

**ХАЦЕЙ АРСЕНІЙ**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0009-0006-9809-8932>e.mail: [xatsey12@gmail.com](mailto:xatsey12@gmail.com)**ТРУС ІННА**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-6368-6933>e-mail: [inna.trus.m@gmail.com](mailto:inna.trus.m@gmail.com)

## ДИНАМІКА ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В УКРАЇНІ ТА М. КИЄВІ У АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ВІД СТАЦІОНАРНИХ ТА ПЕРЕСУВНИХ ДЖЕРЕЛ ЗАБРУДНЕННЯ

В роботі встановлено, що забруднення атмосферного повітря є одним із найважливіших екологічних викликів сучасних міст. У роботі проаналізовано основні тенденції змін обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря України та м. Києва від стаціонарних та пересувних джерел забруднення. Розглянуто динаміку змін викидів. Пересувні джерела забруднення, зокрема автомобільний транспорт є основними факторами деградації якості повітря у великих містах, включаючи Київ. Частка автотранспорту за останні 10 р. у загальних викидах забруднюючих речовин у м. Києві становить понад 77,6-90,3 %. Основні забруднювачі, такі як оксиди азоту, дрібнодисперсні частки (PM10, PM2.5) та вуглекислий газ, спричиняють серйозні проблеми для здоров'я населення та екосистем. Динаміка забруднення атмосферного повітря в м. Києві є критично важливим питанням у контексті сталого розвитку міста.

**Ключові слова:** екологічна безпека, автотранспорт, атмосферне повітря, пересувні джерела забруднення, перехоплюючі парковки, забруднювачі, моніторинг.

**KHATSEI ARSENI****TRUS INNA**

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institut

## DYNAMICS OF POLLUTANT EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERIC AIR IN KYIV FROM MOBILE SOURCES OF POLLUTION

The study establishes that air pollution is one of the most significant environmental challenges for modern cities. Mobile pollution sources (automobile transport) are the primary factors degrading air quality in large cities, including Kyiv. According to the State Statistics Service of Ukraine (2023), the share of road transport in total pollutant emissions in Kyiv exceeds 85%. Major pollutants, such as nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), fine particulate matter (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>), and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), pose serious health risks to the population and ecosystems. This study analyzes the key trends in changes in pollutant emissions into Kyiv's atmospheric air from mobile sources. The dynamics of emission changes are examined. The findings reveal an increase in NO<sub>x</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations in densely populated districts with high traffic loads, especially during peak hours. Despite the introduction of stricter environmental norms for vehicles, the overall volume of emissions has not significantly decreased due to the growing number of private cars and insufficient implementation of eco-friendly transport policies. Additionally, air quality monitoring data indicate seasonal fluctuations in pollution levels, with the highest concentrations recorded during the winter months due to temperature inversions and reduced atmospheric dispersion. The dynamics of air pollution in Kyiv are critically important in the context of the city's sustainable development. Within the framework of the European Green Deal and Ukraine's integration into EU environmental standards, studying pollution trends and sources is essential for developing effective emission reduction measures. However, domestic statistics and monitoring methodologies often do not meet modern requirements, creating gaps in air quality management. In the context of Kyiv, the increasing number of cars per capita (a 20% rise over the past 10 years) further underscores the relevance of studying this issue. Recommendations have been proposed to reduce emissions by optimizing transport infrastructure, developing public transportation, introducing electric vehicles, and utilizing alternative fuel sources. The findings of this study may be useful for shaping the city's environmental policy and improving air quality in Kyiv.

**Keywords:** ecological safety, automobile transport, atmospheric air, mobile sources of pollution, park-and-ride facilities, pollutants, monitoring.

Стаття надійшла до редакції / Received 04.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 20.04.2025

### Постановка проблеми

Нині є нагальним питання охорони довкілля, оскільки спостерігається інтенсивне забруднення навколишнього природного середовища, зокрема атмосферного повітря, що становить небезпеку для здоров'я населення. Найбільшим чинником забруднення атмосферного повітря в м. Києві є автомобільний транспорт. Основними екологічними проблемами автомобільного транспорту у мегаполісах, зокрема м. Києві, є: викиди забруднюючих речовин в довкілля (вихлопні гази, що утворюються при згоранні палива, картерні гази, утворені сумішшю палива з парами мастильних матеріалів та випарами палива з карбюраторів, паливних баків і систем живлення двигуна, а також шумове забруднення, що має негативний вплив на здоров'я людей. Київ як один із найбільших мегаполісів України стикається зі значним погіршенням якості повітря через пересувні джерела забруднення. Варто відмітити, що викиди автомобільного транспорту також є джерелом вторинного забруднення довкілля – поверхневих водойм та ґрунтів. Відсутність систематичних досліджень особливостей таких забруднень обмежує можливості впровадження ефективних екологічних заходів.

### Аналіз останніх джерел

Проблема забруднення атмосферного повітря від пересувних джерел є однією з найбільш досліджуваних у сучасній екологічній науці. Останнім часом спостерігається збільшення кількості автомобілів, що очевидно призведе до підвищення рівня забруднення. Значна частина літератури присвячена вивченню впливу автотранспорту на якість повітря та пошуку рішень для мінімізації цього впливу.

Автор роботи [1] розробив математичну модель, яка дозволяє прогнозувати рівень забруднення на основі таких параметрів, як швидкість руху транспорту, інтенсивність потоків та час затримок на світлофорах. Зокрема, дослідження показує, що на ділянках із високою інтенсивністю руху та частими зупинками концентрація шкідливих речовин, таких як CO і NO<sub>x</sub>, значно перевищує допустимі норми. Результати моделювання були протестовані на прикладі центральних вулиць Києва, таких як Хрещатик та проспект Перемоги. Було встановлено, що оптимізація руху транспорту, зокрема збільшення середньої швидкості руху та зменшення кількості зупинок, може знизити рівень забруднення на 20-25%.

В роботі [2] проаналізовано взаємозв'язок між погодними умовами та рівнем забруднення повітря формальдегідом. Дослідження показало, що метеорологічні фактори, такі як температура, вологість і швидкість вітру, суттєво впливають на концентрацію шкідливих речовин в атмосфері. Підвищення температури сприяє активізації фотохімічних реакцій, що призводить до утворення вторинних забруднювачів, таких як формальдегід. Автори провели аналіз даних із моніторингових станцій Києва за період 2015-2018 років, і з'ясували, що в літні місяці концентрація формальдегіду збільшується на 30-40 % порівняно із зимовим періодом. Найвищі рівні забруднення були зафіксовані у районах із щільним транспортним рухом і недостатньою вентиляцією повітря, таких як Поділ та Лук'янівка. Метеорологічні умови суттєво впливають на рівень забруднення повітря в Києві. Врахування цих факторів при плануванні заходів зі зниження забруднення є необхідним для досягнення ефективних результатів.

В роботі [3] проаналізовано рівень забруднення повітря у центральних районах столиці. Дослідники зосередилися на вимірюванні концентрацій оксидів азоту (NO<sub>x</sub>), вуглецю (CO) та дрібнодисперсних часток (PM<sub>2.5</sub>) у районах з високою щільністю населення, таких як Оболонь, Солом'янка та Дарниця. Результати дослідження показали, що рівень забруднення у цих районах перевищує допустимі норми в середньому на 35-50 %. Особливу небезпеку становлять дрібнодисперсні частки PM<sub>2.5</sub>, які можуть проникати глибоко в легені, спричиняючи респіраторні захворювання. Автори також відзначили вплив щільної забудови на накопичення забруднювачів, оскільки вузькі вулиці з високими будівлями створюють ефект "міських каньйонів", де забруднення затримується довше.

Автомобільні викиди мають найбільший вплив на густонаселені райони Києва, де поєднуються висока інтенсивність руху і обмежена циркуляція повітря. В роботі [4] проаналізовано вплив різних режимів руху автотранспорту на рівень викидів забруднюючих речовин. Дослідження включало аналіз трьох типів руху: постійного руху без зупинок, руху з частими зупинками (наприклад, на світлофорах) та руху в умовах заторів. Встановлено, що найвищий рівень забруднення спостерігається під час руху в умовах заторів, коли транспортні засоби працюють на холостому ходу. Такі умови сприяють накопиченню оксидів азоту та вуглецю в придорожньому середовищі. Натомість при постійному русі з середньою швидкістю 40-50 км/год рівень викидів знижується на 20-30 %.

Зменшення кількості заторів та оптимізація роботи світлофорів можуть суттєво знизити рівень забруднення повітря у Києві. Важливою складовою є також розвиток інфраструктури для громадського транспорту. В роботі [5] проаналізовано концентрації формальдегіду в атмосфері Києва, з особливим акцентом на вплив автотранспорту. Формальдегід є вторинним забруднювачем, що утворюється внаслідок фотохімічних реакцій між викидами автотранспорту та атмосферним киснем. Дослідження показало, що найвищі концентрації формальдегіду спостерігаються в районах з високою інтенсивністю руху, таких як центр Києва та проспект Перемоги. Автори виявили, що рівень формальдегіду в літні місяці підвищується на 40 % через активізацію фотохімічних процесів.

Зменшення викидів основних забруднювачів автотранспорту, таких як вуглецеві сполуки, може суттєво знизити утворення вторинних забруднювачів, таких як формальдегід. Необхідно також враховувати сезонні фактори при розробці екологічної політики.

В роботі [6] проаналізовано ефективність застосування європейських стандартів моніторингу якості повітря в умовах столиці України. Автори досліджували використання системи THOR-AIR-PAS, яка дозволяє проводити точний моніторинг концентрацій забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), дрібнодисперсні частки (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) та інші сполуки. У роботі наведено результати експериментального використання цієї системи на найбільш завантажених транспортних вузлах Києва, таких як Бессарабська площа, проспект Перемоги та Поштова площа. Згідно з отриманими даними, система дозволила точно виявити "гарячі точки" з надмірним рівнем забруднення повітря, що значно полегшило розробку рекомендацій для зниження викидів.

В роботі [7] проаналізовано масштаби забруднення повітря автотранспортом у столиці. Автори дослідили, що викиди від транспорту становлять понад 85 % від загальної кількості забруднюючих

речовин у Києві. Було проведено комплексну оцінку основних забруднювачів, таких як оксиди азоту, вуглекислий газ і дрібнодисперсні частки. Дослідження підкреслює важливість інтеграції екологічних стандартів у міську політику управління транспортною інфраструктурою. Зокрема, автори рекомендують впровадження зон із обмеженим рухом для приватного транспорту, розвиток громадського транспорту та стимулювання використання електромобілів.

В роботі [8] проаналізовано специфіку забруднення повітря в умовах високої урбанізації. Автори дослідили вплив густої забудови, транспортних вузлів та обмеженої вентиляції міських районів на накопичення забруднюючих речовин. Результати показали, що в районах із щільною забудовою, таких як Подільський та Шевченківський райони, концентрації оксидів азоту та дрібнодисперсних часток перевищують допустимі норми на 40-50%. Автори наголошують на важливості врахування урбаністичних особливостей при плануванні транспортної інфраструктури.

Урбаністичні фактори, такі як щільність забудови та транспортні вузли, суттєво впливають на рівень забруднення повітря. Оптимізація міського планування може допомогти зменшити цей вплив. В роботі [9] проаналізовано вплив викидів автотранспорту на здоров'я населення Києва. Дослідження показало прямий зв'язок між високими концентраціями забруднюючих речовин та підвищеним рівнем захворювань серед мешканців міста. Автори особливо акцентували увагу на впливі дрібнодисперсних часток (PM<sub>2.5</sub>), які здатні проникати в дихальні шляхи та спричиняти хронічні захворювання легень, бронхіти та навіть серцево-судинні захворювання. Було встановлено, що ризик розвитку респіраторних захворювань у мешканців районів із високою інтенсивністю руху збільшується на 30-40 %.

Забруднення повітря автотранспортом становить серйозну загрозу для здоров'я населення Києва. Зниження рівня викидів є критично важливим для забезпечення безпеки та добробуту мешканців. В роботі [10] проаналізовано основні причини забруднення повітря в столиці та запропоновано ефективні шляхи вирішення цієї проблеми. Автори підкреслюють, що автотранспорт є основним джерелом викидів шкідливих речовин, таких як оксиди азоту, вуглекислий газ та дрібнодисперсні частки. Рекомендації включають розвиток громадського транспорту, створення перехоплюючих парковок на в'їздах до міста, а також стимулювання переходу на електромобілі. Автори також пропонують впровадження екологічних зон у центральних районах міста з обмеженням руху для автомобілів із високим рівнем викидів.

Комплексний підхід до управління транспортною інфраструктурою, що включає розвиток громадського транспорту та перехід на екологічно чисті види транспорту, є ключовим для зниження рівня забруднення повітря в Києві.

**Метою роботи є:** дослідження особливостей забруднення атмосферного повітря м. Києва пересувними джерелами, визначення ключових джерел забруднення та розробка рекомендацій для поліпшення екологічної ситуації.

#### Виклад основного матеріалу

Концентрація великої кількості транспортних засобів на порівняно обмеженій території міст істотно впливає на стан забруднення атмосферного повітря і у певних умовах це призводить до домінуючого впливу транспорту на довкілля. Інтенсивне зростання кількості та зміни швидкості руху транспортних засобів в містах України за останні роки призвело до виникнення серйозних небезпек: зростання екологічних проблем щодо якості атмосферного повітря внаслідок шкідливого впливу викидів автомобільного транспорту, погіршення стану здоров'я мешканців від забруднення міського середовища, особливо у містах з вузькими вулицями та старою забудовою; використанню невідповідних джерел енергії (органічного палива); застосування застарілого автотранспорту із значним ступенем амортизації тощо, що призводить до економічних та екологічних втрат. Збільшення концентрацій шкідливих викидів на перехрестях відбувається завдяки різкому викиду відпрацьованих газів автомобілів при нестационарній роботі двигуна в режимах гальмування/розгону та зупинках біля світлофору.

Антропогенне і техногенне навантаження на атмосферне повітря в Україні у кілька разів перевищує відповідні показники у розвинутих країнах світу.

Статистичні дані щодо обсягів викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря отримано з таких документів: «Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні», «Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища міста Києва», «Екологічний паспорт міста Києва».

Ці документи містять важливу інформацію для аналізу рівня забруднення повітря, зокрема показники, які використовуються для розрахунку індексу забруднення атмосфери (ІЗА).

ІЗА – це інтегральний показник, що відображає рівень забруднення повітря у певній місцевості. Він враховує ступінь забруднення атмосферного повітря по п'яти пріоритетних забруднювальних домішках та розраховується на основі концентрацій цих забруднюючих речовин (зважені частинки, діоксид сірки, оксиди азоту, чадний газ тощо). ІЗА допомагає оцінити екологічний стан повітряного середовища та його вплив на здоров'я населення. Чим вищий індекс, тим сильніше забруднення та гірша якість повітря. За загальноприйнятими екологічними нормами рівень забруднення можна поділити на такі категорії: низьке забруднення ( $ІЗА < 5$ ), підвищене забруднення ( $5 \leq ІЗА < 7$ ), високе забруднення ( $7 \leq ІЗА < 10$ ), дуже високе забруднення ( $ІЗА \geq 10$ ).

Дані, наведені на рис.1 свідчать про динаміку індексу забруднення атмосфери в Києві та загалом по Україні з 1991 року.

У Києві в 1991 р. індекс складав 24, що вказує на дуже високе забруднення. У 1990-х роках він різко знизився і в 1994 році досяг 9,8. З 2000-х років значення стабілізувалися на рівні 6–10, що вказує на високе або підвищене забруднення, лише в 2018 р. ІЗА становив 10,3, що свідчить про дуже високе забруднення. З 2022 р. ІЗА перебуває у межах 7,6–7,7, що свідчить про відносно стабільне високе забруднення в місті.

У 1991 р. в Україні загалом індекс був навіть вищий (27,0), ніж у Києві (23,6), що свідчить про критичний стан забруднення. Протягом 1990-х спостерігалось різке покращення – у 1994 р. ІЗА знизився до 13,3, а починаючи з 2002 р. роках опустився до значень 8,1–8,9. Починаючи з 2010-х років, рівень забруднення поступово зменшувався і в останні роки (2020–2023 рр.) ІЗА коливається між 6,5–7,1, що відповідає підвищеному забрудненню.

У Києві індекс забруднення повітря знизився з 24,0 у 1991 році до 7,7 у 2022 році. По Україні зниження було ще більш помітним – з 27,0 у 1992 році до 6,6 у 2022 році. У Києві різке зменшення відбулося між 1991 та 1994 роками (з 24 до 9,8). По Україні також спостерігається значне падіння, особливо у 1994 році (13,3), після чого індекс коливався в межах 6,5-14,8. У Києві після 2000 року значення залишалися в межах 6,0-10,3, без різких змін. В Україні після 2000 року індекс коливався між 6,5 і 10,5, свідчаючи про певну стабільність. Проте спостерігаються сплески в окремі роки, зокрема у Києві було незначне зростання у 1996, 2003 і 2018 роках, по Україні піки помітні у 1996, 1999 та незначний у 2019 роках.

Очевидно, що у 1990-х роках спостерігалось різке покращення якості повітря, що могло бути пов'язано з економічним спадом та зменшенням промислових викидів. В останні 20 років ситуація стабілізувалася, хоча залишаються коливання. Київ демонструє більш значні перепади у порівнянні із загальноукраїнським показником, що може бути пов'язано з впливом транспорту, що є основним забруднювачем повітря в мегаполісах, та локальних факторів.

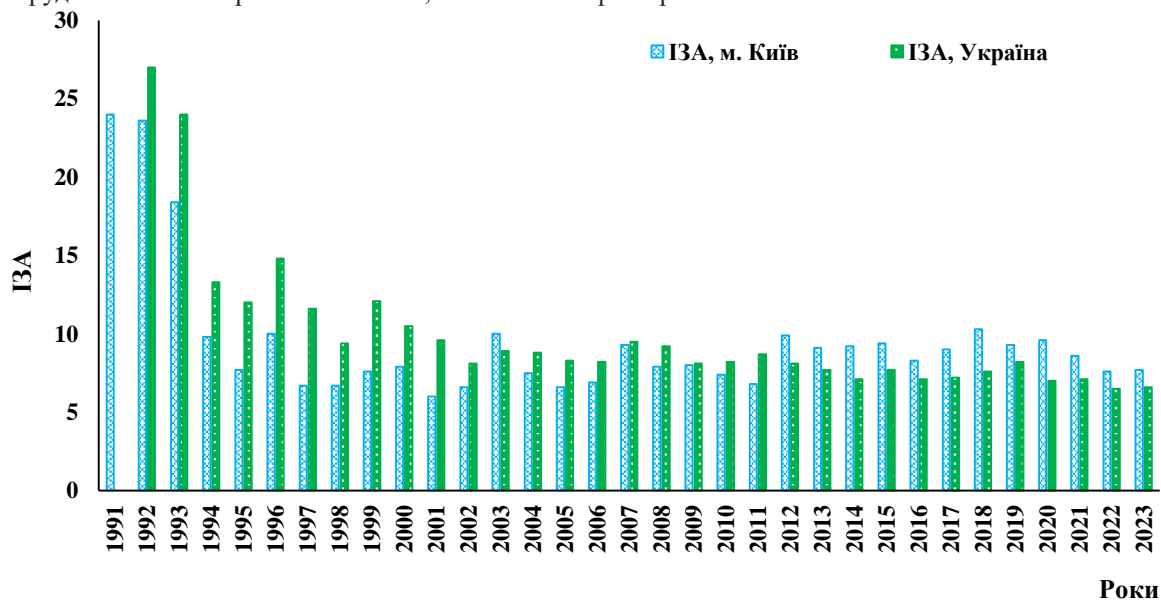


Рис. 1. Значення індексу забруднення атмосфери з моменту Незалежності України по 2023 рік (складено авторами за матеріалами [11, 12])

Отже, м. Київ має вищий рівень забруднення, ніж середній показник по Україні, проте ситуація поступово покращується. Останнім часом Київ та Україна мають підвищений або високий рівень забруднення, хоча критичних показників уже немає. Ці дані важливі для розуміння впливу екологічних заходів, промислової політики та урбаністичного розвитку на стан атмосферного повітря.

Рисунок 2 ілюструє зміну загального обсягу викидів забруднюючих речовин в Україні за період 1991-2021 рр. З 1991 року обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря України зазнали значних змін як від стаціонарних, так і від пересувних джерел. Варто зазначити, що дані після 2014 року не враховують тимчасово окуповані території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини Донецької і Луганської областей, а дані починаючи з 2020 р. можуть бути неповними через вплив військових дій та обмежену звітність.

У 1991 р. стаціонарні джерела викинули приблизно 8,8 млн тонн забруднюючих речовин. До 2019 року цей показник зменшився до 2,5 млн тонн, що свідчить про суттєве скорочення викидів. Основними факторами цього зниження є спад промислового виробництва, впровадження сучасних технологій та екологічних стандартів.

У 1991 р. пересувні джерела, переважно автомобільний транспорт, викинули близько 5,5 млн тонн забруднюючих речовин. До 2019 року цей показник зменшився до 1,7 млн тонн. Зменшення

викидів від пересувних джерел пов'язане з оновленням автопарку, впровадженням екологічних стандартів для транспортних засобів та покращенням якості палива.

Отже, загальний обсяг викидів забруднюючих речовин в Україні зменшився з 14,3 млн тонн у 1991 р. до 3,7-4,2 млн тонн у 2017-2020 рр. Це свідчить про позитивну динаміку в зниженні забруднення атмосферного повітря. Однак, незважаючи на загальне зменшення, автотранспорт залишається одним з основних джерел забруднення, особливо у великих містах, зокрема м. Києві.

Тенденція зниження викидів від пересувних джерел, зокрема автотранспорту, може бути пов'язана з впровадженням нових екологічних стандартів, покращенням якості пального та зниженням загального обсягу використання транспорту, особливо після економічних криз та пандемії COVID-19.

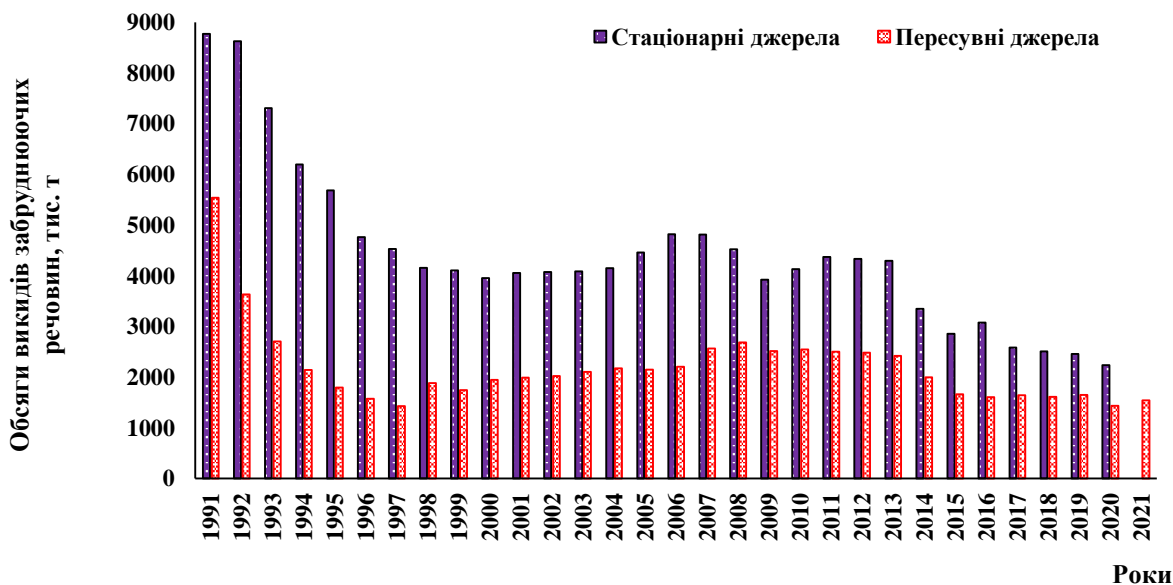


Рис. 2. Динаміка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря України від стаціонарних та пересувних джерел з моменту Незалежності України по 2021 рік (складено авторами за матеріалами [11, 12, 13])

Рисунок 3 деталізує зміни викидів у м. Києві з 1991 по 2023 рік. З 1991 року обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря м. Києва зазнали значних змін, зокрема через розвиток транспорту та промисловості.

У 1991 р. стаціонарні джерела викидали значні обсяги забруднюючих речовин – 64,3 тис. тонн. Протягом наступних десятиліть спостерігалось загальне зменшення обсягів викидів від цих джерел. Зокрема, у період з 2018 р. обсяги викидів від стаціонарних джерел зменшились до 11,3-38,8.

Автотранспорт є основним джерелом забруднення повітря в м. Києві. Станом на 2019-2021 рр. 82,9-90,3 % забруднення атмосферного повітря міста спричинено викидами від пересувних джерел, переважно автомобільного транспорту. Протягом 2018-2021 рр. спостерігалось зростання обсягів викидів від пересувних джерел.

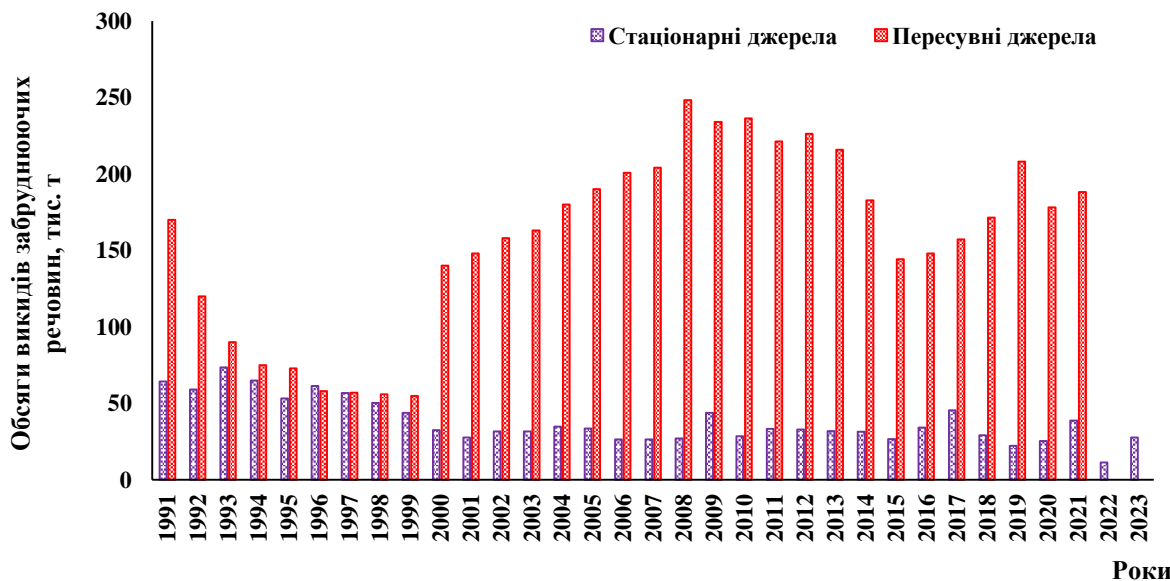


Рис. 3. Динаміка викидів забруднюючих речовин і парникових газів в атмосферне повітря Києва від стаціонарних та пересувних джерел з моменту Незалежності України по 2023 рік (складено авторами за матеріалами [13, 14])

Отже, подібно до попередніх даних, видно загальне зниження викидів, але із неоднорідними коливаннями в окремі роки. Наприклад, після різкого падіння у 2014–2015 рр., пов'язаного з політичними та економічними змінами, спостерігається стабілізація викидів на рівні 200 тис. тонн з незначними відхиленнями.

Таким чином, хоча викиди від стаціонарних джерел у м. Києві зменшуються, зростання кількості автотранспорту призводить до збільшення викидів від пересувних джерел, що негативно впливає на якість повітря в місті. Ці дані вказують на те, що навіть незважаючи на позитивні зрушення у зменшенні загальних викидів, пересувні джерела залишаються стійким фактором забруднення, що підкреслює необхідність більш жорстких екологічних заходів.

Рисунок 4 відображає структуру викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел за період 2016–2021 рр. Домінуючим забруднювачем протягом усього періоду залишається оксид вуглецю, частка якого перевищує 70 % від загального обсягу викидів. Найвищий рівень викидів спостерігався у 2017 році – 1645,746 тис. тонн. У 2017 і 2019 рр. спостерігаємо найвищі показники викидів, що може бути пов'язано з інтенсивністю транспортного руху та економічними чинниками. Найменші обсяги викидів зафіксовано у 2020 році – 1436,729 тис. тонн, що може бути пов'язано із зменшенням транспортної активності через пандемію COVID-19. У 2021 році викиди зросли до 1546,775 тис. тонн, однак не досягли рівнів, зафіксованих у 2017–2019 роках. Отже, після незначного зменшення загального обсягу викидів, яке спостерігалось у 2020 р., ймовірно, через карантинні обмеження, вже у 2021 р. рівень викидів знову зріс, тому питання зменшення забруднення потребує довгострокових рішень.

Основними забруднювачами в розглянутий період часу є оксид вуглецю, діоксид азоту та неметанові леткі органічні сполуки, які мають суттєву частку у загальному обсязі забруднень. Інші забруднювачі, такі як метан, оксид азоту, діоксид сірки, сажа та аміак, мають значно меншу частку у загальних викидах.

Загальний обсяг викидів у 2021 р. склав 1546,775 тис. тонн. Найбільшу частку викидів становить оксид вуглецю – 1164,873 тис. тонн, що становить понад 75% від загальної кількості. Це свідчить про домінування автомобільного транспорту як основного джерела забруднення. Інші значущі забруднювачі включають діоксид азоту – 174,420 тис. тонн та неметанові леткі органічні сполуки – 155,079 тис. тонн, сажа – 26,6098 тис. тонн, діоксид сірки – 19,6433 тис. тонн, метан – 5,2465 тис. тонн, оксид азоту – 0,8958 тис. тонн, аміак – 0,0078 тис. тонн. Діоксид азоту, неметанові органічні сполуки та дрібнодисперсні частки залишаються стабільно високими, що свідчить про необхідність контролю не лише викидів CO, але і більш токсичних компонентів, що мають прямиий вплив на здоров'я населення.

Ці показники підтверджують значний вплив автотранспорту на якість повітря, що вимагає термінових заходів для зниження викидів через розвиток електротранспорту та модернізацію існуючих транспортних засобів.

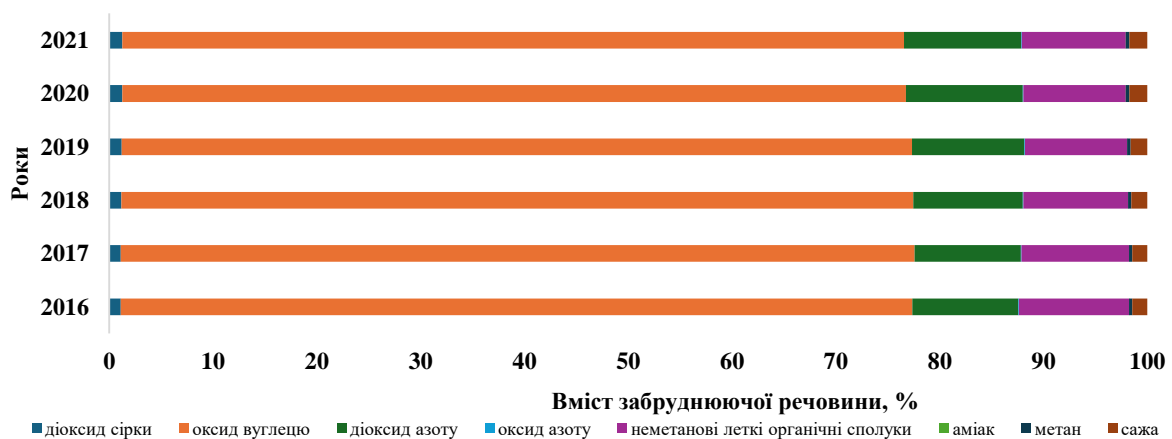


Рис. 4. Відсотковий розподіл викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря України від пересувних джерел (складено авторами за матеріалами [11, 12, 13])

У контексті забруднення атмосферного повітря Україна взяла на себе зобов'язання відповідно до Цілей сталого розвитку (ЦСР), затверджених ООН. Особливу увагу приділяють екологічним цілям, які прямо або опосередковано стосуються зниження викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел.

1. ЦСР 3 – Гарантування здорового способу життя і сприяння добробуту для всіх у будь-якому віці

Забруднення повітря, особливо викиди від автотранспорту, суттєво впливають на здоров'я населення. Високі концентрації дрібнодисперсних часток (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), оксидів азоту (NO<sub>x</sub>) та вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) підвищують ризики розвитку респіраторних та серцево-судинних

захворювань. Згідно з даними ВООЗ, до 15 % нових випадків бронхіальної астми можуть бути пов'язані із забрудненням повітря в міських умовах.

## 2. ЦСР 11 – Забезпечення відкритості, безпеки, стійкості та екологічної сталості міст

Київ, як одне з найбільших міст України, має відповідати екологічним стандартам сталого розвитку. Це включає розвиток екологічно чистого транспорту, оптимізацію міської інфраструктури та зниження рівня викидів від автотранспорту. Створення перехоплюючих парковок, розвиток громадського транспорту і впровадження зон з обмеженим рухом транспорту відповідає цілям зменшення негативного впливу транспорту на міське середовище.

## 3. ЦСР 13 – Вжиття невідкладних заходів для боротьби зі зміною клімату та її наслідками

Викиди від пересувних джерел є одним із основних джерел парникових газів, зокрема CO<sub>2</sub>. Україна зобов'язалася скоротити свої викиди відповідно до Паризької кліматичної угоди, і зменшення транспортного забруднення є ключовим аспектом досягнення цієї мети.

Відповідність заходів щодо покращення якості повітря європейським стандартам. Інтеграція України до Європейського Союзу передбачає гармонізацію екологічної політики з нормами ЄС. Директива 2008/50/ЄС щодо якості атмосферного повітря та чистішого повітря для Європи встановлює нормативи для концентрацій забруднюючих речовин, зокрема NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> і PM<sub>2.5</sub>.

Отже, впровадження таких заходів дозволить Україні поступово досягати поставлених цілей у сфері екологічної безпеки та сталого розвитку:

- Перехід на електротранспорт та розвиток інфраструктури для електромобілів (відповідно до директив ЄС щодо екологічного транспорту) можуть зменшити викиди оксидів азоту (NO<sub>x</sub>) на 40-60 %.
- Дослідження зелених зон уздовж магістралей показали їх деградацію через вплив забруднення, що вимагає відновлення та розширення зелених насаджень у місті.
- Запровадження систем моніторингу якості повітря відповідно до європейських стандартів.
- Модернізація громадського транспорту з використанням альтернативних джерел енергії є ефективними заходами для зменшення викидів від приватного транспорту.
- Впровадження перехоплюючих парковок на в'їздах до міста. Використання технологій «розумного міста» та IoT-систем управління паркуванням може суттєво знизити рівень забруднення, оптимізуючи транспортні потоки та зменшуючи кількість автомобілів у центрі міста.

## Висновки

Проведено комплексний аналіз забруднення атмосферного повітря в Україні та м. Києві від стаціонарних та пересувних джерел забруднення, зокрема автотранспорту.

Визначено динаміку змін викидів забруднюючих речовин у м. Києві за останні 10 років, із акцентом на вплив соціально-економічних чинників, таких як пандемія COVID-19 та впровадження екологічних стандартів. Встановлено основні джерела забруднення атмосферного повітря в м. Києві, серед яких домінуючу роль відіграють пересувні джерела, зокрема автомобільний транспорт. Пересувні джерела забруднення за останнє десятиліття становлять понад 77,6-90,3 % від загального обсягу викидів у м. Києві, що робить транспорт головним фактором погіршення якості повітря.

Характер забруднення, включаючи основні шкідливі речовини: оксид вуглецю, діоксид азоту, дрібнодисперсні частки (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) та неметанові леткі органічні сполуки. Оксид вуглецю є найпоширенішою забруднюючою речовиною, його викиди становлять понад 75,3 – 76,4 % від загального обсягу пересувних джерел, що вказує на домінування автомобільного транспорту з двигунами внутрішнього згоряння.

Отримані результати підкреслюють необхідність впровадження комплексної стратегії для зменшення транспортного забруднення в м. Києві, яка включає перехід на екологічний транспорт, удосконалення моніторингу якості повітря, управління паркуванням та розвиток міської інфраструктури згідно із цілями сталого розвитку України до 2030 року.

## Література

1. Самойленко Є.С. Моделювання рівня забруднення міст шляхом управління параметрами транспортного потоку / Є.С. Самойленко // Вісник Національного транспортного університету. – 2015. – № 53. – Р. 322-328.
2. Клімова І. Вплив метеорологічних факторів на вторинне забруднення атмосферного повітря формальдегідом (на прикладі м. Києва) / І. Клімова, Р. Сіпаків // Наукові праці екологічного напрямку. – 2019. – № 4(2). – Р. 133-139.
3. Архіпова Г.І. Аналіз впливу відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосферного повітря в густонаселених районах / Г.І. Архіпова, І.С. Ткачук, Є.І. Глушков // Екологічний журнал України. – 2011. – № 7(3). – Р. 45-52.
4. Матейчик В.П. Дослідження впливу режимів руху транспортного потоку на рівень забруднення придорожного середовища / В.П. Матейчик, О.К. Гришук, Г.О. Вайганг, О.В. Блажчук // Вісник Національного транспортного університету. – 2015. – № 2. – Р. 26-33

5. Шевченко О.Г. Рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва формальдегідом / О.Г. Шевченко, М.І. Кульбіда, С.І. Сніжко, Л.С. Щербуха, Н.О. Данілова // Український гідрометеорологічний журнал. – 2014. – № 14. – Р. 32-39.
6. Клименко О.А. Управління якістю атмосферного повітря за допомогою європейської системи THOR-AIR-PAS / О.А. Клименко, С.М. Тарабан // Автошляховик України. – 2015. – № 3. – Р. 15-20.
7. Бакуліч О.О. Оцінка забруднення атмосфери міст автомобільним транспортом у проектах управління екологічним станом мегаполісу / О.О. Бакуліч, Є.С. Самойленко // Проблеми інноваційно-інвестиційного розвитку. – 2021. – № 26. – Р. 98-104.
8. Єременко О.І. Особливості забруднення атмосфери автотранспортом в урбанізованому середовищі / О.І. Єременко, Т.О. Зубок, М.В. Несукай // Збірник тез доповідей наукової конференції НУБіП. – 2022. – Р. 68-72.
9. Волошкіна О.С. Оцінка ризику для здоров'я населення від викидів автомобільного транспорту у м. Києві / О.С. Волошкіна, Р.В. Сіпаков, Ю.О. Березницька, І.В. Клімова // Екологічна безпека. – 2018. – № 1. – Р. 45-52.
10. Ткачук Л.В. Проблема забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом та шляхи її вирішення / Л.В. Ткачук, В.І. Бореико // Науковий вісник Сумського державного університету. – 2009. – № 5(1). – Р. 122-128.
11. Національні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні. [Електронний ресурс]. Доступно на: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoring/natsionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-prirodnoho-seredovyshha-v-ukrayini/> Дата доступу: 29.03.2025 р.
12. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні [Електронний ресурс]. Доступно на: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoring/regionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-seredovyshha-v-ukrayini/> Дата доступу: 29.03.2025 р.
13. Банк даних на сайті держстату [Електронний ресурс]. Доступно на: ([https://stat.gov.ua/uk/explorer?urn=SSSU:DF POLLUTANTS GASES EMISSIONS\(12.0.0\)](https://stat.gov.ua/uk/explorer?urn=SSSU:DF POLLUTANTS GASES EMISSIONS(12.0.0))) Дата доступу: 29.03.2025 р.
14. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища міста Києва [Електронний ресурс]. Доступно на: <https://ecodep.kyivcity.gov.ua/ekologichnyi-pasport-ta-rehionalna-dopovid/rehionalna-dopovid> Дата доступу: 29.03.2025 р.

#### References

1. Samoilenko Ye.S. Modeling the level of urban pollution by controlling the parameters of the traffic flow / Ye.S. Samoilenko // Visnyk National Transport University. – 2015. – № 53. – Р. 322-328.
2. Klimova I. R. Influence of meteorological factors on the secondary contamination of atmospheric air by formaldehyde (on example of city of Kyiv) / I. Klimova, R. Sipakov // Naukovi pratsi ekologichnoho napriamku. – 2019. – № 4(2). – Р. 133-139.
3. Arkhipova H.I. Analiz vplyvu vidpratsovanykh avtomobilnykh haziv na stan atmosfernoho povitria v hustonaselenykh raionakh / H.I. Arkhipova, I.S. Tkachuk, Ye.I. Hlushkov // Ekologichnyi zhurnal Ukrainy. – 2011. – № 7(3). – Р. 45-52.
4. Mateichyk V.P. Research of traffic flow operational modes impact on the level of roadside pollution / V.P. Mateichyk, O.K. Gryshchuk, G.O. Weigang, O.V. Blazhchuk // Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. – 2015. – № 2. – Р. 26-33
5. Shevchenko O.H. Formaldehyde concentrations in ambient air in Kyiv city/ O.H. Shevchenko, M.I. Kulbida, S.I. Snizhko, L.S. Shcherbukha, N.O. Danilova // Ukrainyskyi hidrometeorologichnyi zhurnal. – 2014. – № 14. – Р. 32-39.
6. Klymenko O.A. Upravlinnia yakistiu atmosfernoho povitria za dopomohou yevropeiskoi systemy THOR-AIR-PAS / O.A. Klymenko, S.M. Taraban // Avtoshliakhovyk Ukrainy. – 2015. – № 3. – Р. 15-20.
7. Bakulich O.O. Assessment of air pollution in cities by road transport in projects for managing the metropolis ecological state / O.O. Bakulich, Ye.S. Samoilenko // Problemy innovatsiino-investytsiinoho rozvytku. – 2021. – № 26. – Р. 98-104.
8. Ieremenko O.I. Osoblyvosti zabrudnennia atmosfery avtotransportom v urbanizovanomu seredovyshchi / O.I. Yeremenko, T.O. Zubok, M.V. Nesukai // Zbirnyk tez dopovidei naukovi konferentsii NUBiP. – 2022. – Р. 68-72.
9. Voloshkina O.S. Otsinka ryzkyu dlia zdorovia naselennia vid vykydiv avtomobilnoho transportu u m. Kyievi / O.S. Voloshkina, R.V. Sipakov, Yu.O. Bereznytska, I.V. Klimova // Ekologichna bezpeka. – 2018. – № 1. – Р. 45-52.
10. Tkachuk L.V. Problema zabrudnennia atmosfernoho povitria avtomobilnym transportom ta shliakhy yii vyrishennia / L.V. Tkachuk, V.I. Boreiko // Naukovyi visnyk Sumskoho derzhavnoho universytetu. – 2009. – № 5(1). – Р. 122-128.
11. Natsionalni dopovidi pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ukraini. [Electronic resource]. Available at : <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoring/natsionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-prirodnoho-seredovyshha-v-ukrayini/> Access date: 29.03.2025 r.
12. Rehionalni dopovidi pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ukraini [Electronic resource]. Available at: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoring/regionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-seredovyshha-v-ukrayini/> Access date: 29.03.2025 r.
13. Database on the State Statistics Service website [Electronic resource]. Available at: ([https://stat.gov.ua/uk/explorer?urn=SSSU:DF POLLUTANTS GASES EMISSIONS\(12.0.0\)](https://stat.gov.ua/uk/explorer?urn=SSSU:DF POLLUTANTS GASES EMISSIONS(12.0.0))) Access date: 29.03.2025 r.
14. Rehionalni dopovidi pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha mista Kyieva [Electronic resource]. Available at: <https://ecodep.kyivcity.gov.ua/ekologichnyi-pasport-ta-rehionalna-dopovid/rehionalna-dopovid> Access date: 29.03.2025 r.