійного аналізу; застосуванням коригувальних коефіцієнтів розрахованих окремо для опалювального сезону та міжопалювального періоду. Оцінка точності методу (визначення відсотку збігів розрахованих та зареєстрованих значень PM_{2.5}) проводилася за допомогою частотного аналізу в інтервалі відхилень [-3;+3] мкг/м³.

Порівняльний аналіз вмісту твердих часток пилу в атмосферному повітрі дозволив встановити співвідношення PM_{2.5}/PM₁₀ на рівні значень: 0,65 – середньорічне; 0,75 – в опалювальний сезон; 0,56 – в міжопалювальний період, що свідчить про підвищення небезпеки для здоров'я населення від впливу PM_{2.5} в опалювальний період. Отримані результати корелюють з результатами інших авторів, які визначили співвідношення на рівні 0,5-0,8, з найвищими

значеннями в холодну пору року, що вказує на забруднення атмосферного повітря дрібними частками пилу антропогенного походження, насамперед ТЕО [ВООЗ, 2006; Zhou X. et al., 2016; Munir S. et al., 2017; Liu, H. M. et al., 2018; Zhao D. et al., 2019].

Аналіз проведених розрахунків встановив, що використання коригувальних коефіцієнтів під час розрахунків середньодобових концентрацій $PM_{2.5}$ на основі лінійної регресії, окремо – для опалювального сезону та міжопалювального періоду, підвищує точність збігів розрахованих та зареєстрованих концентрацій $PM_{2.5}$ до 74,0-76,0 %, у порівнянні з розрахунком на основі середньорічного співвідношення $PM_{2.5}/PM_{10}$ з точністю збігів – 51,0-59,0 %, що дозволяє скоротити невизначеність під час оцінювання експозиції. Отже, даний підхід може бути рекомендований у разі необхідності проведення орієнтовної оцінки середньодобової концентрації $PM_{2.5}$ в опалювальний сезон або в міжопалювальний період на територіях, де наявні дані щодо забруднення атмосферного повітря лише для PM_{10} .

Виконано серію індикативних вимірювань озону в атмосферному повітрі м. Київ (червень-серпень 2017 року) та визначено, що рівні середніх концентрацій коливались у діапазоні від 0,10 до 0,28 mg/m^3 та перевищували чинний гігієнічний норматив України (ГДК_{м.р.}) в 1,2-1,4 раза. Граничні значення рекомендовані Директивою 2008/50/ЄС та ВООЗ були перевищені у 100 % вимірювань, що свідчить про додатковий ризик для здоров'я населення, яке знаходиться під його експозицією.

Зважаючи на отриманні дані, можна зробити висновок, що населення перебуває під хронічним інгаляційним впливом атмосферного повітря забрудненого твердими частками пилу та озону, а це, в свою чергу, потребує кількісних оцінок їх впливу на громадське здоров'я.

У розділі **п'ять** представлено дослідження, які стосувались оцінки якості атмосферного повітря та кількісної оцінки впливу викидів ТЕО на здоров'я населення.

На підставі отриманих даних щодо моделювання усереднених концентрацій ЗР у ПША від стаціонарних джерел викидів Трипільської ТЕС, використовуючи класичні підходи МОРЗН, було проведено розрахунки рівнів неканцерогенного (НҚ) ризику для окремих речовин (пилу НДЗС, PM_{10} , азоту діоксиду, сірки діоксиду, вуглецю оксиду) та індивідуального ризику смерті (IRM) від викидів PM_{10} . Виявлено перевищення неканцерогенного ризику ($HQ \geq 1$) лише за умови гострого інгаляційного впливу (на рівні добової концентрації) для пилу НДЗС у м. Українка ($HQ_{acute}=1,5$) та с. Таценки ($HQ_{acute}=1,2$); PM_{10} – у м. Українка ($HQ_{acute}=2,5$) та с. Таценки ($HQ_{acute}=2,0$); для інших хімічних сполук – перевищень не встановлено.

Розраховано рівні індивідуального ризику смерті (IRM) для PM_{10} , які коливались в межах від $3,6 \times 10^{-5}$ до $2,2 \times 10^{-4}$. Отримані значення характеризувалися як допустимі для професійних контингентів та недопустимі для населення, що проживає у м. Українка ($IRM=1,1 \times 10^{-4} \div 7,7 \times 10^{-4}$); с. Таценки ($IRM=5,1 \times 10^{-4}$); 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. Плюти ($IRM=2,3 \times 10^{-4}$); с. Жуківці ($IRM=2,2 \times 10^{-4}$), що потребує розроблення та проведення планових профілактичних заходів.

На наступному етапі досліджень, використовуючи функції «експозиція-відповідь», встановлених в ході епідеміологічних досліджень та реалізованих у програмному комплексі AirQ+, проведено кількісну оцінку ризику для здоров'я населення від тривалого забруднення атмосферного повітря $PM_{2.5}$ та PM_{10} .

За результатами проведених розрахунків (табл. 3, 4) встановлено, що атрибутивна частка смертей, яка пов'язана з тривалою експозицією $PM_{2.5}$ у м. Київ (на рівні $21,2 \text{ мкг/м}^3$) та Київській області (на рівні $17,7 \text{ мкг/м}^3$), в середньому становить: 9,2 та 6,4 % від раку легень (РЛ); 8,8 та 6,6 % від хронічного обструктивного захворювання легень (ХОЗЛ); 4,9 та 3,7 % від ішемічної хвороби серця (ІХС); 4,4 та 3,4 % від інсульту.

Таблиця 3

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/Концентрація $PM_{2.5}$			
		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 частка	%	8,79	6,55	9,21	6,42
	% (95 СІ)	5,03-13,19	3,65-9,89	4,3-13,66	2,97-9,60

Таблиця 4

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. Київ та $17,7 \text{ мкг/м}^3$ в Київській області

Показник	Результат	Причина смерті/Концентрація $PM_{2.5}$			
		ІХС		Інсульт	
		$21,2 \text{ мкг/м}^3$	$17,7 \text{ мкг/м}^3$	$21,2 \text{ мкг/м}^3$	$17,7 \text{ мкг/м}^3$
атрибутивні випадки	кількість	754	531	150	70
	СІ	457-1621	316-1140	79-239	37-111
атрибутивна частка	%	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

Водночас встановлено, що середня атрибутивна смертність на 100 тис. населення, яке підпадало під тривалу експозицію $PM_{2.5}$ на рівні $21,2 \text{ мкг/м}^3$ та $17,7 \text{ мкг/м}^3$, становила у середньому для м. Київ та Київської області від: ІХС – 35,65 та 41,60; інсульту – 7,10 та 5,50; раку легень – 3,10 та 3,40; ХОЗЛ – 0,24 та 0,54 (рис. 4).

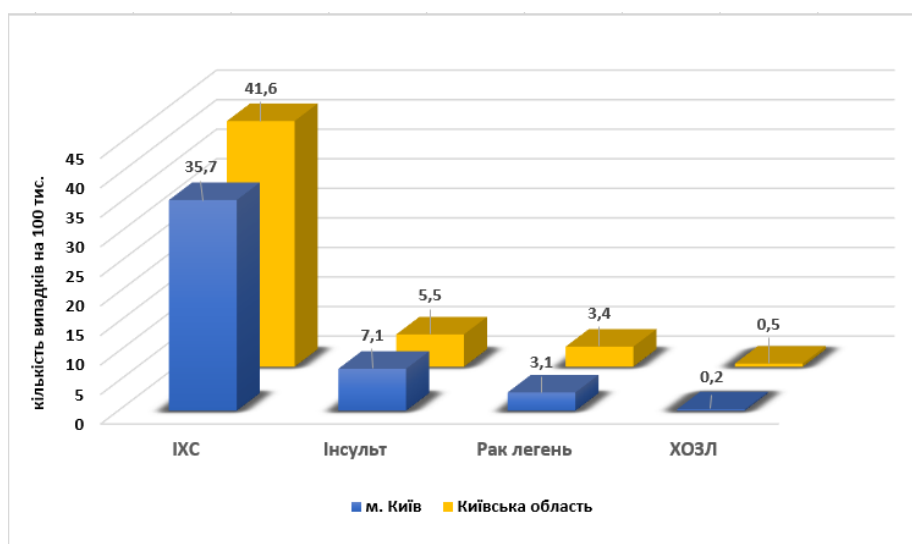


Рис. 4 – Атрибутивна кількість смертей на 100 тис. населення від тривалого впливу $PM_{2.5}$ на рівні $21,2 \text{ мкг/м}^3$ в м. Київ та $17,7 \text{ мкг/м}^3$ в Київській області

Оцінка тривалої експозиції PM_{10} на рівнях: $33,47 \text{ мкг/м}^3$ у м. Київ та $27,8 \text{ мкг/м}^3$ у Київській області, проводилася з метою визначення частки випадків хронічного бронхіту у дорослих (старше 18 років, вперше виявлені випадки), яких можна було б уникнути, якби рівень PM_{10} не перевищував 20 мкг/м^3 , рекомендованих ВООЗ. Розраховано, що атрибутивна частка випадків захворюваності на хронічний бронхіт серед дорослих, яка пов'язана з тривалою експозицією PM_{10} у м. Київ (на рівні $33,47 \text{ мкг/м}^3$) та в Київській області (на рівні $27,8 \text{ мкг/м}^3$), в середньому становила 13,9 та 8,3 % (табл. 5).

Таблиця 5

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

Показник стану здоров'я	Показник	Результат	Концентрація PM_{10}	
			$33,47 \text{ мкг/м}^3$	$27,8 \text{ мкг/м}^3$
Захворюваність на хронічний бронхіт у дорослих	атрибутивні випадки	кількість	776	196
		СІ 95 %	288-1166	72-300
	атрибутивна фракція	%	13,85	8,27
		СІ 95 %	5,15-20,8	3,01-12,63
	атрибутивні випадки на 100 тисяч	кількість	32,89	14,03
		СІ 95 %	12,22-49,41	5,11-21,42

Проведені дослідження дозволили встановити, що зменшення концентрацій $PM_{2.5}$ до референтного значення 10 мкг/м^3 та PM_{10} до 20 мкг/м^3 у м. Київ та Київській області, могло б у середньому знизити кількість

додаткових смертей серед дорослого експонованого населення від: хронічного обструктивного захворювання легень на 8,8 % (5 випадків) та 6,6 % (7 випадків); раку легень – 9,2 % (59 випадків) та 6,6 % (39 випадків); ішемічної хвороби серця – 4,9 % (754 випадки) та 3,7 % (531 випадок); інсульту – 4,4 % (150 випадків) та 3,4 % (70 випадків); а також показників захворюваності на хронічний бронхіт у дорослих на 13,9 % (776 випадків) та 8,3 % (196 випадків).

З метою інформування населення щодо можливих загроз для його здоров'я внаслідок забруднення атмосферного повітря, було проведено розрахунок та аналіз індексу якості повітря, відповідно до міжнародних вимог. Оцінка якості атмосферного повітря в зоні впливу ТЕО полягала в аналізі індексів якості повітря (AQI), отриманих при застосування «американського» (ЕРА AQI) та «європейського» (ЕU AQI) підходів. Для розрахунків використовувались концентрації твердих часток пилу та озону, оскільки вони є одними з найбільш небезпечних ЗР в атмосферному повітрі з точки зору шкідливого впливу на здоров'я людини. Встановлено, що використання «американського» підходу може недооцінювати рівень небезпеки атмосферного повітря для здоров'я, тим самим обмежуючи інформування населення. Отже, загальний AQI було визначено за методологією запропонованою Європейським агентством з навколишнього середовища.

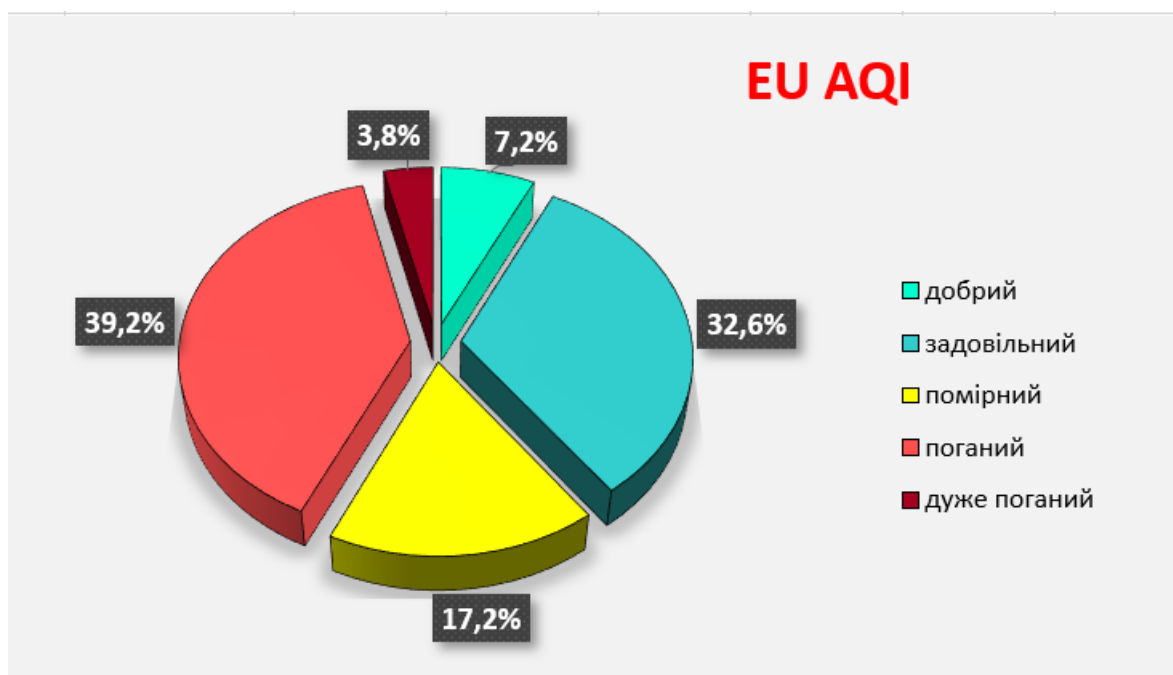


Рис. 5 - Розподіл індексів якості повітря за категоріями, м. Київ (червень 2017 р. – травень 2018 р.)

Встановлено, що протягом року індекс якості повітря оцінювався 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» (рис. 5). Водночас виявлено, що влітку шкідливий вплив атмосферного повітря був зумовлений високими рівнями озону, а протягом

опалювального сезону – концентраціями $PM_{2.5}$. Отримані результати доводять те, що ТЕО є основними стаціонарними забруднювачами повітря $PM_{2.5}$ в опалювальний період. Проведені дослідження показали 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.

За результатами проведених досліджень, показано високу ймовірність впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення, яке проживає в зонах впливу ТЕО, та підкреслено необхідність у пошуку та адаптації сучасних методичних підходів до його оцінювання. З огляду на це, у **шостому** розділі запропоновано алгоритм кількісної оцінки впливу на здоров'я населення атмосферного повітря забрудненого ТЕО (рис. 6).

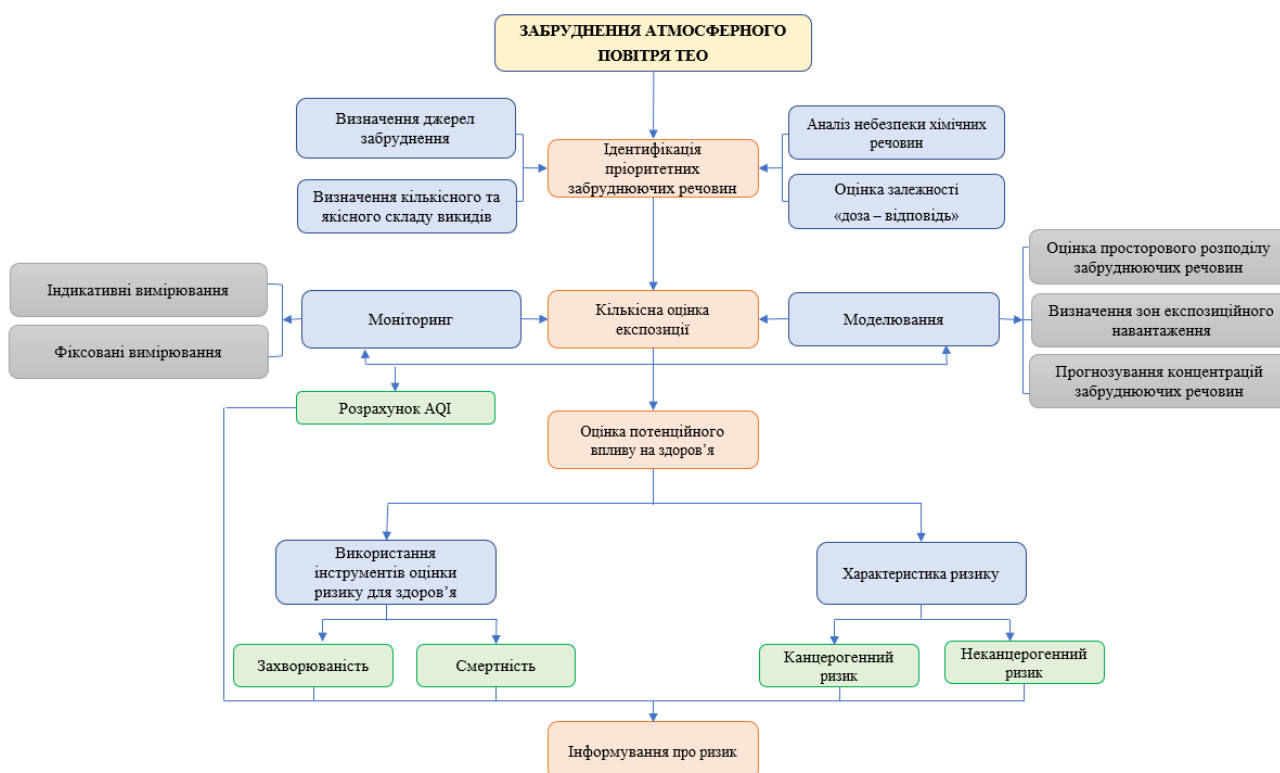


Рис. 6 – Алгоритм кількісної оцінки впливу на здоров'я населення атмосферного повітря забрудненого теплоенергетичними об'єктами

Запропонований підхід передбачає використання фіксованих та індикативних вимірювань, змодельованих сценаріїв забруднення, ймовірнісну оцінку впливу та його наслідків для здоров'я населення, що дозволяє врахувати специфіку функціонування ТЕО 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 впливу ТЕО.

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 рази ($0,10 \div 2,68 \text{ мг/м}^3$), озону в 1,8 рази ($0,05 \div 0,29 \text{ мг/м}^3$), $\text{PM}_{2.5}$ в 1,5 рази ($5,8 \div 36,6 \text{ мкг/м}^3$), PM_{10} в 1,1 рази ($10,0 \div 53,4 \text{ мкг/м}^3$) – у населених пунктах Київської області; $\text{PM}_{2.5}$ – у 2,7 рази ($6,0 \div 69,0 \text{ мкг/м}^3$), PM_{10} – у 2,4 рази ($7,0 \div 118,0 \text{ мкг/м}^3$) та озону – у 1,4 рази ($0,19 \div 0,22 \text{ мкг/м}^3$) 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 PM_{10} – $33,0 \text{ мкг/м}^3$, $\text{PM}_{2.5}$ – $21,0 \text{ мкг/м}^3$ 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 PM_{10} – 54 дні, $\text{PM}_{2.5}$ – 95 днів (з них 79 днів в опалювальний період); при цьому максимальні концентрації PM_{10} у 2,4 рази перевищували граничні значення за Директивою 2008/50/ЄС, $\text{PM}_{2.5}$ у 2,7 рази за рекомендаціями ВООЗ. Це свідчить про превалюючий сезонний вплив $\text{PM}_{2.5}$ на населення.
3. Встановлено, на підставі порівняльного аналізу вмісту твердих часток пилу в атмосферному повітрі, співвідношення $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 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 $\text{PM}_{2.5}$ на основі методу лінійної регресії, окремо для опалювального сезону та міжопалювального періоду, що підвищує точність збігів розрахованих та вимірених 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 $\text{PM}_{2.5}$ у ПША в зоні впливу вугільної теплоелектростанції радіусом до 10 км від джерела забруднення підприємства з урахуванням розташування золовідвалів. Виявлено перевищення неканцерогенного ризику ($\text{HQ} \geq 1$), 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 мкг/м³ та 17,7 мкг/м³, PM_{10} на рівні – 33,47 мкг/м³ та 27,8 мкг/м³ 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 6,6 % 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.
 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 зі змін клімату.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ 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_{10} та $PM_{2.5}$)

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 (PM₁₀, PM_{2.5}) 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)*.

- наукові праці, які 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 (O₃) levels, correlation with the NO_x levels and the development of the monitoring network for O₃ // ISES, ISIAQ – 2019. SU-PO-14. P.41.

- в інших виданнях:

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 ($ЗЧ_{10}$ и $ЗЧ_{2.5}$) у Деснянському районі м. Києва // Гігієна населених місць: зб. наук. пр. Вип. 67. К., 2017. С. 31-37.

- патенти, інформаційні листи:

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.

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 за спеціальністю 14.02.01 – гігієна та професійна патологія. Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», Київ, 2021.

Дисертація присвячена поглибленню розуміння щодо небезпеки для здоров'я населення забруднення атмосферного повітря теплоенергетичними об'єктами та удосконаленню методичних підходів до їх гігієнічної оцінки.

На підставі комплексних досліджень отримано дані щодо формування рівнів хімічного забруднення (зокрема PM_{10} , $PM_{2.5}$ та озон) приземного шару атмосфери в зонах впливу теплоенергетичних об'єктів, 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} . Проведено кількісну оцінку впливу теплоенергетичних об'єктів, що працюють на вугіллі,

на здоров'я населення з використанням європейського програмного комплексу AirQ+. Запропоновано алгоритм кількісної оцінки впливу на здоров'я населення атмосферного повітря забрудненого теплоенергетичними об'єктами.

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

АННОТАЦИЯ

Маремухи Т.П. Гигиеническая оценка загрязнения атмосферного воздуха теплоэнергетическими объектами. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук по специальности 14.02.01 – гигиена и профессиональная патология. Государственное учреждение «Институт общественного здоровья им. А.Н. Марзеева НАМН Украины», Киев, 2021.

Диссертация посвящена углублению понимания опасности для здоровья населения загрязнения атмосферного воздуха теплоэнергетическими объектами и совершенствованию методических подходов их гигиенической оценки.

На основании комплексных исследований получены данные по формированию уровней химического загрязнения (в частности PM_{10} , $PM_{2.5}$ и озон) приземного слоя атмосферы в зонах влияния теплоэнергетических объектов, работающих на угле; определена ведущая роль PM_{10} и $PM_{2.5}$ как факторов риска для здоровья населения; научно обосновано применение корректирующих коэффициентов при расчетах среднесуточных концентраций $PM_{2.5}$ отдельно для отопительного сезона и межотопительного периода на территориях, где имеются данные о загрязнении атмосферного воздуха только для PM_{10} . Проведено количественную оценку влияния теплоэнергетических объектов, работающих на угле, на здоровье населения с использованием европейского программного комплекса AirQ+. Предложен алгоритм количественной оценки влияния на здоровье населения атмосферного воздуха, загрязненного теплоэнергетическими объектами.

Ключевые слова: теплоэнергетические объекты, атмосферный воздух, твердые частицы пыли, количественная оценка риска, здоровье населения, 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» – 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.

Based on the findings of ambient air sampling campaign, which was undertaken in the areas affected by coal-fired thermal power plants emissions, fine particulate matter pollution, was identified as the major public health risk factor (field work 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 $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio was computed, and scientific reasoning provided for the correction factors to be applied in the calculations of daily averaged $PM_{2.5}$ concentrations by means of multiple linear regression for two separate scenarios: heating and non-heating periods. Human health risk levels and probability of excess mortality from particulate matter exposure in adults with cardiovascular, respiratory diseases and acute bronchitis were estimated.

PM_{10} and $PM_{2.5}$ monitoring was conducted from June 1, 2017 till May 31, 2018. Pollution data was obtained from the stationary monitoring station, which is located in Kyiv city (50 Popudrenka str.). The station is equipped with APDA371 (HORIBA) analyzers which provide automatic continuous measurements of concentrations averaged over 1 hour period. Based on the obtained data, it was established that the concentrations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in Kyiv exceeded the maximum allowable limits proposed by the WHO and did not exceed the levels in European Union Council Directive 2008/50/EC.

Avaraged PM_{10} concentrations were $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, while for $PM_{2.5}$ slightly lower values were observed – $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 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). The mass concentration ratio of $PM_{2.5}$ to PM_{10} was 0.65 – the average annual value; 0.75 – in the heating period; 0.56 – in the non-heating period. The obtained results indicate the need to establish ambient air quality standards for PM_{10} and $PM_{2.5}$ in Ukraine and to include the fine particulate matter into the mandatory ambient air quality monitoring program.

In this study, we estimated human health impacts from long-term exposure to ambient $PM_{2.5}$ and PM_{10} through application the AirQ + software. 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 are attributed to the long-term exposure to $PM_{2.5}$ concentrations exceeding $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In addition, 776 (13.9 %) and 196 (8.3 %) new cases of bronchitis in adults in Kyiv and Kiev region, respectively attributed to PM_{10} .

Non cancer health risks (HQ) associated with TSP, PM_{10} , nitrogen dioxide, sulfur dioxide, carbon monoxide concentrations and individual risks of mortality (IRM) from PM_{10} were estimated for the area affected by the emissions from coal-fired thermal power plants. It was identified that non cancer risks from acute exposure to TSP (HQ_{acute} up to 1.5) and PM_{10} (HQ_{acute} up to 2.5) by inhalation were exceeding established reference level ($HQ \geq 1$). The results of individual risk of

mortality calculations from PM_{10} varied from 3.6×10^{-5} to 7.7×10^{-4} and such risks levels were defined as unacceptable for the population exposed.

The research outcomes 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.

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