

Київський національний університет будівництва і архітектури
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГОНЧАРЕНКО АРТЕМ ВАДИМОВИЧ

УДК 504.064.2

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОДИКА ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ НА ОСНОВІ
ВИЗНАЧЕННЯ КЛІМАТИЧНИХ РИЗИКІВ В БУДІВНИЦТВІ**

101 – Екологія

10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

_____/А. В. Гончаренко/

Науковий керівник Волошкіна Олена Семенівна, доктор технічних наук,
професор

Київ – 2025

АНОТАЦІЯ

Гончаренко А.В. Методика оцінки впливу забруднення повітря на основі визначення кліматичних ризиків в будівництві – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 «Природничі науки». – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2025.

Зміст анотації. Дисертація присвячена науковому та практичному завданню підвищення рівня екологічної безпеки в процесі відновлення порушених міських територій з метою зменшення кліматичних ризиків у будівельній галузі.

У цьому дослідженні вивчаються визначальні фактори забруднення атмосферного повітря в контексті військової діяльності та формулюється концептуальна основа для розуміння виникнення забруднення аерозольними частинками в міських умовах в умовах глобальних кліматичних змін. Гіпотези різних міжнародних вчених щодо взаємозв'язку між забрудненням атмосферного повітря аерозольними частинками в міських умовах та захворюваністю на Covid-19 були підтверджені. Емпіричні дані свідчать про лінійну залежність між забрудненням частинками PM_{2,5} у великих містах України та кількістю випадків зараження Covid-19, на яку безпосередньо впливають температурні умови навколишнього середовища. У контексті Covid-19 ці фактори виявляють лінійну залежність і безпосередньо залежать від температурних умов навколишнього середовища. Дослідження показали, що загрозу для здоров'я населення, яку становить забруднення повітря в містах, можна зменшити за допомогою впровадження низьковуглецевих технологій будівництва, а також з урахуванням різних факторів, що посилюються під час спекотних місяців. З огляду на це, ретельне вивчення варіантів містобудівного планування під час післявоєнної ре-конструкції та оновлення житлового фонду міста вимагає захисту населення від забруднення повітря на рівні землі. Це можна досягти шляхом впровадження інноваційних технологічних рішень протягом усього

життєвого циклу будівлі, а також вдосконалення методів очищення у виробничих процесах та застосування сучасних технологій повітрообміну в сучасних будівлях і спорудах.

Ризики, пов'язані зі зміною клімату в будівельному секторі, тісно пов'язані з якістю повітря і, як наслідок, з результатами охорони здоров'я населення. Наявність аерозолів і шкідливих речовин від будівельних і ремонтних матеріалів, а також викидів від автотранспорту, посилюється військовими операціями в Україні, що сприяє поширенню глобальних екологічних проблем. На основі ретельного аналізу теоретичних основ та практичного застосування, в цій роботі розроблено математичну модель, яка пояснює процеси, що відбуваються під час утворення кислотних опадів та їх подальшого осадження в районах, прилеглих до місця обстрілу. Ця модель враховує двовимірний тепло– та масо–обмін, кінетику конденсації, а також дифузію та конвекцію парів оксидів сірки. Методологія слугує інструментом для прогнозування потенційних кислотних опадів у регіонах, що межують з місцями ізолюваних вибухів. Ця можливість полегшує прогнозування змін екологічного ризику для екосистеми та населення внаслідок військових дій, а також дозволяє визначити зони впливу та характер розповсюдження від місця вибуху. У конкретному випадку було проаналізовано вибух за умов нейтральних атмосферних умов. Аналіз було проведено для окремої ракети з початковою масою 1400 кг, масою боєголовки 450 кг та діаметром кратера, утвореного в результаті одиночного вибуху, що генерує конвективний струмінь над землею на висоті 10 м, з приблизною висотою 3Н за нейтральних атмосферних умов. Результати показують, що пікова концентрація сірчистого газу знаходиться на відстані 500 м від місця вибуху, перевищуючи норму в 1,9 рази (0,95 мг/м³).

У дисертації представлено методологію, засновану на теорії конвективних струменів, для оцінки концентрацій небезпечних речовин, що утворюються в зоні горіння після вибуху. Запропонована методологія полегшує визначення концентрацій забруднюючих речовин у сценаріях, коли викиди потрапляють в атмосферу під впливом прямого сонячного випромінювання на висоті, що до–

сягає трьох або більше діаметрів воронки вибуху (або еквівалентного діаметра нагрітої поверхні). Це включає врахування температури та швидкості струменя гарячого повітря над нагрітою поверхнею, а також споживання досліджуваної речовини. Ефективність цієї методики для оцінки атмосферного забруднення, спричиненого дискретними вибухами в результаті військових операцій, була підтверджена порівняльним аналізом розрахункових концентрацій первинних забруднюючих речовин, отриманих за допомогою цієї методики, з даними моніторингу двох районів Києва – Голосіївського та Дніпровського – від 16 грудня 2022 року. Аналіз результатів розрахунків у порівнянні з даними системи моніторингу атмосферного повітря виявив похибку, що залежить від відстані міста, де відбулася подія, до найближчих діючих пунктів спостереження, яка не перевищує 17 %. У документі перелічено спостережні пункти в районах з найзначнішими окремими викидами, наведено середні дані для Києва щодо відповідних речовин, а також розрахункові дані на відстані 2 км від центру міста відповідно до встановлених Методичних рекомендацій щодо прогнозування метеорологічних умов, що впливають на формування рівнів концентрації забруднюючих речовин в атмосфері. Ця методологія оцінки та прогнозування концентрацій забруднюючих речовин в атмосфері під час військових операцій застосовується за нейтральних атмосферних умов, що впливають на викиди забруднюючих речовин. Ця методологія оцінки та прогнозування концентрацій забруднюючих речовин в атмосфері під час військових операцій застосовується за нейтральних атмосферних умов, які впливають як на викиди забруднюючих речовин, так і на перетворення хімічних речовин в повітрі. Ця система має подвійну мету: сприяти більш детальному оцінюванню кліматичних ризиків у будівництві та надати галузі можливість адаптуватися до викликів, пов'язаних зі зміною клімату.

Сучасні підходи до вирішення проблеми зміни клімату в будівельному секторі, що базуються на європейському та українському законодавстві, ґрунтуються на принципах ризиків та вразливості, сформульованих у звітах про оцінку AR4 та AR5.

У цьому дослідженні розглядається міський ландшафт Києва з метою з'ясування взаємопов'язаних ланцюгів впливу кліматичних ризиків на енергоспоживання будівель на етапі проектування взимку та влітку. Дані дослідження мають потенціал для майбутнього застосування у зменшенні викидів парникових газів в атмосферу, усуненні кліматичних наслідків військових дій Росії та нейтралізації цього впливу на всіх етапах життєвого циклу. Це включає врахування питань виробництва цементу та сталі, вдосконалення теплоізоляції будівель та використання відновлюваних джерел енергії в сучасних будівлях і спорудах.

Після війни країна зіткнулася з проблемою зменшення забруднення повітря шляхом впровадження практик «зеленого будівництва». Це вимагало впровадження передових ІТ-технологій для прогнозування потенційного впливу різних факторів, зокрема на кожному етапі будівництва, на здоров'я людей та навколишнє середовище. Автор розробив систему для прийняття управлінських рішень у сфері реконструкції та сталого будівництва, яка залежить від доступності хмарного сховища для моніторингу даних про забруднення атмосфери, зокрема про тверді частинки PM_{2,5} та PM₁₀. Ця система може бути реалізована за допомогою Autodesk® Green Building Studio.

Розроблено та застосовано систематичну систему оцінки кліматичних ризиків у зв'язку зі змінами енергоспоживання в будівельному секторі з урахуванням зростання атмосферного забруднення, спричиненого військовою діяльністю, спеціально адаптовану до кліматичних умов Києва.

Наукова та теоретична значимість роботи полягає у формулюванні методології, спрямованої на оцінку комплексних кліматичних ризиків у будівельному секторі під час післявоєнної реконструкції країни. Ця методологія враховує наслідки глобальних кліматичних змін та військової діяльності в країні, які впливають на якість повітря, зміну хімічних речовин у зв'язку з підвищенням температури та добробут міського населення. Ця методологія полегшує вивчення ефективності новітніх низьковуглецевих будівельних технологій на етапі проектування реконструкції об'єкта протягом усього його життєвого циклу.

Результати дисертаційного дослідження були представлені для оцінки на підприємстві ТОВ «АТЛАНТ-БУД», ТОВ «Фірма «БудКомплект»», ТОВ «АВ-Констракшн» в районі.

У Київському національному університеті будівництва та архітектури навчальні матеріали, що стосуються основних елементів глобальних кліматичних змін та вдосконалення систем стандартизації енергетичних характеристик будівель, інтегровані в навчальну програму. Ця інтеграція має на меті сприяти впровадженню ефективних інженерних систем та проектних рішень у вітчизняному будівництві. Студенти, які спеціалізуються на 183 «Технологіях охорони навколишнього середовища» та 101 «Екології», працюють з цими матеріалами під час лекцій та практичних занять на таких курсах, як «BIM-технології в будівельній галузі», «Екологічне управління та планування в зеленому будівництві» та «Стратегії сталого розвитку будівельної галузі в умовах зміни клімату». Такий підхід підвищує ефективність навчального процесу та якість навчальних матеріалів у цих галузях навчання

Ключові слова: забруднення повітря, COVID-19, урбанізовані території, кліматичний ризик, будівельна галузь, адаптація до глобальних змін клімату, військові дії, моделювання, комп'ютерне моделювання, інтеграція даних, аналіз, алгоритм, метод, програмний засіб, кіберфізичні системи.

SUMMARY

Honcharenko A.V. Reducing the impact of air pollution in urbanized areas based on the determination of climate risks in construction – Qualification scientific work on the rights of a manuscript. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in speciality 122 "Computer Science." – Kyiv National University of Construction and Architecture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2025

Content of the abstract. The dissertation is devoted to the scientific and practical task of improving environmental safety in the process of restoring disturbed urban areas in order to reduce climate risks in the construction industry.

This study examines the determining factors of atmospheric air pollution in the context of military activities and formulates a conceptual framework for understanding the emergence of aerosol particle pollution in urban environments in the context of global climate change. Hypotheses of various international scientists regarding the relationship between atmospheric pollution with aerosol particles in urban conditions and the incidence of Covid–19 have been confirmed. Empirical data indicate a linear relationship between PM_{2.5} particle pollution in large cities in Ukraine and the number of Covid–19 cases, which is directly influenced by ambient temperature conditions. In the context of Covid–19, these factors show a linear relationship and are directly dependent on ambient temperature conditions. Studies have shown that the health risks posed by urban air pollution can be reduced through the introduction of low–carbon construction technologies, as well as by taking into account various factors that are exacerbated during hot months. In view of this, a thorough study of urban planning options during post–war reconstruction and renovation of the city's housing stock requires the protection of the population from air pollution at ground level. This can be achieved by introducing innovative technological solutions throughout the entire life cycle of a building, as well as by improving cleaning methods in production processes and applying modern air exchange technologies in modern buildings and structures.

The risks associated with climate change in the construction sector are closely linked to air quality and, consequently, to public health outcomes. The presence of

aerosols and harmful substances from construction and repair materials, as well as emissions from motor vehicles, is exacerbated by military operations in Ukraine, contributing to the spread of global environmental problems. Based on a thorough analysis of theoretical foundations and practical applications, this work develops a mathematical model that explains the processes occurring during the formation of acid precipitation and its subsequent deposition in areas adjacent to the site of shelling. This model takes into account two-dimensional heat and mass transfer, condensation kinetics, as well as diffusion and convection of sulfur oxide vapors. The methodology serves as a tool for predicting potential acid precipitation in regions bordering isolated explosion sites. This capability facilitates the prediction of changes in environmental risk to ecosystems and populations as a result of military actions, and also allows the determination of impact zones and the nature of the spread from the explosion site. In this specific case, an explosion under neutral atmospheric conditions was analyzed. The analysis was carried out for a single missile with an initial mass of 1,400 kg, a warhead mass of 450 kg, and a crater diameter formed by a single explosion generating a convective jet above the ground at a height of 10 m, with an approximate height of $3H$ under neutral atmospheric conditions. The results show that the peak concentration of sulfur dioxide is located at a distance of 500 m from the explosion site, exceeding the norm by 1.9 times (0.95 mg/m^3).

The dissertation presents a methodology based on convective jet theory for estimating the concentrations of hazardous substances formed in the combustion zone after an explosion. The proposed methodology facilitates the determination of pollutant concentrations in scenarios where emissions enter the atmosphere under the influence of direct solar radiation at a height reaching three or more diameters of the explosion funnel (or the equivalent diameter of the heated surface). This includes taking into account the temperature and velocity of the hot air jet above the heated surface, as well as the consumption of the substance under study. The effectiveness of this methodology for assessing atmospheric pollution caused by discrete explosions as a result of military operations was confirmed by a comparative analysis of the calculated concentrations of primary pollutants obtained using this methodology with monitoring

data from two districts of Kyiv – Holosiivskyi and Dniproviskyi – from December 16, 2022. Analysis of the calculation results in comparison with data from the air monitoring system revealed an error depending on the distance of the city where the event took place from the nearest operating observation points, which did not exceed 17%. The document lists observation points in areas with the highest individual emissions, provides average data for Kyiv for the relevant substances, as well as calculated data at a distance of 2 km from the city center in accordance with the established Methodological Recommendations for Forecasting Meteorological Conditions affecting the formation of pollutant concentration levels in the atmosphere. This methodology for assessing and forecasting pollutant concentrations in the atmosphere during military operations is applied under neutral atmospheric conditions affecting pollutant emissions. This methodology for assessing and forecasting concentrations of pollutants in the atmosphere during military operations is used under neutral atmospheric conditions that affect both pollutant emissions and the transformation of chemicals in the air. This system has a dual purpose: to facilitate a more detailed assessment of climate risks in construction and to enable the industry to adapt to the challenges of climate change.

Modern approaches to addressing climate change in the construction sector, based on European and Ukrainian legislation, are grounded in the principles of risk and vulnerability formulated in the AR4 and AR5 assessment reports.

This study examines the urban landscape of Kyiv with the aim of identifying the interlinked chains of influence of climate risks on the energy consumption of buildings at the design stage in winter and summer. The research data has potential for future application in reducing greenhouse gas emissions into the atmosphere, eliminating the climate impacts of Russia's military actions, and neutralizing this impact at all stages of the life cycle. This includes taking into account issues related to cement and steel production, improving the thermal insulation of buildings, and using renewable energy sources in modern buildings and structures.

After the war, the country faced the challenge of reducing air pollution through the introduction of green building practices. This required the implementation of

advanced IT technologies to predict the potential impact of various factors, including at each stage of construction, on human health and the environment. The author has developed a system for management decision-making in the field of reconstruction and sustainable construction, which depends on the availability of cloud storage for monitoring data on atmospheric pollution, in particular PM 2.5 and PM10 particulate matter. This system can be implemented using Autodesk® Green Building Studio.

A systematic system for assessing climate risks associated with changes in energy consumption in the construction sector, taking into account the increase in atmospheric pollution caused by military activities, has been developed and applied, specially adapted to the climatic conditions of Kyiv.

The scientific and theoretical significance of the work lies in the formulation of a methodology aimed at assessing complex climate risks in the construction sector during the post-war reconstruction of the country. This methodology takes into account the effects of global climate change and military activities in the country, which affect air quality, changes in chemical substances due to rising temperatures, and the well-being of the urban population. This methodology facilitates the study of the effectiveness of the latest low-carbon construction technologies at the design stage of a facility's reconstruction throughout its life cycle.

The results of the dissertation research were presented for evaluation at the ATLANT-BUD LLC, BudKomplekt LLC, AV-Construction LLC enterprise in the region.

At the Kyiv National University of Construction and Architecture, teaching materials on the main elements of global climate change and the improvement of energy performance standardization systems for buildings have been integrated into the curriculum. This integration aims to promote the implementation of effective engineering systems and design solutions in domestic construction. Students specializing in 183 “Environmental Protection Technologies” and 101 “Ecology” work with these materials during lectures and practical classes in courses such as “BIM Technologies in the Construction Industry,” “Environmental Management and Planning in Green Construction,” and “Sustainable Development Strategies for the

Construction Industry in the Context of Climate Change.” This approach improves the effectiveness of the educational process and the quality of teaching materials in these fields of study.

Keywords: air pollution, COVID–19, urbanized areas, climate risk, construction sector, adaptation to global climate change, military actions, modeling, computer modeling, data integration, analysis, algorithm, method, software tool, cyber–physical systems.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Гончаренко А.В. Визначення кліматичних ризиків будівельної галузі на фоні воєнних дій./Екологічна безпека та природокористування: зб. Наук. Праць / М–во освіти і науки України, Київ, нац. Ун–т буд–ва і архіт., НАН України, Ін–т телекомунікацій і глобал. Ін форм. простору. – К., 2024. – Вип. 52. – С. 5–14, **DOI: 10.32347/2411–4049.2024.4.45–52**
2. Волошкіна О.С., Гончаренко А.В. Вплив воєнних дій на процес утворення кислотних опадів./Екологічна безпека та природокористування: зб. Наук. Праць / М–во освіти і науки України, Київ, нац. Ун–т буд–ва і архіт., НАН України, Ін–т телекомунікацій і глобал. Ін форм. простору. – К., 2022. – Вип. 44. – С. 5–14, **DOI: 10.32347/2411–4049.2022.4.5–14**
3. Гончаренко А.В., Сіпаков Р.В. Формування емісії забруднення атмосферного повітря від окремих вибухів внаслідок воєнних дій/ Екологічна безпека та природокористування: зб. Наук. Праць / М–во освіти і науки України, Київ, КНУБА., НАН України, Ін–т телекомунікацій і глобал. Ін форм. простору. – К., 2023. – Вип. 45. – С. 111–120 **DOI: 10.32347/2411–4049.2023.1.111–120**
4. Волошкіна О.С., Шаблій Т.П., Трофімович В.В., Єфіменко В.М., Гончаренко А.В., Жукова О.Г. Вплив глобальних кліматичних змін на забруднення повітря урбанізованих територій та розповсюдження захворюваності населення на Covid–19. «Екологічна безпека та природокористування: зб. Наук. Праць / М–во освіти і науки України, Київ, КНУБА., НАН України, Ін–т телекомунікацій і глобал. Ін форм. простору. – К., 2021. – Вип. 39. – С.5–15. **DOI: 10.32347/2411–4049.2021.3.5–15**
5. Kaliukh Iu., Voloshkina O., Korduba I, Zhukova O., Honcharenko O A. Mathematical modelling of seismic activation of landslides in the Neogene clay of the Car–pathian region. 2022. International Conference of Young Professionals

«GeoTer–race–2022», Oct 2022, Volume 2022, p.1 – 5 **ISBN 978_946282439_3**
DOI:10.3997/2214–4609.2022590071

6. I. Kaliukh; O. Voloshkina; A. Honcharenko; A. Sirenko; I. Korduba; A. Kovaliova
 Complex Research and Implementation of the IoT System for the Residential
 Buildings Vibroprotection/2022 IEEE 3rd International Conference on System
 Analysis & Intelligent Computing (SAIC) 4–7 Oct. 2022, Electronic **ISBN:979–8–
 3503–9674–4** **ISBN:979–8–3503–9675–1,** **DOI:**
10.1109/SAIC57818.2022.9922984
7. Artem Honcharenko, Olena Voloshkina, Ihor Kupinskyi, Olena Zhukova Modern
 comprehensive information system for environmental quality monitoring.
 Environmental Problems. — Lviv : Lviv Politechnic Publishing House, 2021. —
 Vol 6. — No 4. — P. 251–257. **URI <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/59009>**

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Гончаренко А. В. До питання зменшення забруднення повітря за допомогою
 зелених технологій в будівництві Збірник наукових праць. «Екологічна
 безпека та технології захисту довкілля», No5, 2023, С.44–51.
9. Гончаренко А.В., Волошкіна О.С., Трофімович В.В., Жукова О.Г. Сучасний
 моніторинг забруднення атмосферного повітря аерозольними частками в м.
 Києві та їх вплив на організм людини. Актуальні проблеми, пріоритетні
 напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей II Міжнародної
 науково–практичної онлайн–конференції, м. Київ, 16 червня 2021 року/
 редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021. – 695 с. /81–82с./
10. Волошкіна О.С., Жукова О.Г., Гончаренко А.В., Колеватих І.С.
 Дослідження впливу загальнонаціонального блокування Covid–19 на
 забруднення повітря для урбанізованих територій на прикладі м. Києва.
 Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези
 доповідей IV Міжнародної науково–практичної онлайн–конференції, м. Київ,
 10 лютого 2022 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2022. с. 59–61.

11. Волошкіна О.С., Гончаренко А.В., Негода Н.В., Жукова О.Г. Забруднення атмосферного повітря аерозольними частинками в світі і Україні, їх вплив на клімат і здоров'я. Екологічна безпека держави: тези доповідей Другого всеукраїнського круглого столу, м. Київ, 15 грудня 2021 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021. с. 20–24.
12. Волошкіна О.С., Жукова О.Г., Гончаренко А.В. Вплив воєних дій на формування і випадіння кислотних опадів на прилеглих територіях. Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування: матеріали Міжнародної наукової конференції за участю молодих науковців. Одеса: ОДЕКУ, 2022. с. 39–42.
13. O. Voloshkina, R. Sipakov, O. Zhukova, A. Honcharenko. The role of science technology engineering & mathematics (stem) education in the development of civil engineering skills. Матеріали III-ї міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Ресурси. Енергія «Багатофункціональні еко – та енергоефективні, ресурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях», КНУБА, Київ, 23–25 листопада 2022
14. Гончаренко А.В., Волошкіна О.С. Використання технологій зеленого будівництва для зменшення забруднення повітря. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»). Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури. 2023, 70–76.
15. Voloshkina, O., T. Shabliy, T. Tkachenko, A. Goncharenko, O. Zhukova. Relationship between Air Pollution, Global Climate Change and Distribution of COVID-19/73 International Research-to-Practice Conference on 'Climate Services : Science and Education': Conference Proceedings. Odesa : Odessa State Environmental University, 2021. 144 p. – 138–139с.
16. Гончаренко А.В., Волошкіна О.С., Жукова О.Г. Концепція формування інноваційної системи моніторингу забруднення аерозольними частками урбанізованих територій в умовах глобальних кліматичних змін. Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей

- III Міжнародної науково–практичної онлайн–конференції, м. Київ, 13 жовтня 2021 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021. –448–450.
17. Гончаренко А., Волошкіна О.С. Особливості сучасного управління екологічними проектами. Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей I Міжнародної науково–практичної онлайн–конференції, м. Київ, 15 березня 2021 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021. – 695 с. /56–58с./
 18. Волошкіна О.С., Сіпаков Р.В., Гончаренко А.В., Жукова О.Г. Впровадження елементів STEM– освіти у навчальний процес підготовки інженерів будівництва. Колективна монографія за матеріалами XXI Міжнародної науково–практичної конференції “Інформаційно–комунікаційні технології та сталий розвиток” з 14 по 16 листопада 2022 р. м.Київ ІТГП НАНУ
 19. Гончаренко А.В., Волошкіна О.С., Трофімович В.В., Жукова О.Г. Взаємозв’язок забруднення атмосферного повітря урбоценозів аерозольними частками РМ 2,5, захворюваність населення на Covid–19 та вплив глобальних кліматичних змін. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: виклики 2021 року // Колективна монографія за матеріалами XX Міжнародної науково–практичної конференції (Київ, 04–08 жовтня 2021 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2021. – 88–91с.

Методичні рекомендації

20. Методика розрахунку викидів парникових газів по окремим секторам еконо–міки /ВолошкінаО.С., Жукова О.Г. Гончаренко А.В. Маршалл Д.І.. А.В.Ковальова. Методичні вказівки та завдання до виконання індивідуальної роботи для здобувачів III освітнього рівня підготовки (доктор філософії) спеці–альностей 263 «Цивільна безпека», 101 «Екологія» Київ:КНУБА, 2021 – 20с. друк. Арк 1,16/

21. Методи обробки моніторингової інформації для розрахунку канцерогенного ризику працівників, які працюють на відкритому повітрі від забруднення викидами з автотранспорту/ Волошкіна О.С., Сіпаков Р.В., Жукова О.Г. Ковальова А.В., Гончаренко А.В Методичні вказівки та завдання до виконання індивідуальної роботи для здобувачів III освітнього рівня підготовки (доктор філософії) спеціальностей 263 «Цивільна безпека», 101 «Екологія» Київ:КНУБА, 2021 – 20с. друк. арк 1,16
22. Складання матеріального та теплового балансів для обґрунтування вибору технологічного процесу /Волошкіна О.С., Кордуба І.Б., Гончаренко А.В., Жукова О.Г. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для студентів спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» за дисципліною «екологічна безпека технологічних процесів», К.:КНУБА, 2022. – 20 с. друк. Арк 1,16

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	19
ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ	27
1.1 Основні впливові фактори забруднення атмосферного повітря великих міст України	27
1.2 Вплив атмосферного забруднення на самопочуття населення Києва та інших великих міських центрів України	33
1.3 Взаємозв'язок воєнних дій та забруднення атмосферного повітря в м. Києві.....	42
1.3.1 Вплив воєнних дій на формування та випадіння кислотних опадів...	42
1.3.2 Утворення викидів забруднюючих речовин в атмосферу в результаті дискретних вибухів, спричинених військовими операціями в нейтральних атмосферних умовах	49
1.4 Висновки до Розділу 1.....	57
РОЗДІЛ 2. СУЧАСНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТА НАПРЯМИ ЇХ УДОСКОНАЛЕННЯ.....	59
2.1 Моніторинг атмосферного повітря міста та напрямки його удосконалення на шляху до європейської інтеграції.....	59
2.2 Інноваційні системи моніторингу навколишнього середовища	64
2.3 Комплексне дослідження використання системи IoT в питаннях «зеленого будівництва».....	73
2.4 Застосування хмарних сервісів для аналізу якості повітря.....	79
2.5 Висновки до розділу 2.....	83
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА КЛІМАТИЧНОГО РИЗИКУ ДЛЯ АДАПТАЦІЇ БУДІВЕЛЬНОГО СЕКТОРУ ДО КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЗМІН В ЕНЕРГОСПОЖИВАННІ БУДІВЕЛЬ.	85
3.1 Визначення кліматичного ризику в будівництві	85

3.2 Вплив воєнних дій в Україні на клімат	96
3.3 Методика визначення врахування кліматичних змін на забруднення атмосферного повітря при післявоєнній відбудові країни	97
3.4 Висновки до розділу 3	100
РОЗДІЛ 4. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ «ЗЕЛЕНОГО» БУДІВНИЦТВА В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ	102
4.1 Сучасний досвід використання технологій «зеленого» будівництва для зменшення забруднення повітря міського середовища	102
4.2 Системний підхід при виборі конструктивного рішення енергоефективності будівлі при її реконструкції з врахуванням оцінки кліматичного ризику	108
4.3 Застосування нейронних мереж при виборі оптимального варіанту відбудови міста.....	110
4.4 Висновок до розділу 4	114
ВИСНОВКИ	115
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	117
ДОДАТКИ	
Додаток А. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи.....	140
Додаток Б. Зміни температурних показників	145
Додаток В. Позначення, величини, одиниці виміру	147
Додаток Г. Акти впровадження.....	148

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

МОЗ – Міністерство охорони здоров'я

IQAir – Індекс якості повітря

IQAir World Air Quality Report – Світовий звіт про якість повітря IQAir

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я

GEMS– Глобальна система моніторингу навколишнього середовища

BIM – (англ. Building Information Modeling) Інформаційне моделювання будівель

C3S – Служба зміни клімату

CDO (англ. Climate Data Operators) – набір інструментів для роботи з даними моделей клімату

ПГ – парникові гази

ЕСФ Європейський кліматичний фонд

ЕРАІU – Ініціатива з розвитку екологічної політики й адвокації в Україні

МГЕЗК – Міжурядова група експертів зі зміни клімату (IPCC)

ОРВЗК – оцінка ризиків і вразливості до зміни клімату

RCP – (англ. Representative Concentration Pathway) прогноз концентрації парникових газів

НДТМ – найкращі доступні технології та методи управління

ВСТУП

Актуальність теми. Рівень забруднення повітря в Україні в останні роки перевищив норми, встановлені ВООЗ, і продовжує погіршуватися через вплив війни та глобальних кліматичних змін. Ця ситуація викликає серйозну стурбованість щодо здоров'я міського населення. Поширеність забруднення повітря корелює з підвищеною частотою хронічних захворювань, що призводить до значних витрат на охорону здоров'я. Багато вітчизняних та зарубіжних вчених досліджують складні проблеми забруднення повітря в міських умовах, особливо у зв'язку зі зміною клімату та її наслідками для здоров'я населення, а саме С.Сніжко, О.Шевченко, В.Трофимович, Р.Сіпаков, О.Волошкіна, О.Мітрясова, Т.Кривомаз, V.R.Despres, A. Pozzer, A. de Meij, K. J. Pringle та інш.

Було висунуто припущення щодо взаємозв'язку між забрудненням атмосфери аерозольними частинками в міських умовах та захворюваністю на COVID–19 серед населення. Ця гіпотеза потребує перевірки в конкретних умовах України.

Багатьма авторами, такими як Л. де Клерк, М. Шлапак, А.Шмурак, О.Гасан–Заде, А.Кортуїс, І.Іванюта та інш. констатовано необхідність визначення впливу воєнних дій на глобальні екологічні проблеми в міському середо–вищі, зокрема на частоту та кількість випадіння кислотних опадів і їх впливу на навколишнє середовище та здоров'я населення. Вирішення даної задачі потребує аналізу процесів механізму формування кислих опадів на фоні забруднення атмосферного повітря та метеорологічних факторів.

В період післявоєнної відбудови країни постало гостро питання зменшення забруднення атмосферного повітря та викидів парникових газів за рахунок впровадження методів «зеленого будівництва». В будівельній галузі компенсація щодо пом'якшення кліматичної шкоди, завданої воєнними діями Росії та нейтралізація цього впливу– зменшення майбутніх викидів від будівництва на всіх стадіях життєвого циклу, враховуючі виробництво цементу та ста–лі, краще утеплення будівель і впровадження відновлюваних джерел

енергії, низьковуглецева відбудова пошкоджених будівель та інфраструктури. Розробки з даного питання на даний час, що повинні ґрунтуватися на методиках розрахунку кліматичного ризику в будівельній галузі для належної її адаптації до кліматичних змін відсутні в достатній мірі, що підтверджує актуальність даних дисертаційних досліджень.

Вирішення задачі визначення кліматичних ризиків на різних стадіях будівництва вимагає створення інноваційної мережі моніторингу якості повітря (зокрема, концентрації будівельного пилу та інших твердих частинок) у реальному часі на будівельному майданчику та навколо нього, а також для мешканців міста потребує інноваційних ІТ технологій для прогнозування потенційних впливів усіх вірогідних факторів впливу на кожному етапі життєвого циклу будівництва на людину та навколишнє середовище.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові дослідження, що викладені в дисертаційній роботі виконані в рамках науково-дослідної роботи кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва та архітектури (№ держреєстрації №0121U111849 «Вплив змін клімату на складові навколишнього середовища» (2021–2023рр.), в якій здобувач брав участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є вирішення науково-прикладного завдання адаптації будівельної галузі до змін клімату та удосконалення шляхів зменшення впливу забруднення повітря на урбанізованих територіях на основі визначення кліматичних ризиків в будівництві на передпроектній стадії прийняття технологічних рішень «зеленого» будівництва при післявоєнному відновленні міських територій.

Основні завдання дисертаційних досліджень наступні:

1. Дослідити основні чинники, що впливають на забруднення повітря в міських умовах, та оцінити наслідки забруднення повітря в найбільших містах України щодо концентрації $PM_{2,5}$ та захворюваності на Covid-19 у залежності від коливань температури навколишнього середовища;

2. Дослідити взаємозв'язок між військовими діями та забрудненням атмосфери в Києві за нейтральних атмосферних умов, використовуючи модель формування конвективного струменя з теплої поверхні як приклад;

3. Вивчити сучасні системи моніторингу атмосферного повітря та інноваційні напрямки їх удосконалення;

4. Здійснити комплексне дослідження використання системи IoT в питаннях «зеленого будівництва» та запропонувати схему вирішення задачі щодо прийняття управлінських рішень в питаннях реконструкції і будівництва в залежності від забруднення атмосферного повітря пиловими частками;

5. Дати оцінку кліматичного ризику в будівництві з врахуванням впливу воєнних дій при післявоєнній відбудові країни та на прикладі кліматичних умов м. Києва дати оцінку ризику змін в енергоспоживанні будівель в умовах кліматичних змін.

Об'єктом дослідження є процеси оцінювання кліматичних ризиків в будівельному секторі для зменшення впливу забруднення повітря при прийнятті технологічних рішень в процесах «зеленого» будівництва та післявоєнній відбудови країни.

Предметом дослідження є методи розрахунку та оцінювання кліматичних ризиків в будівництві з врахуванням основних впливових факторів забруднення повітря на фоні підвищення температурних показників та воєнних дій внаслідок російської агресії.

Методи дослідження. Під час розв'язання поставлених задач використовувалися наступні методи: методи математичного моделювання, методи статистичної обробки баз кліматичних даних та даних забруднення повітря і стану здоров'я населення, методи практичного застосування технологій IoT у плануванні та експлуатації міської інфраструктури, існуючі концепції кліматичного ризику і вразливості для зміни клімату галузей економіки. Матеріалом дослідження стали дані кліматичної бази даних ECA&D, кліматичної бази даних Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського, кліматичної бази даних Copernicus.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Сформовано нову концепцію щодо утворення аерозольного забруднення в міських умовах в умовах глобальних кліматичних змін. Вона включає виявлення взаємозв'язку між забрудненням атмосферного повітря в великих містах України, зокрема частинками $PM_{2,5}$, та захворюваністю на Covid-19. Цей висновок підтверджує гіпотези різних міжнародних дослідників щодо зв'язку між забрудненням атмосфери аерозольними частинками в міських умовах та рівнем захворюваності на Covid-19;

2. Розроблено математичну модель для пояснення утворення кислотних опадів в атмосфері після окремого вибухового явища. Ця модель враховує викиди забруднюючих речовин у зону вимивання під хмарами, а також кінетику процесу конденсації та дифузію і конвекцію парів оксидів сірки. Математична модель складається з системи безрозмірних нестационарних диференціальних рівнянь за наближенням Бусінеска, що включає такі змінні, як швидкість вихору, функція потоку, температура та концентрація, а також відповідні початкові та граничні умови. Ця модель була оцінена з урахуванням кліматичних умов Києва. Дані показали пікову концентрацію діоксиду сірки на відстані 500 метрів від місця вибуху, що в 1,9 рази перевищує встановлений стандарт $0,95 \text{ мг/м}^3$. Вибух було проаналізовано конкретно в нейтральних атмосферних умовах;

3. Запропоновано спрощений підхід до нейтральних атмосферних умов щодо розповсюдження діоксиду сірки. Це можна досягти шляхом прямого застосування теорії конвективних струменів, що виходять з теплового джерела в навколишнє середовище, з подальшою інтеграцією принципів розсіювання та кінетичних перетворень в атмосфері. Ця методологія була обґрунтована шляхом оцінки концентрацій забруднюючих речовин та аналізу даних моніторингу з двох районів Києва, а саме Голосіївського та Дніпровського, 16 грудня 2022 року;

4. Запропоновано інноваційну схему мережі моніторингу якості повітря (зокрема, концентрації будівельного пилу та інших твердих частинок) у реальному часі на будівельному майданчику та навколо нього, для

прогнозування усіх вірогідних факторів впливу на кожному етапі зведення будівлі на людину та навколишнє середовище;

5. Розроблено схему вирішення задачі щодо прийняття управлінських рішень в питаннях реконструкції і «зеленого» будівництва в залежності від наявності хмарних сховищ моніторингових даних забруднення атмосферного повітря пиловими частками $PM_{2,5}$ і PM_{10} , яку можна реалізувати за допомогою Autodesk® Green Building Studio;

6. Розроблено на прикладі існуючих нормативних методик та оцінок кліматичних ризиків галузях економіки оцінку кліматичного ризику в будівництві з врахуванням впливу воєнних дій та на прикладі кліматичних умов м. Києва розраховано ризик змін в енергоспоживанні будівель при післявоєнній відбудові країни.

Практичне значення отриманих результатів дисертаційного дослідження полягає у наступних аспектах:

1. Взаємозв'язок між забрудненням повітря в великих містах України, особливо частинками $PM_{2,5}$, та захворюваністю на Covid-19 може дати розуміння того, як пом'якшити вплив аерозолів на здоров'я населення. Це розуміння також може бути корисним для розробки та впровадження передових методів очищення в промислових процесах, а також для вдосконалення технологій повітрообміну в сучасних будівлях і спорудах;

2. Усі фактори, що впливають на забруднення міського середовища, повинні бути ретельно враховані при прийнятті управлінських рішень щодо містобудування під час будівництва та реконструкції територій. Це є необхідним для забезпечення здоров'я населення та охорони навколишнього середовища, як зазначено в концепції інноваційної моделі моніторингових спостережень. Така модель повинна базуватися на взаємопов'язаних існуючих математичних моделях, статистичних залежностях та даних, отриманих з існуючих систем спостереження;

3. Математична модель, сформульована в цьому дослідженні, служить для прогнозування потенційних кислотних опадів у районах, що оточують ізольовані вибухи, для передбачення змін екологічних умов району внаслідок військових

дій, що впливають як на навколишнє середовище, так і на населення, а також для оцінки наслідків викидів забруднюючих речовин для екосистеми та здоров'я людини;

4. Розроблена концепція вирішення проблем, пов'язаних з управлінськими рішеннями в галузі реконструкції та будівництва, зокрема щодо забруднення атмосфери пиловими частинками, відкриває нові можливості для підвищення ефективності принципів «зеленого будівництва» в будівельній галузі. Це особливо актуально в умовах післявоєнної реконструкції; – Виявлені ризики, пов'язані з коливаннями енергоспоживання в будівельній галузі.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які становлять основний зміст дисертації, були отримані здобувачем самостійно. В опублікованих у співавторстві наукових працях автору належать: [2, 12] – розробка математичної моделі утворення кислих опадів в атмосфері; [3] – запропонована модель формування емісії забруднення атмосферного повітря від окремих вибухів внаслідок воєнних дій; [4, 7, 16] – досліджено інноваційні системи моніторингу атмосферного повітря; [5, 9–11, 15, 19] – досліджено вплив глобальних кліматичних змін на аерозольне забруднення атмосферного повітря та на розповсюдження захворюваності населення на Covid–19 в містах України; [6, 13, 14, 17, 18] – досліджено використання технологій «зеленого» будівництва в сучасних умовах.

Апробація результатів дисертації. Наукові та практичні результати дисертаційного дослідження доповідалися та обговорювалися на міжнародних та всеукраїнських конференціях, зокрема на:

1. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace–2022» (Scopus), Львів, 2022.
2. 2022 IEEE 3rd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC) (Scopus), Київ, 2022.
3. I, II, IV Міжнародних науково–практичних онлайн–конференціях, Київ 2021, 2022.
4. Другого всеукраїнського круглого столу ІТТА, Київ, 2023.
5. Міжнародної наукової конференції ОДЕКУ, Одеса, 2022.

6. III-ї міжнародної науково–практичної конференції «Екологія. Ресурси. Енергія «Багатофункціональні еко – та енергоефективні, ресурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях», КНУБА, Київ, 2022.

7. II Міжнародної науково–практичної конференції «Green Construction», Київ, 2023.

8. 73 International Research-to-Practice Conference on 'Climate Services : Science and Education': Conference Proceedings. Odessa State Environmental University, Одеса, 2021.

9. XXI Міжнародної науково–практичної конференції “Інформаційно–комунікаційні технології та сталий розвиток”, ІТГІП НАНУ, Київ, 2022.

10. XX Міжнародної науково–практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: виклики 2021 року» ІТГІП НАНУ, Київ, 2021.

Публікації. Результати дисертаційного дослідження опубліковано в 19 наукових працях, серед яких 5 статей у наукових фахових періодичних виданнях з технічних наук, рекомендованих Міністерством освіти і науки України; 1 стаття науковому періодичному виданні, 2 статті у колективній монографії за матеріалами XXI і XX міжнародних науково–практичних конференцій, 11 тез доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій, в тому числі 2 доповіді, які індексуються міжнародній базі Scopus.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 150 сторінок, з них: 140 сторінки основного тексту, ілюстрованого 26 рисунками і 8 таблицями; список використаних джерел зі 212 найменувань на 24 сторінках; 4 додатків на 11 сторінках. За структурою, мовою та стилем викладення дисертація відповідає вимогам МОН України. Робота написана грамотною українською мовою з використанням сучасної наукової термінології, а стиль викладення матеріалу є послідовним та логічним.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ

1.1 Основні впливові фактори забруднення атмосферного повітря великих міст України

Стан атмосферного повітря є важливим фактором, що впливає на якість життя та здоров'я населення. Аналіз якості повітря в Києві показує, що значна частина, приблизно 85%, викидів припадає на мобільні джерела, такі як транспорт, тоді як лише 15% походить від стаціонарних джерел, включаючи промислові комплекси [1]. Моніторингові дослідження, проведені в Києві, показують, що енергетичні компанії, зокрема ТЕС–5, ТЕС–6, ПрАТ «Київгаз», КП «Київтеплоенерго» та завод «Енергія», становлять 90% стаціонарних джерел забруднення. Щорічно вони виробляють понад 25 000 тонн забруднюючих речовин і до 5 мільйонів тонн вуглекислого газу. Портал IQAir вказує, що в період з 2019 по 2020 рік столиця України постійно входила до десятки міст світу з найвищим рівнем забруднення атмосфери [2]. За статистичними даними Національного бюро статистики України, станом на 2021 рік загальний обсяг викидів забруднюючих речовин з мобільних джерел в атмосферу досяг 1 546 800 тонн [3], що становить 37,4 кг на душу населення України. В українських містах, зокрема в Києві, найвищі рівні токсичних речовин фіксуються на перехрестях і поблизу світлофорів. Приблизно половина викидів, що утворюються в межах міста, походить з доріг з низькою швидкістю руху, а менше чверті — з доріг з високою швидкістю руху [4–6].

Однак, багато дослідників зазначають, що при оцінці змін якості забруднення атмосферного повітря в м. Києві до і після початку військових дій спостерігається позитивна динаміка щодо покращення моніторингових показників [1, 7, 8]. У щорічному світовому рейтингу IQAir World Air Quality Report, Київ в 2022 році увійшов до тридцяти столиць світу з найкращими

показниками стану атмосферного повітря, на що вплинуло введення воєнного стану в Україні, зменшення кількості транспорту та інтенсивності роботи підприємств у столиці. Опинившись між Мадридом та Токіо, Київ посів 26 місце рейтингу, потрапивши до так званої «зеленої» зони. Згідно з даними рейтингу, концентрація пилу фракції $PM_{2.5}$ мкм у Києві за минулий рік знизилася на 50% – з 18,8 до 9,5 mg/m^3 [8].

На рис.1.1 нами зроблено аналіз щодо показників світового рейтингу за частками $PM_{2.5}$ мкм для України на протязі останніх років.

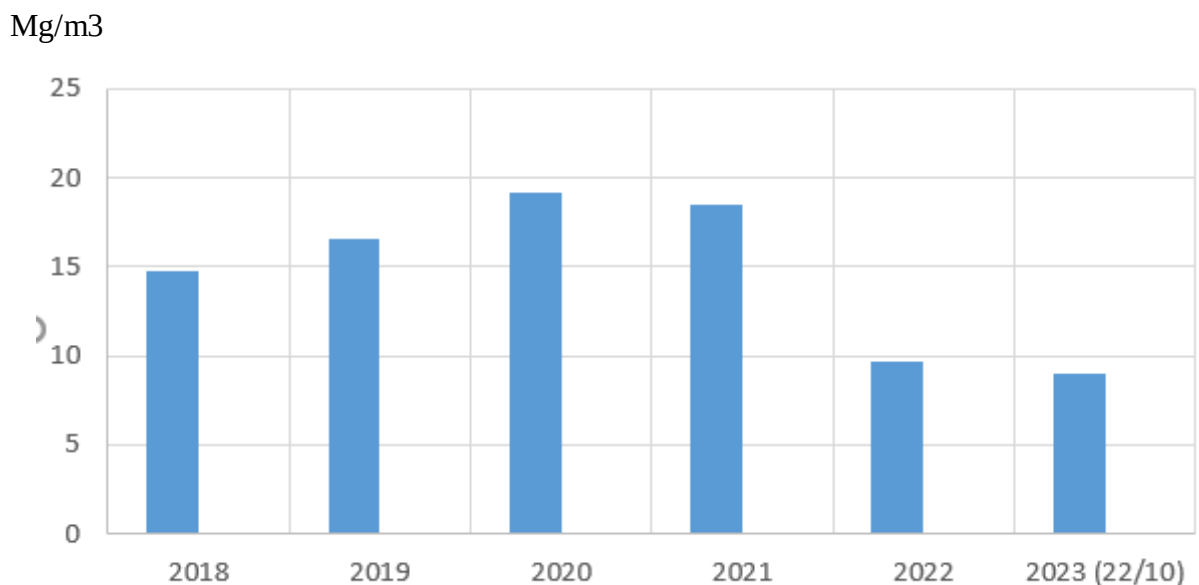


Рис. 1.1. Дані забруднення атмосферного повітря України на основі середньорічної концентрації $PM_{2,5}$ (mg/m^3) [2].

Основні забруднювачі атмосферного повітря в місті – тверді частинки пилу (PM_{10} і $PM_{2.5}$), двоокис азоту (NO_2), двоокис сірки (SO_2), вуглеводні (C_nH_m), альдегіди ($RCHO$), оксид вуглецю (CO), важкі метали (арсен, кадмій, нікель, ртуть), формальдегід (CH_2O), недиференційовані частинки та бенз(а)пірен ($C_{20}H_{12}$).

Аналізуючи фактори, що сприяють погіршенню якості повітря в найгірші періоди, необхідно визнати значний вплив метеорологічних умов. Підвищена вологість повітря, мінімальна вітряність та явище температурної інверсії, коли

температура повітря підвищується з висотою, разом перешкоджають розсіюванню забруднюючих речовин в атмосфері. Серйозні явища, такі як лісові пожежі та пилові бурі, значно впливають на показники якості повітря.

В роботах багатьох авторів, як закордонних, так і вітчизняних, встановлено кореляційні залежності між основними показниками забруднення та метеорологічними факторами місцевості [9–17] та багато інших.

В умовах глобальної зміни клімату, фактори навколишнього середовища становлять додатковий ризик для здоров'я міського населення [18, 19]. Аномальне підвищення температури в спекотні літні місяці року в останнє десятиліття, вологість повітря, швидкість вітру призвели до збільшення ризиків для здоров'я населення, що вимагає додаткових заходів щодо адаптації галузей економіки до глобальних кліматичних змін. Для будівельної галузі це перш за все – необхідність коригування і приведення у відповідність міжнародних стандартів і вимог з вітчизняними містобудівними нормами і рекомендаціями.

Одним з основних забруднювачів є аерозольні частки в атмосфері, які можуть утворюватися як природним (вулкани, пожежі, пилові бурі, морський спрей тощо), так і антропогенним шляхом (горючі корисні копалини, горіння 82 стерні, електростанції, опалення будинків, дорожній пил, мокрий спосіб охолодження в промислових процесах та ін.). В залежності від форми, розміру та розчинності аерозолі здійснюють вплив на здоров'я населення, який в більшості на території населених міст носить негативний характер. Останніми дослідженнями закордонних авторів доведено, що рівень захворюваності COVID–19 знаходиться в прямій залежності із концентрацією аерозольних часток в атмосферному повітрі урбанізованих територій [20]. Це також підтверджується діаграмою, яка представлена на рис. 1.2 за джерелом [21], яка показує типи та розподіл розмірів атмосферних твердих часток в мікрометрах, з якої видно, що діапазон 0,001 до 0,01 містить категорію «віруси» та джерелом [22]

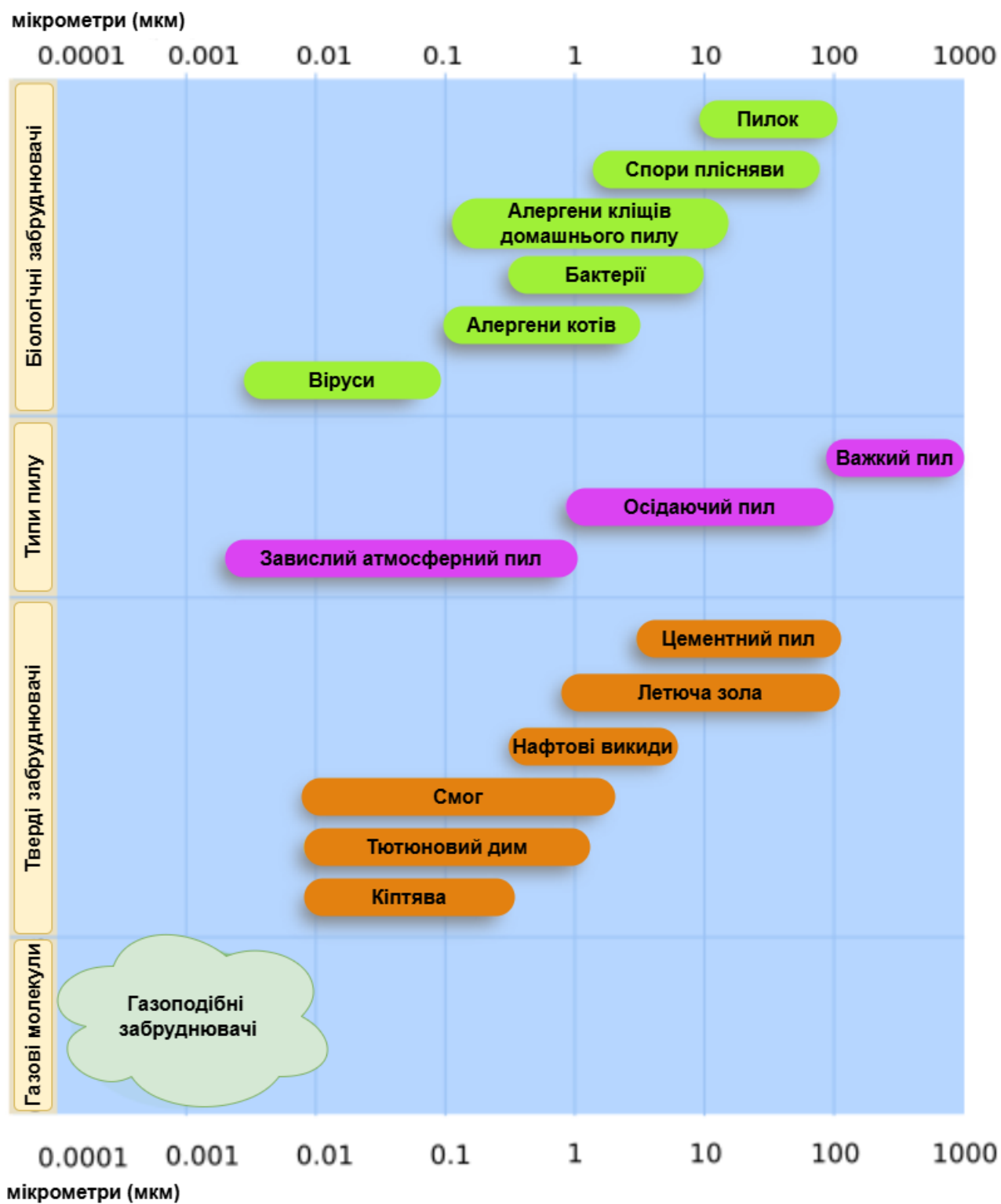


Рис. 1.2. Шкала розмірів атмосферних твердих часток

На сьогоднішній день є можливим встановити зв'язок між даними моніторингових спостережень за пиловим забрудненням повітря в міському середовищі та розповсюдженням захворюваності населення на протязі конкретного року. Дослідження проводяться за розробленою в [19] наступною

методикою на прикладі м. Києва В природних умовах запобігти проникненню в організм цих супертонких часток не є можливим.

Алгоритм дослідження можна сформулювати таким чином: – шляхом ретельного вивчення концентрації твердих частинок в атмосфері, отриманих в результаті моніторингових спостережень, ми встановлюємо ймовірну логарифмічну залежність їх розподілу за фракціями, що залежить від конкретних метеорологічних умов, таких як вологість і температура; – використовуючи цю залежність, можна сформулювати гіпотези щодо наявності ультрадрібних фракцій (менше 0,1 мікрметра) в атмосферному середовищі. Частинки розміром понад 0,1 мікрметра ефективно фільтруються природними захисними механізмами організму під час дихання; – аналіз кореляції між вдиханням аерозолів такого розміру та впливом забруднення повітря на здоров'я людини; – дослідження впливу глобальних кліматичних змін на проникнення патогенних бактерій в організм людини. Дані дослідження мають потенціал для майбутніх досягнень у сфері пом'якшення впливу аерозолів на здоров'я людини, а також для розробки більш досконалих методів очищення у виробничих процесах та вдосконалення технологій повітрообміну в сучасних будівлях і спорудах.

Розуміння формування концентрацій аерозолів на міських територіях вимагає розгляду всіх факторів емісій, як антропогенних, так і природних, а також факторів, які пов'язані з глобальними кліматичними змінами (надзвичайні ситуації природного та техногенного походження, лісові пожежі, сухотії, спалювання сільськогосподарських відходів тощо).

Для кількісної оцінки та прогнозу змін аерозольного забруднення в глобальних математичних моделях останнім часом присвячено багато робіт закордонних авторів [23–25]. Ці дослідження враховують як дані моніторингових досліджень атмосферного повітря з наземних та дистанційних джерел спостережень, так і існуючі на даний час математичні моделі формування і перенесення забруднень на великі відстані (для прикладу, модель ЕМАС). В роботі [26] автори на основі розгляду забруднення формування аерозольними частками міських територій в різних провінціях Китаю дійшли висновку, що

ступінь забруднення атмосферного повітря урбанізованих територій знаходиться в прямій залежності від процесів вторинного перетворення як антропогенних, так і природних викидів. При цьому левову частку в забрудненні атмосферного повітря складають надзвичайні ситуації природного та антропогенного характеру (пожежі в екосистемах, спалювання сільськогосподарських відходів тощо). В приведених роботах підкреслюється недооцінка спалювання біомаси в моделях та важливість врахування цього компоненту. Що стосується забруднення аерозольними частками урбанізованих територій на регіональному та обласному рівнях, то на даний час існує потреба в оцінці вкладу природних емісій аерозолу в забруднення атмосферного повітря частками $PM_{2,5}$ та менше. Вибір розміру часток в дослідженнях залежить від засобів моніторингових спостережень та ступеню впливу цих домішок в повітрі на стан здоров'я міського населення.

Ґрунтуючись на даних дослідженнях, на рис. 1.3 нами було розроблено концепцію формування забруднення на міських територіях з врахуванням метеорологічних факторів та глобальних кліматичних змін. Атмосферний пил спричиняє радіаційний виклик клімату прямим і непрямим впливом. Частинки пилу розсіюють короткохвильове випромінювання Сонця назад у космос, що може посилити альбедо Землі. Непрямі ефекти виникають внаслідок попадання частинок пилу діючи як ядра конденсації хмар та можуть впливати на концентрацію крапель та відбивна здатність хмар, а тим самим впливати на опади в залежності від їх мінералогії та розчинності аерозольних часток.

Для прийняття управлінських рішень щодо міського планування при будівництві та реконструкції місцевості повинні бути враховані всі впливові фактори, які визначають забруднення території міста.

Поняття про новаторську систему моніторингу повинно ґрунтуватися на взаємозв'язку між усталеними математичними моделями, статистичними кореляціями та даними, отриманими з існуючих систем моніторингу.

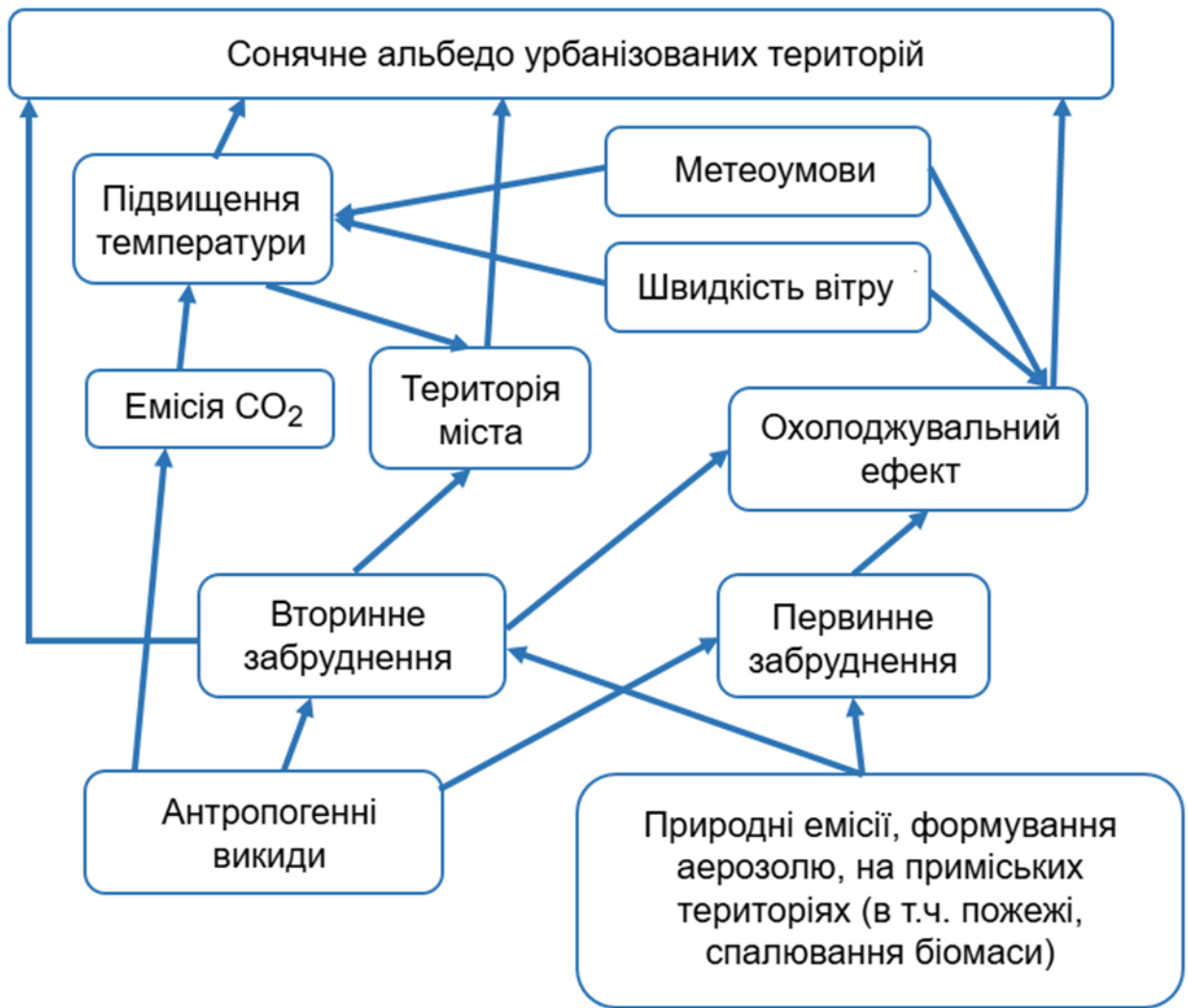


Рис. 1.3. Схема концепції формування забруднення аерозольними частками в умовах глобальних кліматичних змін на міських територіях

1.2 Вплив атмосферного забруднення на самопочуття населення Києва та інших великих міських центрів України

Якість атмосферного повітря в міських умовах значно сприяє поширенню захворювань серед міського населення. Міністерство охорони здоров'я повідомляє, що в 2020 році 78 % передчасних смертей від інфарктів та інсультів в Україні були пов'язані із забрудненням повітря. Всесвітня організація охорони здоров'я повідомляє, що Україна посідає 15-те місце у світі та 5-те місце в Європі за рівнем смертності, пов'язаної із забрудненням повітря [4].

Як зазначено в попередньому абзаці, останні дослідження, проведені вітчизняними та іноземними вченими, ретельно дослідили взаємозв'язок між забрудненням повітря та метеорологічними змінними [27–32]. За допомогою точних математичних аналізів та статистичних кореляцій ці дослідження виявили зв'язок між викидами CO, NO_x, CO₂ та СНО (що охоплюють як первинні, так і вторинні забруднювачі, що виникають в результаті фотохімічних реакцій в атмосфері) та кліматичними умовами, що переважають в міських умовах. Для розробки стійких статистичних тенденцій, які зазвичай моделюються за допомогою тригонометричних функцій або поліноміальних рядів, були використані дані, отримані в результаті всебічних спостережень. Що стосується забруднення атмосферного повітря в міських умовах, особливо аерозольних частинок в умовах глобальних кліматичних змін, очевидно, що ці дослідження потребують додаткового вивчення. Це пов'язано зі складною взаємозалежністю між забрудненням атмосферного повітря аерозольними частинками розміром від 0,1 до 0,001 мкм у великих містах та переважаючими місцевими кліматичними умовами, такими як температура та вологість, а також їхнім впливом на здоров'я населення. Тверді частинки діаметром менше 2,5 мкм в атмосфері міст є важливим фактором, що впливає на частоту підтверджених випадків захворювань серед населення [33].

Давайте розглянемо взаємозв'язок між забрудненням атмосфери пилом, температурою та поширенням COVID–19 серед населення.

Згідно з аналізом, представленим різними вченими, 20% зростання індексу забруднення повітря AQIPM2.5 корелює з прогнозованим подвоєнням випадків COVID–19 [34–37]. Отже, [34] пропонує оцінку можливої кореляції між забрудненням повітря, що характеризується твердими частинками (PM), та поширенням COVID–19 в Італії. Дослідження [35–37] також зосередилися на питанні передачі вірусу між людьми і на основі аналізу даних моніторингу продемонстрували, що вищий рівень інфікування корелює з вмістом твердих частинок (PM) в повітрі. Дослідження показують, що фракції PM2,5 та PM10 можуть виступати переносниками різних хімічних та біологічних

забруднювачів, включаючи віруси. Віруси можуть прилипати до твердих частинок шляхом коагуляції, яка може включати як тверді, так і рідкі компоненти, і зберігатися в атмосфері від декількох годин до декількох тижнів. На процес інактивації вірусів впливають конкретні фактори навколишнього середовища: підвищена температура та сонячна радіація можуть прискорити інактивацію, тоді як підвищена відносна вологість може сприяти швидкості дифузії. Частинки розміром понад 0,1 мкм ефективно уловлюються вродженими захисними механізмами організму під час вдихання.

Наукові дослідження, на які посилаються автори, пояснюють взаємозв'язок між передачею вірусу серед сприйнятливого населення та твердими частинками. Автори стверджують, що на передачу Covid-19 впливає рівень вологості повітря, як у зовнішньому, так і в приміщенні. Взаємозв'язок між вологістю повітря та концентрацією забруднюючих речовин в атмосфері, проілюстрований на конкретних прикладах окремих забруднюючих речовин, обговорюється в [38].

Дані, отримані в результаті моніторингових досліджень за конкретні місяці 2020 та 2021 років, були взяті з глобальної мережі автоматичних сонячних фотометрів AERONET, а також з онлайн-системи LUN у різних містах України. У процесі визначення взаємозв'язку між індексом якості повітря AQIPM2.5 та захворюваністю на Covid-19 оцінка кількості інфікованих осіб проводилася з урахуванням чотирнадцятиденного інкубаційного періоду [39]. У процесі визначення кореляційних залежностей припускається, що концентрація цих фракцій в атмосферному повітрі нижча за 0,1 мікрметра, про що свідчать дані моніторингу частинок PM2,5 мікрметра.

Кореляція між концентраціями PM2,5 та температурними умовами в Києві протягом березня 2020 року, за даними окремих спостережних постів, показана на рисунках 1.4 та 1.5.

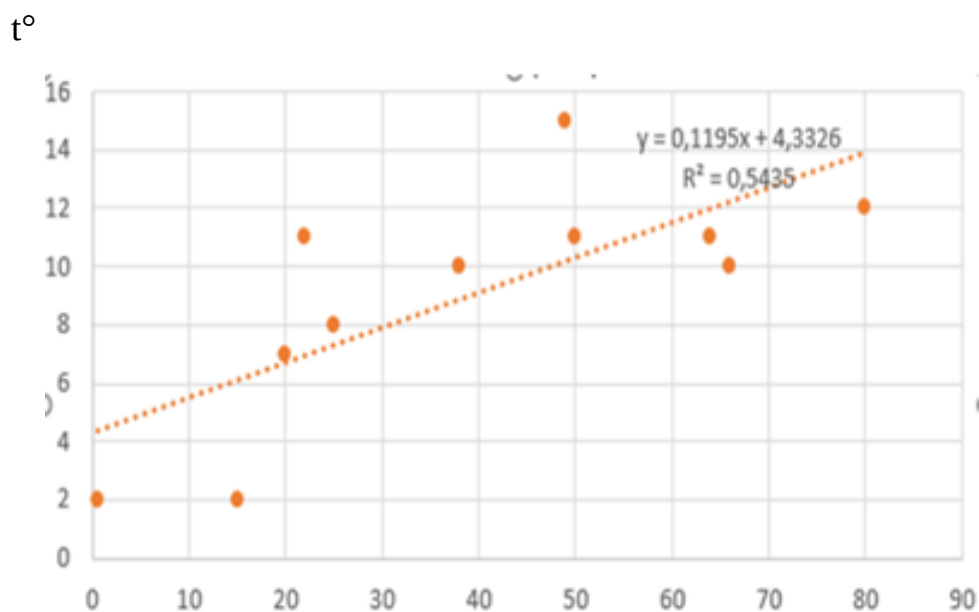


Рис. 1.4. Кореляція між рівнями концентрації та тимчасовим потоком в атмосферному повітрі Києва, за даними, зібраними в березні 2020 року на вулиці Попудренка.

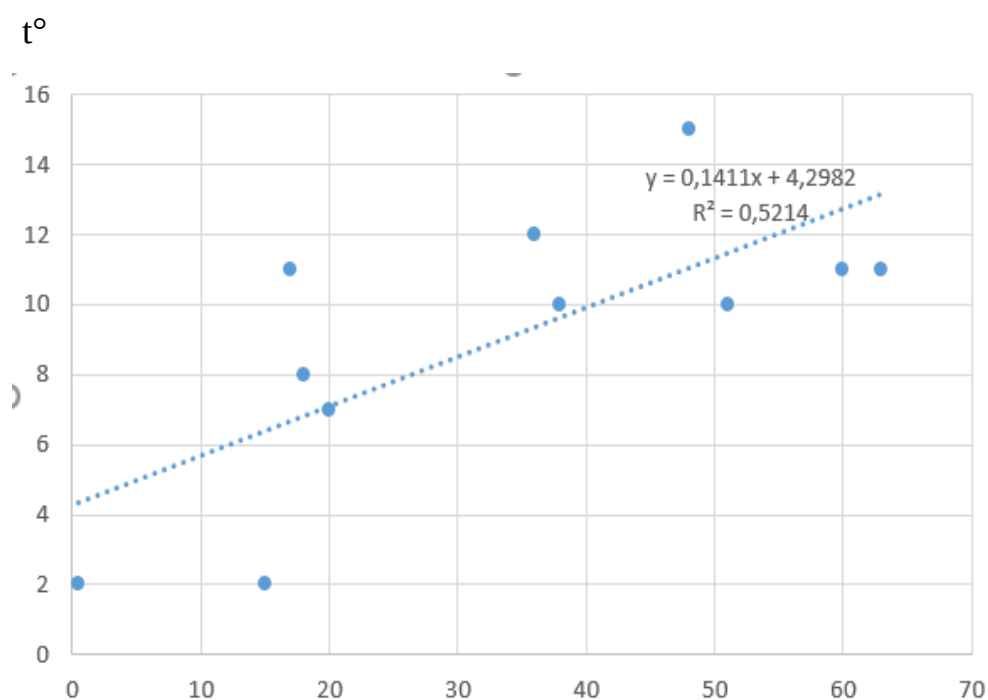


Рис. 1.5. Кореляція між рівнями концентрації та тимчасовим потоком в атмосферному повітрі Києва, отриманий на основі зважених середніх даних за березень 2020 року, вздовж вулиць Тростянецької, Проспекту Науки, Голосіївської та Артема.

Графіки, представлені на рис. 1.4 та рис. 1.5, отримані в різних місцях Києва, прилеглих до значних автомагістралей, підтверджують наявність кореляції між показниками температури та рівнями забруднення атмосфери аерозолями PM_{2,5}. Автори виявили аналогічні залежності, які найточніше характеризуються поліноміальними залежностями з порівнянними коефіцієнтами кореляції, для додаткових місяців у період з 2020 по 2021 рік. У документі наведено графіки, що ілюструють кореляцію між вологістю повітря, температурними умовами та концентрацією забруднюючих речовин в атмосфері для конкретних компонентів, як зазначено в [38].

Аналіз даних моніторингу з різних систем виявив імовірнісний характер розподілу аерозольних частинок в атмосфері. Отже, інтегральні криві, що відображають розсіювання аерозольних частинок в імовірісно–логарифмічній системі координат, мають лінійну форму [33].

На рисунку 1.6 показано кореляція між індексом атмосферного повітря AQIPM_{2.5} у Києві та даними, що відображають зростання випадків Covid–19, представленими в поліноміальних та логарифмічних координатах.

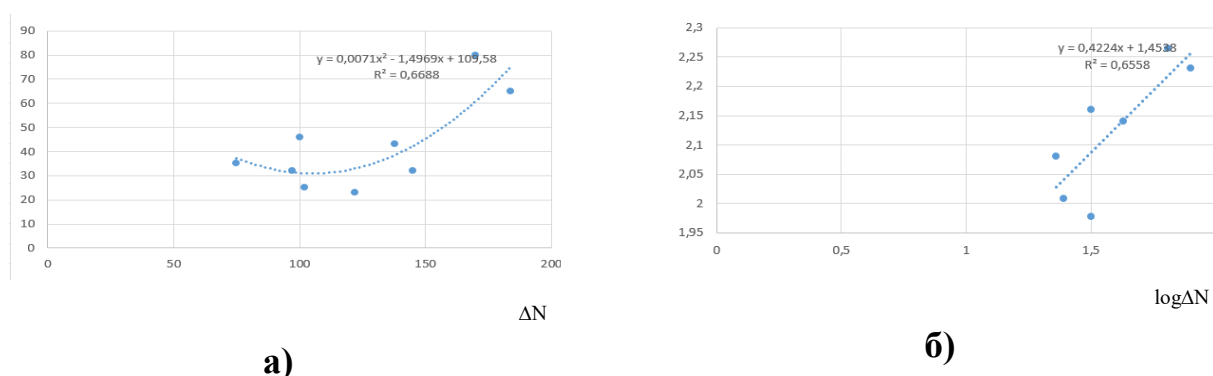


Рис. 1.6. Кореляція між індексом атмосферного повітря AQIPM_{2.5} у Києві та даними, що відображають зростання випадків Covid–19: а) залежність у поліноміальних координатах; б) залежність у логарифмічних координатах

Залежності в поліноміальних і логарифмічних координатах для Одеси в період з травня по червень 2021 року показані на рис. 1.7, а для Рівного за той самий період — на рис. 1.8. Порівнянні залежності для інших міст України

показано на рис. 1.9 (Миколаїв), рис. 1.10 (Харків), рис. 1.11 (Івано–Франківськ) та рис. 1.12 (Кропивницький).

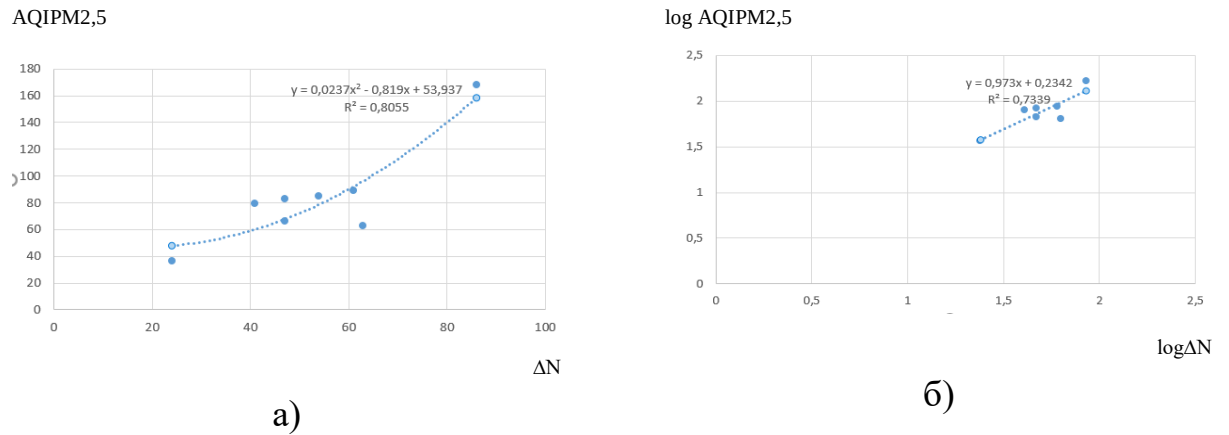


Рис 1.7. Кореляція між індексом атмосферного повітря AQIPM2.5 в Одесі та зростанням випадків Covid–19: а) залежність у поліноміальних координатах; б) у логарифмічних координатах

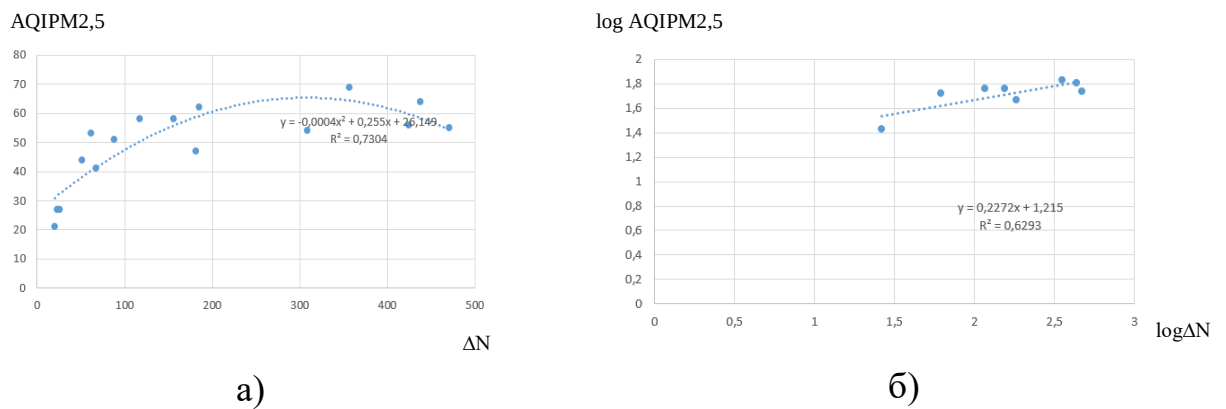
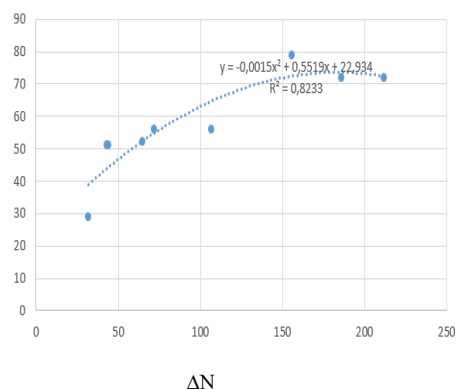


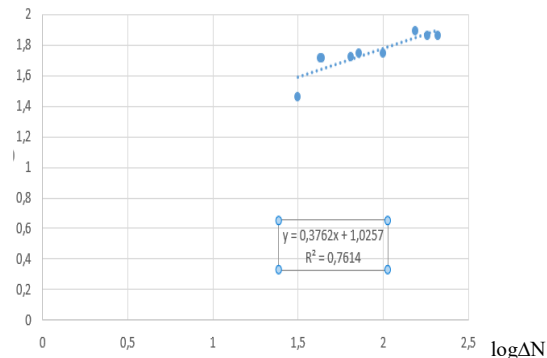
Рис 1.8. Кореляція між індексом атмосферного повітря в Рівному AQIPM2.5 та спостережуваним зростанням випадків Covid–19: а) залежність у поліноміальних координатах; б) у логарифмічних координатах.

AQIPM2,5



а)

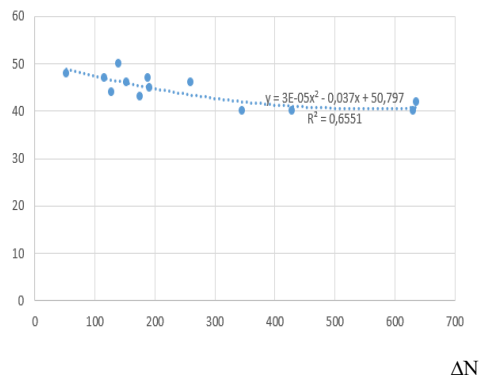
log AQIPM2,5



б)

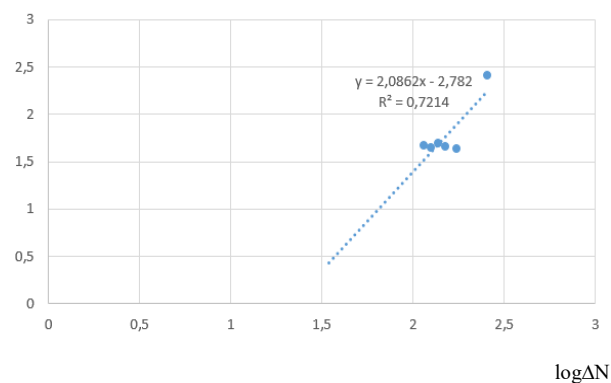
Рис 1.9. Кореляція між індексом атмосферного повітря AQIPM2.5 у Миколаєві та зростанням випадків Covid–19: а) залежність у поліноміальних координатах; б) залежність у логарифмічних координатах

AQIPM2,5



а)

log AQIPM2,5



б)

Рис 1.10. Кореляція між індексом якості атмосферного повітря в Харкові AQIPM2.5 та спостережуваним зростанням випадків Covid–19: а) залежність у поліноміальних координатах; б) залежність у логарифмічних координатах

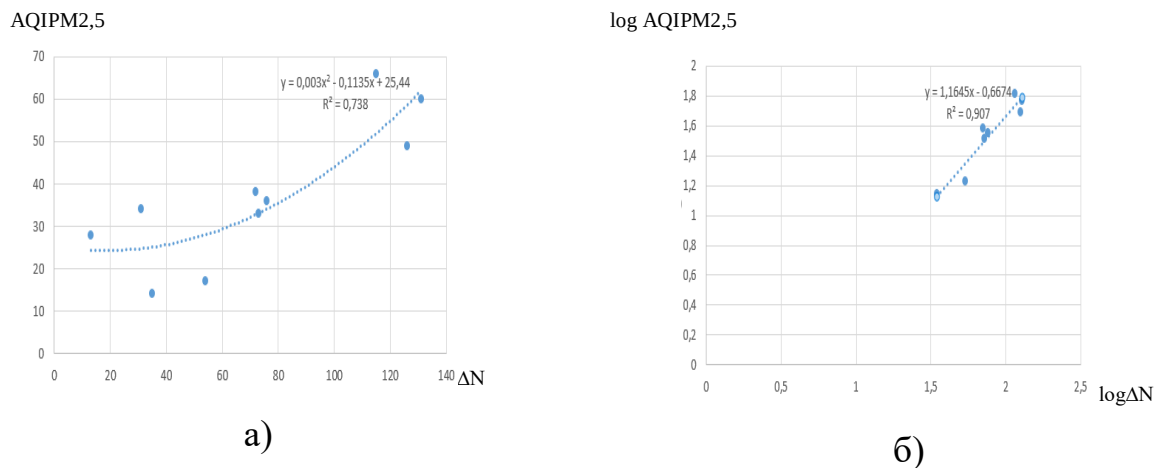


Рис 1.11. Кореляція між індексом атмосферного повітря в Івано–Франківську AQIPM2.5 та спостережуваним зростанням випадків Covid–19: а) залежність у поліноміальних координатах; б) залежність у логарифмічних координатах

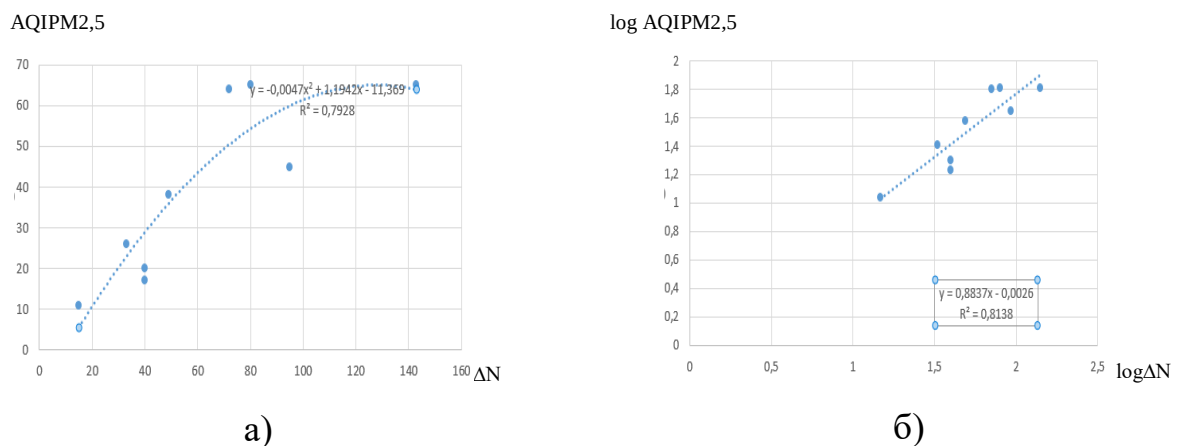


Рис 1.12. Кореляція між індексом якості атмосферного повітря в Кропивницькому AQIPM2.5 та зростанням випадків Covid–19: а) залежність у поліноміальних координатах; б) у логарифмічних координатах

Рівняння лінійної регресії, а саме $\log(\Delta N = \log(\text{AQIPM2.5}))$, разом із коефіцієнтами кореляції, що ілюструють логарифмічні залежності між індексами якості повітря AQIPM2.5 та зростанням захворюваності на Covid–19 у різних містах, розташованих у різних природних і кліматичних зонах, наведено в таблиці 1.1.

Табл. 1.1. Коефіцієнти кореляції отриманих залежностей

№ п/п	Місто	Рівняння лінійної регресії $\log(\Delta N = \log(AQIPM2,5))$	Коефіцієнт кореляції
1	Київ	$y = 0,422x + 1,4538$	0,6558
2	Одеса	$y = 0,973x + 0,2342$	0,7339
3	Рівне	$y = -0,0004x^2 + 0,255x + 26,149$	0,7304
4	Миколаїв	$y = 0,3762x + 1,0257$	0,7614
5	Харків	$y = 2,0862x - 2,782$	0,7214
6	Івано-Франківськ	$y = 1,1645x - 0,6674$	0,907
7	Кропивницький	$y = 0,8837x - 0,0026$	0,8138

Аналіз табличних даних показує, що коефіцієнти кореляції для українських міст, відповідно до встановлених залежностей, знаходяться в діапазоні від 0,65 до 0,9. Це дозволяє зробити висновок, що результати дослідження можуть бути використані для оцінки та прогнозування поширення інфекційних захворювань серед населення залежно від кліматичних факторів та ступеня забруднення атмосфери дрібними аерозолями, оскільки саме ці частинки можуть слугувати середовищем для адсорбції вірусів.

На основі проведеного дослідження можна зробити такі висновки:

Дані, зібрані по всій Україні, дають можливість інтегрувати інформацію з урахуванням різних природних і кліматичних зон. Така інтеграція полегшує оцінку та прогнозування поширення захворювань серед населення, особливо у зв'язку із забрудненням повітря в містах та специфічними місцевими кліматичними умовами.

Результати дослідження свідчать про сприятливі перспективи для вдосконалення стратегій, спрямованих на пом'якшення негативного впливу аерозольних частинок на здоров'я людини. Крім того, ці результати можуть сприяти вдосконаленню систем повітрообміну в сучасних будівлях та

промислових приміщеннях, зокрема шляхом впровадження передових технологій очищення повітря.

Очікувані результати матимуть значний практичний вплив у галузі будівельної інженерії, зокрема в поліпшенні мікроклімату в приміщеннях.

У дослідженні використовувалися дані моніторингу, зібрані з квітня по травень 2021 року, тобто в період, що передував широкомасштабній вакцинації в Україні. Будемо вважати, що це гарантує високу надійність і цілісність отриманих результатів

1.3 Взаємозв'язок воєнних дій та забруднення атмосферного повітря в м. Києві

1.3.1 Вплив воєнних дій на формування та випадіння кислотних опадів

Згідно з даними системи «Екозагроза» Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, атмосферне повітря зазнає найбільшого негативного впливу внаслідок воєнних дій на території країни. За оцінками Державної екологічної інспекції, станом на 4 листопада 2022 року, орієнтовні збитки від забруднення повітря становили 927 млрд грн, що склало 67,51 % від загальної суми екологічної шкоди (1 373 млрд грн) [40].

Суттєва частка шкоди атмосферному повітрю припадає на наслідки горіння нафтопродуктів — 49,36 млрд грн, лісових пожеж — 8,72 млрд грн, та загоряння різноманітних об'єктів — 6,98 млрд грн. Під час артилерійських обстрілів та вибухів в атмосферу вивільняється широкий спектр шкідливих газів і хімічних сполук: чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO₂), водяна пара (H₂O), бурий газ (NO), закис азоту (N₂O), діоксид азоту (NO₂), формальдегід (CH₂O), пари ціаністої кислоти (HCN), азот (N₂), сірчистий ангідрид (SO₂), а також велика кількість токсичних органічних речовин. Усі ці речовини, особливо CO₂ та H₂O, є парниковими газами, а оксиди сірки й азоту викликають кислотні дощі, що призводять до зміни кислотності ґрунтів, ураження рослин і негативного впливу

на здоров'я людини [41, 42]. За даними [43], лише один кілограм вибухівки може створити десятки кубометрів токсичних газів (SO_2 , NO_x , CO).

Кислотні опади впливають на організм людини, подразнюючи слизові оболонки, дихальні шляхи, викликаючи кашель, хрипоту, запаморочення, нудоту та навіть порушення функцій кровотворної й нервової систем, печінки, органів внутрішньої секреції. Зокрема, чадний газ утворює з гемоглобіном стійку сполуку — карбоксигемоглобін, що блокує перенесення кисню в тканини організму, спричиняючи гіпоксію.

Дослідження, проведені Міністерством з питань тимчасово окупованих територій у 2014 році, засвідчили перевищення гранично допустимих концентрацій діоксиду сірки та оксидів азоту у 5–8 разів після обстрілів м. Щастя (Луганська область) [44]. За даними Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського, у 2022 році в Києві після ракетних обстрілів фіксувалося зростання концентрацій NO_2 , SO_2 та загального рівня забруднення повітря [45].

У наукових публікаціях зазначається необхідність вивчення впливу воєнних дій на глобальні екологічні процеси в містах — зокрема, на частоту кислотних опадів та їхній вплив на довкілля і здоров'я населення. Такий аналіз вимагає врахування механізмів формування кислотних дощів у контексті атмосферного забруднення та метеорологічних факторів.

У роботі [46] на прикладі досліджень у північному Китаї встановлено, що 28% усіх опадів мали рН нижче 5,6, а серед кислотних проб 53 % були особливо кислими ($\text{pH} < 5,0$). Основними кислототворними компонентами виступали H_2SO_4 (72%) та HNO_3 (28%). Інші дослідження [47] показали, що на хімічний склад дощової води у місті Сіань впливають як місцеві, так і віддалені джерела забруднення, зокрема пил і викиди від спалювання вугілля. Аналіз у Ваньчжоу вказав на домінування антропогенних викидів сірки та зростаючий вплив азотної кислоти з 2000-х років.

Експериментальні та математичні дослідження [48–50] виявили зв'язок між локальними джерелами забруднення та хімічним складом атмосферних опадів, зокрема в контексті випадіння кислотних дощів. У роботах [51–53] на

основі багаторічного моніторингу в Києві зафіксовано тенденцію зниження рН опадів у період 2013–2017 років. Виявлено циклічні, сезонні та випадкові компоненти цього процесу, які зберігають стабільну динаміку.

Міграція сполук сірки в атмосфері, їхнє перенесення на великі відстані (до 1000 км) і перетворення в кислоти залежать від метеоумов, зокрема турбулентності повітря та вертикального температурного градієнта. Емісії в підхмарну зону і хмарний покрив можна описувати рівняннями турбулентного тепло– та масопереносу [54].

Незважаючи на велику кількість досліджень, більшість із них зосереджені на кислотних дощах, спричинених промисловими викидами. Натомість формування кислотних опадів унаслідок воєнних дій залишається малодослідженим питанням. У зв'язку з масштабною агресією Росії постає необхідність вивчення впливу вибухів та артилерійських обстрілів на кислотність атмосфери й випадіння кислотних опадів, з урахуванням можливого перенесення забруднень на значні відстані.

Таким чином, актуальним є створення ефективної методики оцінювання і прогнозування трансформації вибухових викидів у кислотні сполуки, з моделюванням їхнього подальшого осідання як у межах епіцентру вибуху, так і за його межами.

У цьому підрозділі представлено математичну модель процесів утворення та випадіння кислотних опадів у районах, прилеглих до зон артилерійських обстрілів. Модель враховує двовимірне тепло– та масоперенесення, кінетику конденсації, дифузію та конвекцію пари оксидів сірки.

На основі аналізу процесів утворення сірчаної кислоти сформульовано ключові чинники, що впливають на осідання кислотних частинок.

- початкова температура та концентрація сполук, що утворюються в атмосфері під час вибуху;
- сезонні метеоумови;
- розміри ядер конденсації;
- швидкість і напрямок вітру.

Постановка задачі формулюється так:

- основним кислотоутворюючим агентом вважається сірчаний ангідрид (SO_3), який утворюється внаслідок окислення сірчистого ангідриду (SO_2);
- поширення продуктів згоряння моделюється з урахуванням коефіцієнтів бінарної дифузії для суміші "повітря — забруднювач";
- використовується декартова система координат.

SO_3 утворюється в результаті реакції окислення SO_2 і, вступаючи у взаємодію з водяною парою, утворює сірчану кислоту, яка є основним компонентом кислотних дощів. Процес утворення H_2SO_4 , що визначає кислотність опадів, особливо інтенсивно відбувається за умов високої вологості та низької хмарності. Рівняння, що описує цю реакцію, наведено у [53]:



Реакція (1) відбувається майже миттєво і, в поєднанні з метеорологічними умовами, визначає інтенсивність випадання крапель. При формулюванні математичної моделі ми розглянемо наступні процеси:

1. Рух газоподібних побічних продуктів вибуху;
2. Зміна хімічного складу повітряного потоку;
3. Конвективний теплообмін частинок сірчаної кислоти з навколишнім середовищем.

Основні припущення, що лежать в основі формулювання моделі, такі:

1. Випаровування крапель під час руху не враховується;
2. Вплив сонячного випромінювання виключається;
3. Передбачається, що конденсаційний ядро має кубічну геометрію;
4. Краплі сірчаної кислоти вважаються жорсткими і не деформуються під час руху;
5. Обмін тепловою енергією з навколишнім середовищем не враховується;
6. На частинку впливають виключно сили тяжіння та опір повітря.

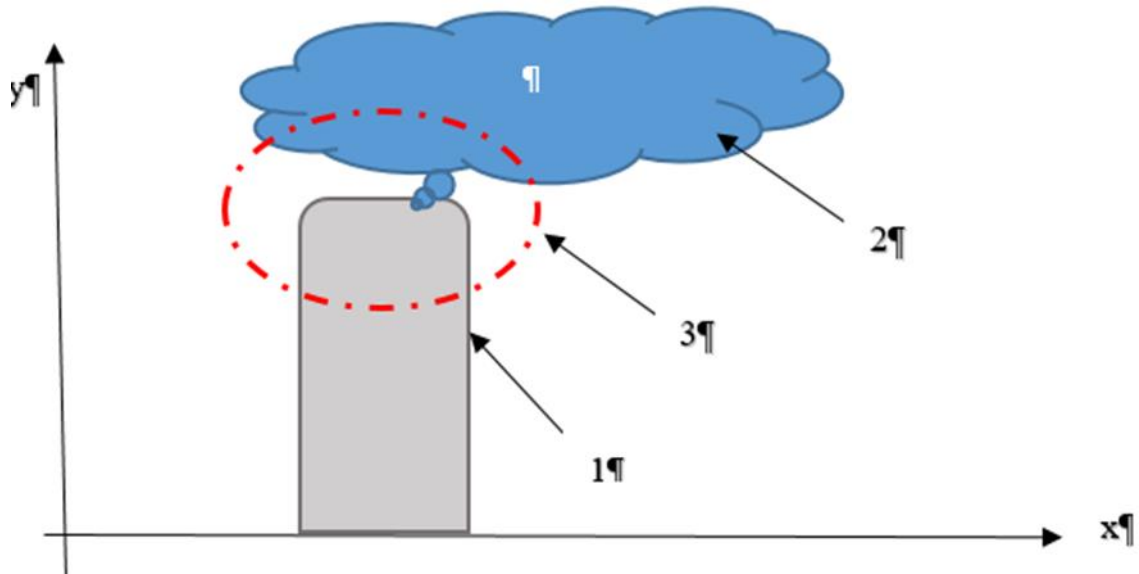


Рис.1.13. Схема формулювання проблеми: 1 – вибуховий стовп; 2 – траєкторія міграції вибухового газу; 3 – гіпотетичне локалізоване джерело викидів під час атмосферного розсіювання.

Для суміші повітряних забруднюючих речовин були використані коефіцієнти бінарної дифузії.

Конденсація діоксиду сірки відбувається зі швидкістю, яка коливається в часі, залежно від температури поверхні частинок, яка сама піддається часовим змінам. Це питання можна звести до вирішення наступної системи безрозмірних нестационарних диференціальних рівнянь в рамках наближення Бусінеска, супроводжуваних відповідними початковими та граничними умовами, що стосуються змінних швидкості вихору, функції потоку, температури та концентрації.

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + U \cdot \frac{\partial \Omega}{\partial X} + V \cdot \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re}} \cdot \left(\frac{\partial^2 \Omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial Y^2} \right) + \frac{\text{Gr}}{\text{Re}^2} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial X} \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} = -\Omega \quad (1.3)$$

$$\frac{\partial \Theta_1}{\partial \tau} + U \cdot \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} + V \cdot \frac{\partial \Theta_1}{\partial Y} = \frac{1}{Pr \cdot Re} \cdot \left(\frac{\partial^2 \Theta_1}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial Y^2} \right) + \frac{Q \cdot W_K \cdot \delta_0}{\rho \cdot C_P \cdot \Delta T} \quad (1.4)$$

$$\frac{\partial C_3}{\partial \tau} + U \cdot \frac{\partial C_3}{\partial X} + V \cdot \frac{\partial C_3}{\partial Y} = \frac{1}{Pr \cdot Se} \cdot \left(\frac{\partial^2 C_3}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 C_3}{\partial Y^2} \right) - \frac{W_3^K \cdot \delta_0}{\rho \cdot U_0} \quad (1.5)$$

$$\frac{\partial C_4}{\partial \tau} + U \cdot \frac{\partial C_4}{\partial X} + V \cdot \frac{\partial C_4}{\partial Y} = \frac{1}{Pr \cdot Se} \cdot \left(\frac{\partial^2 C_4}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 C_4}{\partial Y^2} \right) - \frac{W_3^K \cdot \delta_0}{\rho \cdot U_0} \quad (1.6)$$

$$\frac{1}{Fo} \cdot \frac{\partial \Theta_2}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial Y^2} \quad (1.7)$$

Рівняння руху частки в декартових координатах X і Y запишемо у вигляді:

$$\frac{dV_X}{d\tau} = - \frac{3 \cdot C_D \cdot \rho \cdot |V_X - U|^2}{8 \cdot \delta \cdot g} \quad (1.8)$$

$$\frac{dV_Y}{d\tau} = 1 - \frac{3 \cdot C_D \cdot \rho \cdot |V_Y|^2}{8 \cdot \delta \cdot g} \quad (1.9)$$

Швидкість конденсації розрахуємо за формулою [51]:

$$W^K = \beta \cdot \frac{P_A - P_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right)}{\sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot T}{M}}} \quad (1.10)$$

В даних (1.8–1.10) рівняння позначення наведені в Додатку Б.

Початкові умови рівнянь (1.2) – (1.9):

$$\begin{aligned} \Omega(X, Y, 0) &= 0, \quad V_X(X, Y, 0) = 0; \\ \Psi(X, Y, 0) &= 0, \quad V_Y(X, Y, 0) = 0; \\ \Theta(X, Y, 0) &= 0, \quad U(X, Y, 0) = 0; \\ C(X, Y, 0) &= 0, \quad V(X, Y, 0) = 0; \end{aligned} \quad (1.11)$$

Граничні умови рівнянь (1.2)–(1.9):

$$X = 0, 0 \leq Y \leq \delta_0: \frac{\partial \Theta}{\partial X} = 0, \Psi = 0, \Omega = 0 \quad (1.12)$$

$$X = 0, \delta_0 \leq Y \leq H: \Theta = \Theta_1, \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = U, \frac{\partial \Psi}{\partial X} = -V, C_3 = C_0 \quad (1.13)$$

$$X = \delta_0, 0 \leq Y \leq \delta_0: \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{\partial \Theta_2}{\partial X} + \frac{Q \cdot W_i^K \cdot \delta_0}{\Delta T \cdot \lambda_1}, \Theta_1 = \Theta_1, \quad (1.14)$$

$$\frac{\partial C_3}{\partial X} = \frac{W_i^K \cdot \delta_0}{D \cdot \rho}, \Psi = \Omega = 0$$

$$X = L, 0 \leq Y \leq H: \Theta = \Theta_1, \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} = 0, \frac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \frac{\partial \Omega}{\partial X} \quad (1.15)$$

$$Y = 0, 0 \leq X \leq \delta_0: \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = 0, C_3 = 0, \Psi = 0, \Omega = 0 \quad (1.16)$$

$$Y = 0, \delta_0 \leq X \leq L: \Theta = \Theta_1, C_3 = C_0, \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = U, \frac{\partial \Psi}{\partial X} = -V \quad (1.17)$$

$$Y = \delta_0, 0 \leq X \leq \delta_0: \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{\partial \Theta_2}{\partial X} - \frac{Q \cdot W_i^K \cdot \delta_0}{\Delta T \cdot \lambda_1}, \Theta_1 = \Theta_2, \quad (1.18)$$

$$\frac{\partial C_3}{\partial X} = \frac{W_i^K \cdot \delta_0}{D \cdot \rho}, \Psi = \Omega = 0$$

$$Y = H, 0 \leq X \leq L: \Theta = \Theta_1, \frac{\partial C_3}{\partial Y} = 0, \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = 0, \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = 0 \quad (1.19)$$

Розв'язання цієї системи можна підійти за допомогою чисельних методів, зокрема методом кінцевих різниць. Проте для початкової оцінки з використанням певних припущень та узагальнень можна застосувати аналітичний підхід, як показано в [53]. Автори дослідження [55] подають порівняльний аналіз обох методів, застосованих для вирішення проблеми

тепловиділення з значного джерела в тепловій електростанції, виявивши середню розбіжність у 21 %.

У конкретному випадку було проведено розрахунок вибуху в нейтральних атмосферних умовах. Аналіз було проведено для окремої крилатої ракети «Калібр», яка має стартову вагу 1400 кг і вагу боєголовки 450 кг. Діаметр воронки, що утворюється в результаті одиничного вибуху, створює конвективний потік над землею на висоті 10 м, який простягається приблизно до 3Н в нейтральних атмосферних умовах. Результати показують, що пікова концентрація сірчистого газу досягає 1,9 рази більше встановленого нормативу 0,95 мг/м³ на відстані 500 м від місця вибуху.

У нейтральних атмосферних умовах для визначення концентрації SO₂ у верхніх шарах забрудненого струменя можна застосовувати принципи, що регулюють конвективні струмені, які виникають від теплового джерела. У даному випадку ми оцінили швидкість теплового повітря, що піднімається над зоною вибуху, середню температуру в перехідній частині конвективного струменя та швидкість потоку забрудненого повітря у верхній частині струменя. Ця методологія полегшує визначення зон впливу конкретних речовин та їх розподілу від місця вибуху

1.3.2 Утворення викидів забруднюючих речовин в атмосферу в результаті дискретних вибухів, спричинених військовими операціями в нейтральних атмосферних умовах

Як зазначалося раніше, за нейтральних атмосферних умов розсіювання сірчистого ангідриду можна обчислити за допомогою спрощеного рішення, що використовує теорію конвективних струменів, які виходять з теплового джерела в навколишнє середовище, а також визнану методологію прогнозування метеорологічних умов, що сприяють формуванню рівнів забруднення повітря в міських районах України.

Запропонована методологія, заснована на принципах конвективних струменів, оцінює концентрації небезпечних речовин, що утворюються в зоні горіння після вибуху. Цей підхід полегшує прогнозування потенційних кислотних опадів у районах, що оточують ізольовані вибухи, тим самим дозволяючи передбачити зміни екологічного ризику для екосистеми та населення внаслідок військових операцій. Крім того, він дозволяє визначити зони впливу та характер розповсюдження від місця вибуху.

Запропонована методологія полегшує отримання даних про концентрації забруднюючих речовин у сценаріях, коли викиди потрапляють у відкриту атмосферу під впливом сонячного випромінювання на висоті, що досягає трьох або більше діаметрів воронки вибуху (або еквівалентного діаметра нагрітої поверхні). Це включає врахування температури та швидкості струменя гарячого повітря над нагрітою поверхнею, а також швидкості потоку речовини, що досліджується. Складність утворення теплового купола над нагрітою поверхнею в міських умовах ретельно пояснюється за допомогою рівняння руху забрудненого повітря, його параметрів та теплової потужності джерела, як зазначено в [55]. Цей підхід базується на визначенні параметрів конвективного струменя за допомогою інтегрального методу, запропонованого Л. Ейлером. Він ґрунтується на принципі, що зміни вхідних і вихідних потоків у заданому об'ємі рівні, а також сумарні імпульси об'ємних активних і реактивних сил. Модель конвективного струменя полегшує оцінку утворення купола забруднення над місцем вибуху, залежно від метеорологічних умов в районі. Ми стверджуємо, що ця методологія може бути застосована для аналізу теплих забруднених струменів в умовах одиничного вибуху.

Встановлення основних траєкторій поширення забруднення повітря залежить від конкретних метеорологічних умов у регіоні та їх різних комбінацій. Основні метеорологічні фактори включають швидкість вітру, турбулентність атмосфери в приземному шарі та стратифікацію температури у вертикальному профілі (адіабатична, інверсійна та шарувата). Використовуючи критерій

Річардсона Ri існують сталі $Ri > 1$, нестабільні $Ri < 1$ і нейтральні при $Ri \approx 1$ умови атмосфери

Згідно:

$$Ri = \frac{g^* \left(\frac{dt}{dH} - A \right)}{T^* \left(\frac{du}{dH} \right)^2} \quad (1.20)$$

Нейтральність виникає, коли елементи, що спричиняють дестабілізацію та стабілізацію атмосфери, знаходяться в рівновазі. Вектори, що представляють приплив атмосферного повітря, орієнтовані під прямим кутом до вертикальної осі системи. Ми будемо намагатися застосувати методологію оцінки розвитку купола забруднення над місцем вибуху, зосередившись на конкретному випадку окремого вибуху.

Питома енергія вибухових матеріалів становить 4184 Дж/г. У випадку крилатої ракети «Калібр», яка має боєголовку масою 450 кг, тепло, що виділяється на одиницю площі горіння, становить $1,88 \times 10^9$ Дж, що еквівалентно 449 330,78 ккал. Натомість ракета Х-101, оснащена боєголовкою масою 400 кг, має тепловий вихід $1,67 \times 10^9$ Дж, або 339 139,57 ккал. Крім того, середньо-магістральна зенітна ракета «БУК-М1» з боєголовкою вагою від 50 до 70 кг виробляє тепло на одиницю площі згоряння $2,5 \times 10^8$ Дж, що відповідає 59 751,43 ккал [56]. Кількісна оцінка викидів конкретних кислотоутворюючих речовин та парникових газів наведена в таблиці 1.2. Точні коефіцієнти викидів для різних речовин були отримані на основі конкретних припущень, виходячи з усталеної методології розрахунку неорганізованих викидів забруднюючих речовин або їх сумішей, зокрема в умовах надзвичайних ситуацій та/або під час воєнного стану, а також для оцінки масштабів завданих збитків. Затверджено директивою Міністерства охорони навколишнього природного середовища та природних ресурсів України від 13 квітня 2022 року за номером 175 [58].

Табл. 1.2. Визначення маси окремих речовин, що виділяються під час детонації крилатої ракети «Калібр», ракети Х-101 та снаряда БУК-М1.

№	Забруднююча речовина	Середній коефіцієнт питомих викидів, т/т	Маса згорілої речовини, М, т; Крилата ракета «Калібр»/ ракета Х-101/ снаряд «БУК-М1)	Викид, Мв,т Крилата ракета «Калібр»/ ракета Х-101/снаряд «БУК-М1)
1	Діоксид азоту, NO _x	0,0014	0,540/0,400/ 0,070	0,000756/0,00056/0,000098
2	Сірчистий ангідрид, SO _x	0,000013	0,540/0,400/ 0,070	0,000007/0,0000052/0,00000009
3	Вуглецю діоксид, CO ₂	3,449	0,540/0,400/ 0,070	1,86246/1,3796/0,24143
4	Вуглецю оксид, CO	0,0063	0,540/0,400/ 0,070	0,0034/0,00252/0,000441
5	Тверді речовини, ОКВЧ+PM10+PM2,5 (сажа)	0,0026	0,540/0,400/ 0,070	0,001404/0,00104/0,000182

Розбіжність між середньою температурою повітря на поверхні горіння та найбільш звуженим поперечним перерізом висхідного теплового конвективного струменя, а також середньою швидкістю теплового забрудненого повітря, що піднімається, можна визначити за допомогою формул конвективної теорії, наведених у джерелі [55].

Температура в перехідній зоні конвективного струменя визначається за формулою [55]:

$$\Delta t_{ycp} = \frac{41 \cdot Q_s^{\frac{2}{3}}}{(y - y_0)^{\frac{5}{3}}} \text{ град} \quad (1.21)$$

Середня по площі швидкість теплого повітря, яке підіймається вгору знаходимо за формулою [55]:

$$V_y = 0.56 \left(\frac{Q_s}{y-y_0} \right)^{0,33} \quad (1.22)$$

В рівняннях (1.21) і (1.22): $y-y_0$ – відстань від поверхні землі до шуканого перерізу конвективного вертикального струменя, м.

Для цілей цього розрахунку ми вважаємо, що діаметр воронки вибуху, або площа горіння, становить приблизно 20 м (D). Висота конвективного струменя оцінюється приблизно в 100 м, а передбачуваний поперечний переріз вертикального конвективного струменя становить приблизно $3D = 60$ м для ракети типу «Калібр» і 30 м для середньомагістральної зенітної ракети, такої як «Бук–М1».

Відповідно для крилатої ракети типу «Калібр» дані швидкості складають $V_y=18,99$ м/с; ракети типу Х–101 $V_y=17,03$ м/с; зенітної ракети середньої дальності «БУК– М1» $V_y=6,86$ м/с .

У таблиці 1.3 наведено концентрацію забруднюючих речовин, що утворилися в результаті вибуху, у найбільш обмеженому сегменті забрудненого струменя.

Табл. 1.3. Концентрація забруднюючих речовин у конвективному струмені, що утворився в результаті вибуху крилатої ракети «Калібр», ракети «Х–101» та снаряда «БУК–М1» на відстані 60 м та 30 м від землі, залежно від типу снаряда.

Забруднююча речовина	Викид, Мв, г Крилата ракета «Калібр»/Х-101 /снаряд «БУК-М1)	Витрата в верхньому струмені, м3/с Крилата ракета «Калібр»/снаряд «БУК-М1)	Концентрація викиду Сх, мг/м3; Крилата ракета «Калібр»/снаряд «БУК-М1)	ГДК мак.раз./ ГДКсер.доб. мг/м3
Діоксид азоту, NO _x	756/ 560/98	5962,86/5347,42/2 51,985	126,78/104,72/ 38,8	0,2/0,04
Сірчистий ангідрид, SO _x	7/5,2/0,9	5962,86/5347,42/2 51,985	1,17 /0,972/ 3,57	0,5/0,005
Вуглецю діоксид, CO ₂	1862460/1379600 /241430	5962,86/5347,42/2 51,985	312430 / 257990/958110	-/-
Вуглецю оксид, CO	3400/2520/441	5962,86/5347,42/2 51,985	570,1 /471,2/ 1750	5/3
Тверді речовини, ОКВЧ+PM10 +PM2,5 (сажа)	1404/1040/182	5962,86/5347,42/2 51,985	235,45/194,48/722, 0	0,5/0,15(-/- +0,5/0,15 ++0,15/0,05)

Застосування цієї методики для визначення концентрацій забруднюючих речовин у верхній частині конвективного забрудненого теплового струменя сприяє вирішенню різних питань, у тому числі тих, що стосуються впливу військових операцій на забруднення навколишнього середовища та прогресування глобальних екологічних явищ:

— визначення концентрації кислотоутворюючих речовин у вертикальному конвективному струмені над поверхнею вибуху, а також ступеня перетворення цих речовин на кислоти за певних метеорологічних умов;

- визначення концентрації парникових газів у забруднених теплих повітряних струменях та розрахунок загального обсягу викидів парникових газів в результаті військових операцій на визначеній території;
- визначення викидів небезпечних речовин з конвективних струменів шляхом проведення паралелей з високим незатіненим джерелом з використанням встановлених методик;
- функціонування як підсистема в реалізації інноваційної мережі моніторингу атмосферного середовища;
- оцінка екологічних та економічних наслідків військових операцій, серед інших факторів.

У [56] автор обґрунтував ефективність цієї методології для оцінки атмосферного забруднення, спричиненого дискретними вибухами, пов'язаними з військовими операціями, та обчислив концентрації первинних забруднюючих речовин разом з даними моніторингу для двох районів Києва.

Після бомбардування районів Голосіївського та Дніпровського районів Києва ракетами Х-101 16 грудня 2022 року. Результати розрахунків наведено в таблиці 1.4. Рівні забруднюючих речовин, зафіксовані на зазначену дату, були отримані з системи моніторингу в Києві [61], а індекс якості повітря (AQI) було визначено за допомогою калькулятора [62].

Таблиця 1.4. Концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі станом на 16 грудня 2022 року в м. Києві (розрахункові та осереднені по Дарницькому та Голосіївському районах)

№	Забруднююча речовина	Концентрація викиду Сх від окремої ракети Х-101, мг/м ³ (розрахунок)	Дані спостережень, Голосіївський район. мкг/м ³ Ст. Проспект Науки / розрахунок	Дані спостережень, Дніпровський район. мкг/м ³ <u>Дніпровське</u> / розрахунок	Середні значення всіх постів спостережень по м. Києву станом на 10-00 16.12.2022, мкг/м ³	Концентрація Сх на відстані 2км від умовного падіння окремої ракети Х-101, мкг/м ³
	2	3	4	5	6	7
1	Діоксид азоту, NO ₂	104,72	55,2	41,4	47,1	65,0
2	Сірчистий ангідрид, SO ₂	0,972	1,3	1,6	2,1	0,55
3	Вуглецю оксид, CO	471,2	581	466,6	710,7	292
4	PM _{2,5} + PM ₁₀	194,48	186,9	121,5	73,2	120,7
6	AQI PM _{2,5}	185	184	149	103	182

Аналіз результатів розрахунків щодо системи моніторингу атмосферного повітря виявив незначну розбіжність, яка залежить від близькості місця події до найближчих активних пунктів спостереження. У таблиці 1.4 наведено пункти спостереження, розташовані в регіонах, де було зафіксовано найзначніші перевищення концентрацій окремих речовин, а також середні дані для Києва щодо цих речовин. Крім того, вона включає розрахункові дані на відстані 2 км від найближчих активних пунктів спостереження відповідно до чинних Методичних рекомендацій з прогнозування метеорологічних умов, пов'язаних з формуванням рівня забруднення. Ця методологія оцінки та прогнозування концентрацій забруднюючих речовин в атмосфері під час військових операцій

застосовується за нейтральних атмосферних умов, які встановлюють максимально допустимі концентрації забруднюючих речовин у навколишньому середовищі.

Ця методика оцінки та прогнозування концентрацій забруднюючих речовин в атмосфері під час військових операцій застосовується за нейтральних атмосферних умов, які визначають як викиди забруднюючих речовин, так і перетворення хімічних речовин у повітрі.

1.4 Висновки до Розділу 1

Дослідження, проведене в розділі 1, є основою для наступних висновків:

1. Аналіз існуючої літератури щодо сучасного стану атмосферного забруднення дозволив визначити основні фактори, що впливають на атмосферне забруднення в Києві.

2. Створено концептуальну основу для розуміння виникнення забруднення аерозольними частинками в міських умовах в умовах глобальної зміни клімату.

3. У контексті України підтверджено твердження низки іноземних авторів щодо взаємозв'язку між забрудненням атмосфери аерозольними частинками в міських умовах та захворюваністю на Covid–19.

4. Виявлено взаємозв'язок між забрудненням повітря в великих містах України, що характеризується вмістом частинок PM_{2,5}, та захворюваністю на Covid–19, який має лінійний характер і безпосередньо залежить від температури навколишнього середовища.

5. Дані дослідження слугують основою для досліджень, спрямованих на пом'якшення впливу аерозолів в атмосфері на здоров'я людини. Крім того, вони сприяють розробці та впровадженню передових методів очищення в промислових процесах та вдосконаленню технологій повітрообміну в сучасних будівлях та інфраструктурі.

6. Проблема утворення кислотних опадів в атмосфері внаслідок окремого вибуху сформульована та описана за допомогою математичної моделі. Ця

модель враховує викиди забруднюючих речовин у зону вимивання під хмарами, кінетику процесу конденсації, а також дифузію та конvekцію парів оксиду сірки.

7. Математична модель складається з набору безрозмірних нестационарних диференціальних рівнянь, сформульованих у наближенні Бусінеска, що включають такі змінні, як швидкість вихору, функція потоку, температура та концентрація, а також відповідні початкові та граничні умови.

8. Ця модель служить для прогнозування потенційних кислотних опадів у районах, що оточують ізольовані вибухи, для прогнозування змін екологічного ризику для екосистеми та населення, що виникають в результаті військових операцій, а також для окреслення зон впливу та розповсюдження, що походять від місця вибуху.

9. За нейтральних атмосферних умов розсіювання діоксиду сірки можна обчислити за допомогою спрощеного підходу, що використовує принципи конвективних струменів, які виходять з теплого джерела в навколишнє середовище, а потім застосовує теорії розсіювання та кінетичних перетворень в атмосфері. Ця методологія полегшує аналіз розвитку купола забруднення над місцем вибуху, залежно від місцевих метеорологічних умов, а також оцінку наслідків викидів забруднюючих речовин для навколишнього середовища та здоров'я людей.

10. У процесі формування управлінських рішень щодо містобудування в умовах будівництва та реконструкції району необхідно враховувати всі фактори, що сприяють забрудненню міста, з метою охорони здоров'я населення та навколишнього середовища. Концепція інноваційної системи моніторингу повинна ґрунтуватися на взаємозв'язку між усталеними математичними моделями, статистичними залежностями та даними, отриманими з сучасних систем моніторингу.

Основні положення розділу 1 опубліковані автором у наукових працях [2,3,6,9–12,15,19]. Список використаних джерел у розділі 1 наведено у загальному списку використаних джерел [1–62].

РОЗДІЛ 2. СУЧАСНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТА НАПРЯМИ ЇХ УДОСКОНАЛЕННЯ

2.1 Моніторинг атмосферного повітря міста та напрямки його удосконалення на шляху до європейської інтеграції

Створення державної системи контролю якості повітря датується 1970-ми роками. Наразі в Києві існує 16 державних стаціонарних станцій, призначених для моніторингу якості повітря. Зразки відбираються три–чотири рази на день, і важливо підкреслити, що ця система має можливість надавати інформацію населенню в режимі реального часу [1, 4, 64]. У 2020 році було створено ще дві автоматизовані станції, які надають дані про якість повітря в режимі реального часу, доступні через онлайн-карту (розташовані на вулиці Вербицького та Харківському шосе). У найближчий період планується збільшити кількість таких станцій до 70.

Серед різних систем моніторингу якості повітря можна виділити SaveEcoBot, Telegram-бот «Якість повітря в Києві», LUN City Air та EcoCity. Громадські платформи об'єднують інформацію з авторитетних джерел, метеорологічні дані та переважно покладаються на особисті датчики окремих осіб. Останні оцінюють якість повітря, зосереджуючись на найважливіших забруднювачах, зокрема твердих частинках PM10 та PM2,5.

У багатьох країнах для інформування населення про рівень забруднення використовується стандарт індексу якості повітря (AQI). Забруднення проявляється в різних ступенях. Найбільш сприятлива, «зелена» категорія класифікується як «хороша» в діапазоні від 0 до 50 AQI, що вказує на відсутність забруднення або мінімальний ризик для здоров'я. Найбільш серйозна категорія, позначена «темно-червоним» кольором, відповідає класифікації «важкий» і досягає 500 AQI, що становить небезпеку навіть для людей з міцним здоров'ям. З жовтня 2022 року система моніторингу повітря в Києві стала важливим джерелом даних на веб-сайті міжнародної компанії IQAir, сприяючи

об'єктивному встановленню індексу якості повітря в Києві та майбутніх рейтингів на iqair.com. З того моменту інформація з міської системи моніторингу почала передаватися в режимі реального часу до Міністерства охорони навколишнього середовища, а потім відображатися на офіційній платформі «ЕкоЗагроза». Цей документ слугує стандартизованим інструментом для систематичного збору та документування даних про екологічні небезпеки, зокрема в місцевому контексті [66].

Нещодавно в Києві було створено мережу з п'яти високоточних станцій моніторингу якості повітря, що відповідають європейським стандартам, яка доповнила існуючі понад 40 індикативних станцій. Додаток «Kyiv Digital» надає користувачам доступ до даних обох категорій станцій моніторингу.

Структурування сучасної міської системи моніторингу якості повітря, а також вибір відповідних інструментів повинні відповідати визначеним параметрам методів вимірювання, чутливості та точності, викладеним у Директиві Європейського Союзу 2008/50/ЄС. Ця директива також введена в дію відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 15 квітня 2015 року № 371-р. Директива Європейського Союзу 2008/50/ЄС передбачає, що в атмосфері необхідно контролювати такі забруднювачі: тверді частинки PM_{2,5} та PM₁₀; двоокис азоту (NO₂); оксид азоту (NO); двоокис сірки (SO₂); оксид вуглецю (CO); та приземний озон (O₃). Перелік додаткових забруднюючих речовин, що підлягають вимірюванню під час моніторингу, включає, серед інших: свинець (Pb); бензол; формальдегід; бензопірен [67]. Наразі в Києві тривають роботи з визначення районів з найвищим рівнем шкідливих речовин у повітрі та розробки концептуальної основи для міської системи моніторингу якості повітря [68].

У відповідності до інтеграції законодавства України в Європейський простір, в тому числі і нормативних документів щодо моніторингу атмосферного повітря, розглянемо організацію даної системи спостережень ЄС. Принципові положення з управління якістю атмосферного повітря ВООЗ та, відповідно, всі деталі розробки стратегії моніторингу деталізовано в Директивах ЄС, починаючи з 1996 р. Згідно з розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17

вересня 2014 р. № 847–р. розпочато план імплементації Директив 2004/107/ ЄС та 2008/50/ЄС.

На даний час українська вимірювальна мережа формується стаціонарними та пересувними постами, розташування яких визначається як промисловим навантаженням, так і кількістю населення, що піддається впливу забруднення. Що стосується сучасного європейського підходу до моніторингу якості атмосферного повітря, то він передбачає, насамперед, визначення впливу забруднення на здоров'я населення. Саме тому, відповідно до директив ЄС, основними базовими елементами управління якістю атмосферного повітря є урбанізоване середовище.

У звіті Європейського агентства з питань довкілля, оприлюдненого 24 листопада 2022 року зазначається, що якість повітря в Європі значно покращилася за останнє десятиліття, але забруднення залишається основною причиною передчасної смерті на континенті [69, 70]. В звіті робиться наголос на наступному:

1. Забруднення повітря – серйозна проблема для здоров'я європейців, що піддається впливу дрібних твердих частинок, які перевищували останніми роками нормативний рівень, встановлений ВООЗ.

2. Так, у 2020 році вплив концентрації дрібних твердих частинок, що перевищував рівень рекомендацій ВООЗ на 2021 рік, призвів до 238 000 передчасних смертей у ЄС–27. Крім того, забруднення атмосферного повітря даними частками також підвищує загальний рівень хронічних захворювань і значні витрати на охорону здоров'я на континенті.

3. План дій щодо нульового забруднення встановлює мету зменшення впливу дрібних твердих частинок на здоров'я населення до 55 % до 2030 року порівняно з 2005 роком та передбачає подальші зусилля для досягнення бачення нульового забруднення до 2050 року шляхом зменшення забруднення повітря до прийнятних для здоров'я населення рівнів.

4. План дій щодо нульового забруднення ставить за мету також скоротити на 25 % частку екосистем до 2030 року, що постраждали від забруднення повітря

(порівняно з 2005 роком). Моніторингові дані констатують, що у 2020 році шкідливі рівні відкладення азоту в екосистемах були перевищені на 75 % загальної площі екосистеми в ЄС-27. Це означає падіння на 12 % порівняно з 2005 роком.

Для оціночних звітів моніторинг атмосферного повітря здійснюється на понад 4500 станціях у 40 країнах Європи [70]. Директиви ЄС визначають граничні показники для 13 забруднювачів повітря. Хоча враховуються і підходи ВООЗ, європейські критерії враховують технічну й економічну можливість та доцільність досягнення нормативів, тому в більшості випадків ці нормативи менш суворі, ніж встановлені ВООЗ [67, 71–79]. Концентрації, що перевищували добове граничне значення в ЄС, були виміряні на 14 % пунктів звітності, 87 % з яких були міськими та 10 % приміськими. На рис. 2.1 показано відсоток станцій звітності, які зареєстрували концентрації PM₁₀, що перевищують добове граничне значення ЄС і довгострокові рекомендації ВООЗ у 2019 та 2020 роках.

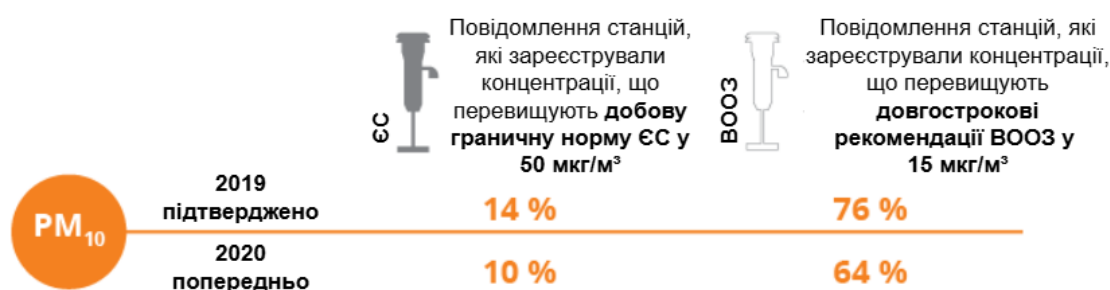


Рис.2.1 Відсоток станцій звітності, які зареєстрували перевищення концентрації PM₁₀ по добовому граничному значенню ЄС і довгострокові рекомендації ВООЗ у 2019 та 2020 роках [70].

Одним із найдієвіших інструментів наземного дистанційного моніторингу аерозолів на регіональному та глобальному рівнях є міжнародна мережа автоматизованих сонячних фотометрів AERONET (AErosol RObotic NETwork, aeronet.gsfc.nasa.gov). Вона була заснована у 1990–х роках Національним управлінням з аеронавтики і дослідження космічного простору США (NASA)

спільно з Національним центром наукових досліджень Франції (CNRS), який представляє Лабораторія атмосферної оптики Університету наук і технологій міста Ліль. На сьогодні мережа включає кілька сотень активних станцій по всьому світу.

Ключовим принципом роботи AERONET є уніфікація обладнання та його метрологічного забезпечення, а також стандартизація методів вимірювання й обробки даних. Усі результати зберігаються в централізованій базі даних, забезпечуючи високу якість і порівнюваність інформації між різними регіонами.

Аналіз публікацій вітчизняних авторів щодо поділу на зони і агломерації згідно європейського підходу щодо базових елементів щодо функціонування мережі моніторингу по території забруднення, показав їх обмеженість по території України [80]. Але для приведення існуючої системи моніторингу до міжнародних стандартів згідно імплементації законодавства з нормативною базою ЄС виділення базових елементів моніторингу і їх класифікація є необхідною умовою та визначає кількість та розташування постів спостережень.

Всесвітня організація охорони здоров'я у своїх переглянутих рекомендаціях щодо якості повітря [81] визначає норми концентрації шести основних забруднюючих речовин, які мають значний вплив на здоров'я населення, як у зовнішньому, так і у внутрішньому середовищі. Рекомендації Всесвітньої організації охорони здоров'я стосуються, зокрема, зменшення забруднення повітря дрібними твердими частинками (PM_{2,5} і PM₁₀), озоном (O₃), двоокисом азоту (NO₂), двоокисом сірки (SO₂) та оксидом вуглецю (CO). Тверді частинки вимірюються за допомогою двох основних показників: PM₁₀ і PM_{2,5}, що відповідають розмірам 10 і 2,5 мікрметра відповідно. Ці частинки становлять значну загрозу для здоров'я населення через здатність проникати в глибокі відділи дихальної системи. PM_{2,5} здатні проникати в кровотік, що призводить до серцево-судинних захворювань і завдає шкоди легеням та іншим органам. Зусилля, спрямовані на зменшення забруднення повітря цими традиційними забруднювачами, одночасно зменшать вміст інших шкідливих

речовин в атмосфері, а також призведуть до скорочення викидів парникових газів — важливого показника в контексті сучасних кліматичних змін [20, 84–85].

З метою всебічного розуміння стратегій зменшення забруднення повітря, які є найбільш перспективними для охорони здоров'я, скорочення викидів та запобігання змінам клімату, ВООЗ провела оцінку понад двадцяти визнаних та економічно ефективних заходів, спрямованих на пом'якшення впливу забруднення повітря на здоров'я населення. Вони включають, перш за все, встановлення екологічних стандартів, що регулюють рівні забруднення викидів транспортних засобів, утилізацію звалищних газів, перехід від викопних видів палива до відновлюваних джерел енергії, мінімізацію харчових відходів та перехід до більш ефективних видів побутового палива [81]. Ці заходи доцільно впроваджувати в Україні, оскільки вони отримали середні та високі оцінки за всіма трьома критеріями. У контексті післявоєнної відбудови нашої країни необхідно розглянути питання зменшення забруднення повітря шляхом впровадження методів «зеленого будівництва», які на даний момент залишаються недостатньо розвиненими. Ця дисертація присвячена взаємозв'язку між забрудненням повітря в містах та впровадженням технологій зеленого будівництва в контексті післявоєнної відбудови країни. Отже, вирішення цього наукового та практичного питання має важливе значення для сучасних умов

2.2 Інноваційні системи моніторингу навколишнього середовища

Створення та функціонування системи моніторингу, призначеної для інтеграції екологічних інформаційних систем на конкретних територіях, ґрунтується на таких принципах [87]:

- узгодженість нормативно-правової, організаційної та методологічної підтримки, а також сумісність технічних, інформаційних та програмних компонентів;
- систематичне спостереження за станом навколишнього середовища та антропогенними об'єктами, що на нього впливають;

- оперативне отримання, ретельний аналіз та застосування екологічних даних, зібраних та збережених в рамках системи моніторингу;
- неупередженість базових, аналітичних та прогнозних екологічних даних, а також оперативне доведення цієї інформації до відома державних органів, місцевих адміністративних органів, громадських організацій, населення України та відповідних зацікавлених сторін з міжнародних органів та світової спільноти.

Система моніторингу призначена для [88]:

- підвищення рівня розуміння та обізнаності про стан навколишнього середовища;
- підвищення ефективності та якості інформаційних послуг для користувачів усіх рівнів;
- вдосконалення обґрунтування заходів з охорони навколишнього середовища та ефективності їх виконання;
- сприяння міжнародній співпраці в галузі охорони навколишнього середовища, раціонального використання ресурсів та забезпечення екологічної безпеки.

Сучасна система моніторингу повинна включати кілька основних процедур: визначення об'єкта спостереження; ретельне обстеження об'єкта спостереження; розробка інформаційної моделі об'єкта спостереження; ретельне планування вимірювань; оцінка стану об'єкта та створення його інформаційної моделі; прогнозування можливих змін стану об'єкта; надання інформації користувачам у доступній формі, а також доведення відповідних даних до відома споживачів.

Характер і механізм узагальнення інформації про екологію довкілля визначається за допомогою інформаційного портрета екологічної ситуації. Інформаційний портрет екологічної ситуації – це графічно представлені просторово розподілені дані, що характеризують екологію певної території, з картою місцевості.

Глобальна система моніторингу навколишнього середовища (GEMS) під егідою ООН складається з 5 підсистем: вивчення кліматичних змін, перенесення екологічно шкідливих речовин на великі відстані, гігієнічні аспекти навколишнього середовища, дослідження Світового океану, земельних ресурсів. Головною метою моніторингу є новий рівень компетентності у прийнятті рішень на локальному, регіональному та глобальному рівнях [89–90]. Сучасні можливості та розвиток інформації, а також аналітичне, програмно–апаратне та методичне забезпечення багаторівневих систем екологічного моніторингу є найважливішим і ефективним механізмом комплексної структурної оцінки якості навколишнього середовища та прогнозування масштабів і рівнів техногенного впливу на природні об'єкти, архітектуру та інфраструктуру, живу істоту та територію.

В даному підрозділі розглянуто методології, наукові основи, ІТ– підґрунтя впровадження та функціонування інформаційних комплексних систем моніторингу стану якості довкілля.

Слід зазначити, що система моніторингу антропогенних змін у природному середовищі не потребує організації нових станцій спостереження, телекомунікаційних ліній, центрів обробки даних тощо, а є невід'ємною частиною універсальної системи спостереження і контролю навколишнього середовища, що вже досить розвинена в багатьох країнах, дослідження, яке розглядає дисертант в даному дослідженні є надбудовою над вже існуючими системами та алгоритмами

У кожній країні інтегрована система моніторингу базується на існуючих системах моніторингу, які часто певною мірою відображають організаційну структуру управління економікою в країні [89–100]. однак найважливіші особливості моніторингу в різних країнах повинні бути однаковими, повинні існувати єдина концепція моніторингу, що включає спостереження, оцінку та прогноз навколишнього середовища, універсалізацію вимірювань, єдине визначення пріоритету в спостереженнях, стан навколишнього середовища.

Системи моніторингу традиційно поділяються на підсистеми за середовищами та територіями.

Комплексний моніторинг проводиться з метою поєднання ряду програм різних видів моніторингу для комплексної оцінки деяких проблем забруднення навколишнього середовища:

1) глобальні, тобто зачіпають більшу частину земної поверхні; прикладом є ефект виділення вуглекислого газу і хлорфторвуглеців;

2) регіональні, тобто такі, що впливають на сусідні групи країн, наприклад транскордонна міграція забруднюючих речовин через повітря та річки, забруднення моря, виродження тропічних лісів;

3) локальні, тобто ті, що стосуються відносно невеликої території, хоча вони можуть зустрічатися в багатьох місцях. Як приклади можна назвати забруднення повітря в містах, забруднення питної води, забруднення важкими металами та зникнення шару ґрунту.

Отже, система моніторингу має можливість охоплювати як окремі регіони, так і всю планету, що полегшує глобальне або фонове спостереження. Основною характеристикою глобальної системи моніторингу є її здатність оцінювати стан біосфери в світовому масштабі, використовуючи дані, отримані з цієї системи.

Система моніторингу, обмежена однією країною, зазвичай називається національним моніторингом. Ця система відрізняється від глобального моніторингу не тільки масштабом, але й основною метою, яка полягає у збиранні інформації та оцінці стану навколишнього середовища на користь країни. Отже, хоча підвищення рівня забруднення атмосфери в окремих містах або промислових зонах може не мати істотного значення для оцінки стану біосфери в глобальному масштабі, це залишається критичною проблемою, що вимагає втручання на національному рівні. Системи моніторингу, які використовуються в інтересах кількох держав, іноді називають багатонаціональним або міжнародним моніторингом. Такі системи часто використовуються при розгляді передачі забруднення між державами.

Наступні деталі, як правило, є важливими для формування ініціативи з моніторингу навколишнього середовища.

- джерела забруднюючих речовин, що виникають в результаті економічної діяльності та криз;
- переміщення забруднюючих речовин, включаючи їх розсіювання в атмосфері та перенесення в водних екосистемах;
- механізм ландшафтно–геохімічного перерозподілу забруднюючих речовин, зокрема переміщення забруднюючих речовин з ґрунту до підземних вод; переміщення забруднюючих речовин уздовж ландшафтно–геохімічного профілю з урахуванням геохімічних бар'єрів та біохімічних циклів; біохімічні цикли, серед інших факторів;
- інформація про стан джерел викидів, спричинених діяльністю людини, включаючи їх інтенсивність, географічний розподіл та гідродинамічні умови, пов'язані з їх вивільненням у навколишнє середовище.

В останнє десятиліття проблеми екологічної та техногенної безпеки в промисловості та на урбанізованих територіях загострилася через взаємовплив природних та антропогенних чинників (глобальна зміна клімату; масове закриття шахт; промислові та побутові накопичення відходів; погіршення технічного стану систем водопостачання, водовідведення та теплоенергетичних систем тощо). Окремим пунктом слід зазначити наявність старіння промислових і житлових будівель (наприклад, кількість старих житлових будинків в Україні станом на 01.01.2022 р. складала – 46449 одиниць) [99]. Моніторингові спостереження останнім часом демонструють тенденцію до активізації негативних природно–техногенних процесів, їх вплив на забруднення атмосферного повітря міст в просторово–часових масштабах.

Активний розвиток підземного міського простору (підземне будівництво паркінгів, метро та інші промислові та соціальні об'єкти, а останнім часом спорудження бомбосховищ під існуючими жилими будівлями) порушує природний гідрогеологічний режим. Штучні перешкоди для руху ґрунтових вод викликають підвищення рівня ґрунтових вод, у тому числі підтоплення. В

результаті, часто затоплюються підвали, прискорюється корозія арматури бетонних конструкцій, а також скорочується термін експлуатації будівель, які не відповідають санітарним нормам їх експлуатації. Окремим характерним аспектом для України є уповільнення графіків або затримка будівельно-монтажних робіт після влаштування котловану. Необхідні навантаження не відповідають закладеним проектним фізико-механічним показникам ґрунтів. Таким чином, під час будівництва та експлуатації в умовах щільної міської забудови, відповідно формується напружено-деформований стан систем «основа-фундамент-надбудова», який викликає порушення нормальної експлуатації існуючих будівель та випадків нового будівництва. Порушення ґрунту основи під час земляних робіт; додаткові напруги в базовій активній зоні через нові навантаження; наслідки будівельної і транспортної техніки, порушення нормальних умов для інсоляції, вентиляції, інженерного забезпечення, благоустрою існуючих будівель та ін. В якості прикладу взаємовпливу нового будівництва та існуючих споруд можна привести наступні: розкриття тріщин у спорудах житлового будинку по провулку Мар'яненка, 7 у Києві збігся за часом з початок облаштування котловану для житлового комплексу по вул. Мечникова, 9А та 11. На основі багаточисельних прикладів стосовно новобудов Києва, виникла нагальна потреба довести технічний стан існуючих будівель до рівня нових нормативних вимог через їх комплексне обстеження та моніторинг, можливу реконструкцію та посилення. Також автори у різних дослідженнях здійснювали заміри деформацій решітки огороження котловану на будівельному майданчику офісного центру на вул. Болсуновській, 13–15 у Печерському районі м. Києва. Дане дослідження говорить про необхідність створення універсальної схеми інформаційної системи моніторингу стану всіх складових навколишнього середовища у їх взаємозв'язку.

Комплексний метод з'ясування структури системи, призначеної для спостереження за змінами в природному середовищі, спричиненими діяльністю людини, передбачає її поділ на окремі компоненти: «Спостереження», «Оцінка

фактичного стану», «Прогноз стану», «Оцінка прогнозованого стану ». На рис. 2.2 наведена блок–схема запропонованої універсальної моніторингової системи.



Рис.2.2. Блок–схема інформаційної системи моніторингу навколишнього середовища з врахуванням всіх впливових факторів на стан екологічної безпеки.

Розглянемо елементи «Спостереження» і «Прогноз» – їх взаємозв'язок є глибоким, оскільки здатність прогнозувати умови навколишнього середовища залежить від наявності достатньо репрезентативних даних про його поточний стан.

І навпаки, акцент у прогнозі повинен суттєво впливати на структуру та організацію мережі спостережень.

Дані, що характеризують стан навколишнього середовища, отримані в результаті спостережень або прогнозів, повинні оцінюватися залежно від сфери діяльності людини, в якій вони використовуються (за спеціально обраними або розробленими критеріями). Оцінка передбачає, з одного боку, визначення шкоди від впливу, з іншого – вибір оптимальних умов для діяльності людини, визначення існуючих резервів навколишнього середовища. Такі оцінки мають на увазі знання допустимих навантажень на навколишнє середовище.

Необхідною умовою правильної організації управління якістю навколишнього середовища є система екологічного моніторингу.

Розроблена система роботів включає вбудоване обладнання, програмне забезпечення та подібні компоненти Інтернету речей (IoT). Стиль системи

отримано на рис. 2.2, де показано блокове представлення IoT , а також вбудована система роботів на основі ARM. Вся автоматизована система складається з 2 компонентів:

- Підготовка системи моніторингу: ця система призначена для збору відповідної інформації, що надходить від датчика, а також для надсилання отриманої інформації до системи IoT .

- Система навігації та управління: ключовою функцією конкретної системи є навігація та додаткове керування автоматичною системою згідно з додатком.

В результаті їх реалізації разом із низькою вартістю роблять IoT чудовою інновацією для моніторингу та впливу на шкідливі або постійні проблеми людей. Практично будь-який тип моніторингу можна розділити на 2 типи: виявлення подій (ED) і оцінка просторового процесу (SPE). Дивно, але датчики використовуються для точного виявлення події (наприклад, лісова пожежа, землетрус, зміна температури в теплиці тощо). Атрибути відмінної оцінки датчика включають:

- Фізичні аспекти: включають світло та стійкість до ультрафіолетового випромінювання, двокоординатні акселерометри, двовісні магнітометри, рівні радіації, хвилі частоти та мікрохвилі, вологість, температуру, тиск повітря, дим і пил, вимірювання площі та швидкості, аудіо, акустику, онлайн запис відео, а також зображень, землетрусів, фізичних навантажень, крім вибухової хвилі.

- Вимірювання повністю природних і хімічних сполук: наприклад, гранично допустимі стандарти або навіть вимірювання вмісту домішок сполук або вимірювання фокусів на певному складі.

- Масштаб діяльності: наприклад, розмір санітарно-захисної зони, життєві перспективи (корпоративне та екологічне управління), поточна діяльність або завдання життя звичайних людей (наприклад, проблеми кіберрівня, моніторинг внутрішніх і зовнішніх факторів тощо).). Незважаючи на те , що IoT використовується в різних сферах, планування цих мереж для певного використання покращує або врівноважує кілька важливих елементів. Крім того,

комбінація стилів кожного елемента поєднується з відповідними функціями, які використовуються в багатьох місцях. Відповідність рівням може перевищувати надзвичайно високі екологічні вимоги Інтернету речей.

На рис.2.3. показано візуальне зображення ієрархії інноваційної системи моніторингу, а на рис. 2.4 –розгорнута сучасної системи моніторингу



Рис. 2:3. Візуальне зображення ієрархії системи моніторингу



Рис.2.4. Структура інноваційної системи моніторингу.

Інноваційні системи моніторингу побудовані з використанням досягнень останньої технічної та промислової революції, в IoT (Інтернет речей – IoT). Використання IoT в системах моніторингу дозволяє швидко отримувати дані з пристроїв, стаціонарних і мобільних лабораторій, миттєве відображення в реальному часі та можливість підключення до будь-якої системи та сайту.

2.3 Комплексне дослідження використання системи IoT в питаннях «зеленого будівництва».

В доповіді Робочої групи, яка ставила за мету розробку спільної стратегії, необхідної політики та заходів щодо покращення якості повітря в містах світу в умовах кліматичних змін [101] зазначено про необхідність оцінки щодо прямих та непрямих впливів і контролю забруднення повітря; політики щодо зміни клімату; оцінки впливу заходів, більш конкретно спрямованих на забруднення повітря; вплив політики та заходів щодо змін клімату на забруднення повітря тощо.

Дані дослідження підкреслили синергетичний та антагоністичний вплив на забруднення повітря та клімат, та необхідність зміни заходів, що застосовуються до секторів енергетики, сільського господарства та автомобільного транспорту, а також будівництва, як однієї з кліматозалежних галузей економіки. В якості приклада застосування заходів наявних інструментів політики в галузі будівництва можна привести Німеччину, яка впровадила схеми фінансової підтримки для ремонту будівель.

Невід'ємною частиною стратегії зменшення забруднення повітря в країнах світу є комплексна інформаційна уніфікована система IoT моніторингу.

В галузі будівництва є окремі приклади застосування такої системи. Територія кожного міста є осередком техногенних динамічних навантажень, викликаних транспортними джерелами, будівельним і промисловим обладнанням тощо. Обґрунтування використання системи сейсмічного та віброзахисту трьох секцій житлового комплексу (6, 10 та 13 поверхів) під динамічними впливами та сейсмічними діями залізничних поїздів за допомогою використання системи IoT розглянуто в роботі [102]. У межах міста джерела динамічних впливів породжують вібрації з частотою від 2–5 до 60–70 Гц, іноді до 200 Гц. Залізниця є джерелом інтенсивних вібрацій, що спричиняють вплив на будівлі та споруди, розташовані поблизу її колій. За певних умов вібрації

фундаментів і конструкцій будівель можуть перевищувати значення, допустимі для їх нормальної експлуатації. При виконанні досліджень були використані наступні етапи науково–дослідних робіт: експериментальні натурні динамічні дослідження поверхні ґрунту на будівельному майданчику; розробка просторово–динамічних моделей трьох ділянок; розрахунки ділянок на динамічні впливи вантажних і пасажирських залізничних поїздів та сейсмічних навантажень з інтенсивністю 6 балів; обґрунтування ефективності системи віброзахисту будівлі за результатами розрахунків та контрольних вимірювань рівнів розгону плит перекриття при будівництві трьох секцій. Порівняння експериментально зареєстрованих значень рівнів віброприскорення та допустимих показало, що під впливом залізничних поїздів рівні вібрації ґрунту перевищували допустимі значення на 6...12 дБ (тобто від двох до чотирьох разів) для всіх трьох житлових будинків. Так, підтверджено необхідність встановлення вібросистеми захисту пальового ростверку та стін підвалу, яка б знизила рівень вібрації конструкцій та забезпечила комфортні умови проживання в житловому комплексі.

Виклики сучасності та активне впровадження принципів «зеленого будівництва» висувають нові вимоги до фахівців будівельної галузі — від них очікується не лише вміння проєктувати й організовувати будівельні процеси, а й здатність працювати з програмним забезпеченням і розуміти основи програмування [103, 104]. Одним із найпоширеніших інструментів у цій сфері є Revit CAD від компанії Autodesk. Завдяки мові програмування Python та платформі візуального програмування Dynamo, спеціалісти можуть створювати кастомізовані скрипти, які інтегруються з Revit. Це дозволяє інженеру–проєктувальнику розширити стандартний функціонал програмного забезпечення та скоротити обробку великого обсягу вимірювань із десятками параметрів — від кількох тижнів ручної роботи до лічених хвилин автоматизованої обробки.

Ще один важливий напрям – збір, обробка та аналіз даних (Data Science), що стає невід’ємною частиною діяльності сучасного інженера–будівельника. Замість традиційної рулетки сьогодні все частіше використовуються портативні

лазерні сканери, які постійно вдосконалюються й стають доступнішими. Наприклад, у продуктивній лінійці Leica представлені моделі BLK2GO, BLK360, BLK ARC, BLK2FLY та компактний BLK3D – за розміром зі смартфон. Ці пристрої дозволяють за лічені хвилини зібрати геодані про об’єкти інфраструктури або місцевість, формуючи тривимірні хмари з мільйонів точок – як із землі, так і з дронів. Обробку таких даних можна здійснювати за допомогою спеціалізованого ПЗ, як-от Leica Register 360, Cyclone 3DR або ReCap Pro Revit від Autodesk.

Використання IoT-технологій у будівництві, експлуатації споруд, реконструкції інженерних мереж і створенні «розумних» міст потребує залучення відповідного програмного забезпечення. Сучасні одноплатні комп’ютери, як-от Raspberry Pi, Arduino, Particle, дозволяють швидко підключати датчики (наприклад, з платформи Seeed Studio) та інтегрувати їх з хмарними сервісами для зберігання й обробки даних — Google Cloud Platform, Microsoft Azure, InfluxData, QuestDB тощо. Завдяки такому підходу створення повноцінного IoT-рішення можливе всього за кілька годин.

Практичне використання IoT у плануванні та керуванні міською інфраструктурою демонструється, зокрема, в роботі [108], де описано автоматизовану систему управління зливовими стоками на основі хмарних технологій компанії OPTIRTC, Inc. (рис. 2.5). Цей приклад підкреслює ефективність інтеграції цифрових рішень у сучасне міське середовище.

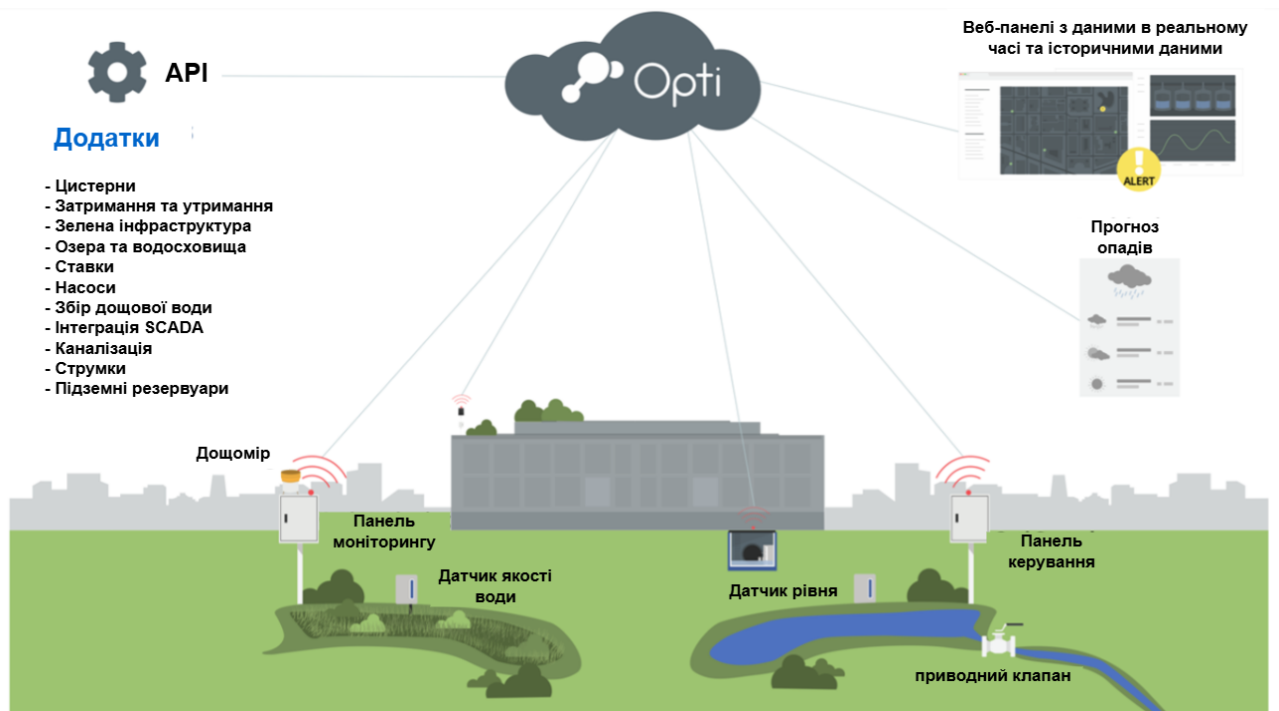


Рис.2.5 Застосування технології IoT у плануванні та експлуатації міської інфраструктури щодо зливової каналізації, подано авторами роботи [104]

Ще одним прикладом практичного застосування технологій Інтернету речей (IoT) є впровадження системи моніторингу якості повітря в режимі реального часу, що фіксує рівень будівельного пилу та інших твердих частинок як на території будівельного майданчика, так і в його околицях. Такий підхід є особливо актуальним при виконанні робіт у щільній міській забудові або поблизу існуючих житлових будинків. Завдяки оперативним повідомленням про перевищення гранично допустимих концентрацій, керівник будівництва може своєчасно вжити відповідних заходів, попереджаючи ризики для здоров'я працівників і мешканців прилеглих територій [108, 109]. На рис. 2.6 показано розроблену автором схему вирішення задачі щодо прийняття управлінських рішень в питаннях реконструкції і будівництва в залежності від наявності хмарних сховищ моніторингових даних забруднення атмосферного повітря пиловими частками PM 2,5 і PM10.

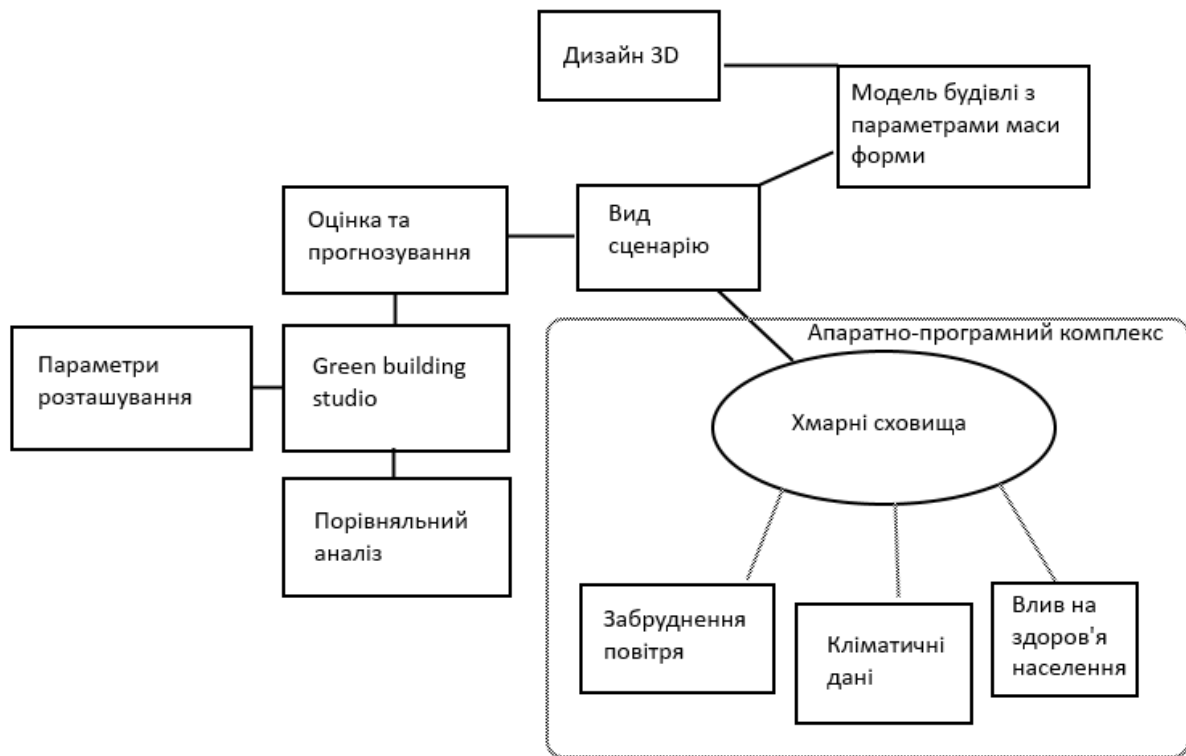


Рис. 2.6. Схема вирішення задачі щодо прийняття управлінських рішень в питаннях реконструкції і будівництва в залежності від забруднення атмосферного повітря пиловими частками. (авторська схема)

Сучасний стан інформаційних технологій (ІТ) можна охарактеризувати такими ключовими аспектами:

- Наявність широкого спектра програмно-апаратних комплексів і платформ, що забезпечують ефективне управління та вирішення актуальних науково-прикладних задач у сфері охорони довкілля. Існує значна кількість промислово функціонуючих баз даних і сховищ знань великого обсягу, які містять детальну інформацію про кліматичні умови та інші екологічно важливі показники.

- Розвинуті технології забезпечення інтерактивного доступу користувачів до інформації та ресурсів, зокрема завдяки відкритим (Free) та корпоративним системам пошуку наукових даних (Information Retrieval Systems – IRS), державним і комерційним системам зв'язку, а також глобальним, національним та регіональним інформаційно-обчислювальним мережам. Додаткову роль відіграють міжнародні угоди, стандарти та протоколи обміну даними.

- Зростання функціональних можливостей ІТ для розподіленого управління базами даних з різною структурою та змістом, а також створення локальних і інтегрованих проблемно-орієнтованих інформаційних систем (ІС) для різних галузей.

- Інтеграція спеціалізованих інтерфейсів користувача в інформаційні системи для роботи з експертними системами (ES), системами підтримки прийняття рішень (DSS), системами виконавчої підтримки (ESS), машинного перекладу (TCS) та іншими інтелектуальними технологіями.

Щодо використання хмарних технологій у сфері "зеленого" будівництва, варто відзначити їхній величезний потенціал. Вони надають широкий спектр сервісів — від базового зберігання даних до розгортання повноцінної захищеної ІТ-інфраструктури, що робить їх надзвичайно корисними для реалізації проєктів сталого будівництва.

Інтегрований підхід до проєктування, який передбачає застосування технологій лазерного сканування та автоматизованої обробки даних, відкриває можливості впровадження технологій Інтернету речей (IoT) і штучного інтелекту (AI) для прогнозування та запобігання надзвичайним ситуаціям природного чи техногенного характеру. Завдяки сценарному моделюванню можливих катастроф можна вчасно реагувати на загрози, зменшити ризики для життя населення та мінімізувати негативний вплив на довкілля.

У цьому контексті доцільним є використання BIM-технологій (Building Information Modeling), які значно змінюють підхід до проєктування будівель і споруд. BIM забезпечує централізований збір та обробку даних щодо архітектурних, конструктивних, економічних, технологічних та експлуатаційних характеристик об'єкта, об'єднаних в єдину інформаційну модель. Усі елементи BIM-моделі взаємопов'язані та взаємозалежні, що дозволяє віртуально змодельовати об'єкт із урахуванням його фізичних властивостей.

BIM включає не лише тривимірну модель, а й додаткові виміри — час, бюджет, плани реалізації — що дає змогу ще до початку будівництва оцінити параметри проєкту з точки зору кліматичних факторів і прогнозованого рівня

забруднення повітря. Управління даними BIM–моделі дозволяє оптимізувати терміни реалізації, спростити подальшу експлуатацію та подовжити життєвий цикл будівлі.

Особливо ефективним інструментом у цьому напрямі є Autodesk® Green Building Studio — хмарний сервіс, що дозволяє моделювати енергоефективність будівлі на ранніх етапах проєктування. Він спрямований на досягнення вуглецевої нейтральності та підвищення екологічності забудови. Завдяки Green Building Studio можна оперативно створювати високоефективні «зелені» будівлі при значно менших витратах часу та ресурсів порівняно з традиційними методами, що сприяє зменшенню забруднення повітря в міському середовищі

2.4 Застосування хмарних сервісів для аналізу якості повітря

Основною метою принципів екологічного будівництва є пом'якшення негативного впливу людської діяльності на якість атмосферного повітря в міських умовах. Прогнозування показників забруднення атмосфери та зменшення шкідливих викидів в атмосферу за допомогою використання різних матеріалів для житлових споруд та архітектурних особливостей дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я населення. Шкідливі викиди охоплюють різні параметри забруднення повітря, включаючи оксиди численних важких металів, оксиди вуглецю, сірку, азот, сажу, пил, вуглеводні, сполуки свинцю та вторинні забруднювачі. Ці вторинні забруднювачі виникають в результаті фотохімічних перетворень, що відбуваються за певних метеорологічних умов у регіоні. Переважна методологія прогнозування параметрів забруднення повітря зазвичай передбачає оцінку концентрації кожного окремого забруднювача, що викидається або утворюється в атмосфері внаслідок діяльності людини.

Цю проблему можна вирішити за допомогою хмарних обчислень — парадигми, що забезпечує доступ на вимогу до мережі конфігурованих обчислювальних та інформаційних ресурсів, включаючи мережі передачі даних,

сервери, рішення для зберігання даних, додатки та послуги. Ця методологія відкриває широкі можливості для підвищення ефективності застосування принципів «зеленого будівництва» в будівельному секторі, що є особливо актуальним в умовах післявоєнної відбудови.

Характеристики методологій прогнозування екологічних параметрів та забруднення повітря, зокрема за допомогою штучних нейронних мереж, досліджуються в численних наукових дослідженнях [110–117]. Відповідно, дослідження автора [108] стосується вдосконалення програмного забезпечення та методологій для побудови нейроподібних архітектур з неітеративним навчанням, спрямованих на підвищення точності прогнозування параметрів забруднення атмосферного повітря на мобільних та вбудованих пристроях. Варто зазначити, що розроблене програмне забезпечення також здатне ефективно функціонувати в умовах, коли є прогалини в даних моніторингу атмосферного повітря. У статті [108] досліджується потенційне застосування штучних нейронних мереж для прогнозування ступеня забруднення атмосферного повітря в промисловій зоні. Розроблена система здатна охоплювати всі станції моніторингу в промисловій зоні, функціонувати безперервно протягом доби та сприяти прогнозуванню рівнів забруднення шляхом аналізу даних про поточну якість повітря та переважаючі погодні умови. Точність прогнозу оцінювалася за допомогою нейронної мережі з різною кількістю шарів. Це дослідження [109] зосереджується на вивченні впливу метеорологічних умов на накопичення та розповсюдження антропогенних забруднюючих речовин в атмосфері, а також на розробці методу прогнозування концентрації забруднюючих речовин, зокрема діоксиду азоту. За допомогою аналізу зон впливу промислових комплексів та вузлів у Києві ми отримали закономірності просторового та часового розподілу концентрацій двоокису азоту протягом 2003–2005 років. Крім того, ми визначили метеорологічні умови, які суттєво впливають на рівні забруднення.

Хмарні обчислення мають численні переваги для аналізу та прогнозування якості повітря: вони сприяють швидкому та ефективному масштабуванню завдань обробки та зберігання даних відповідно до потреб проекту; надають доступ до

широкого спектру сучасних аналітичних інструментів, включаючи машинне навчання та штучний інтелект. Хмарні провайдери пропонують різноманітні послуги, що полегшують аналіз даних про якість повітря. Пропозиції охоплюють зберігання даних, обробку даних, машинне навчання та інструменти для візуалізації даних [118–125]. Хмарні сервіс–провайдери полегшують зберігання даних про якість повітря, зібраних з безлічі джерел, включаючи стаціонарні станції моніторингу, мобільні датчики та супутникові знімки. Хмарне зберігання, здатне вмістити значні обсяги даних, полегшує доступ для дослідників, політиків та широкого загалу. Використання хмарного зберігання дозволяє використовувати сервіси обробки даних, що полегшують попередню обробку даних про якість повітря, очищення та перевірку даних, а також аналіз даних для отримання важливої інформації. Пропозиції включають сховища даних, канали передачі даних та складні системи обробки великих даних, такі як Hadoop і Spark, що сприяють швидкій та ефективній обробці значних обсягів даних і виконанню складних обчислень. Послуги машинного навчання можуть бути використані для побудови прогнозних моделей якості повітря та виявлення потенційних джерел забруднення. Алгоритми машинного навчання використовуються для виявлення закономірностей у даних про якість повітря, що дає інформацію, яка може слугувати основою для управлінських рішень. Хмарне зберігання даних включає інструменти візуалізації даних, що полегшують представлення даних про якість повітря в доступному форматі, дозволяючи створювати інтерактивні карти, діаграми та графіки. Прикладами хмарних сервісів, що сприяють досягненню цих цілей, є Amazon Web Services, Google Cloud Platform та Microsoft Azure, які допомагають аналізувати дані про якість повітря та дозволяють приймати обґрунтовані рішення як для наукових досліджень, так і для практичних завдань.

В якості приклада хмарного сховища кліматичних даних та інструментів їх обробки, знань, доступних в світовому просторі є Copernicus Climate Change Service (C3S). C3S— це операційна програма, яка базується на існуючій дослідницькій інфраструктурі та знаннях, доступних у Європі та інших країнах (рис. 2.7). C3S спирається на кліматичні дослідження, проведені в рамках

Всесвітньої програми дослідження клімату (WCRP), і відповідає вимогам користувачів, визначеним Глобальною системою спостереження за кліматом (GCOS). C3S надає важливий ресурс Глобальній структурі кліматичного обслуговування (GFCS) [126].



Рис. 2.7. Операційна програма Copernicus Climate Change Service (C3S), що надає кліматичні дані та інформацію про вплив на низку тем і галузей через наше сховище кліматичних даних (CDS) [126].

Copernicus Climate Change Service (C3S) доповнює встановлений спектр метеорологічних та екологічних послуг, які є в кожній європейській країні. Програма містить зручні додатки для аналізу та візуалізації даних, а саме:

- CDO (Climate Data Operators) – набір інструментів для роботи з даними моделей клімату та NWP: <https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo> і завантаження (<https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/files>)& документація (<https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/wiki/Cdo#Documentation>);
- NCO (оператор netCDF) – набір інструментів маніпулює та аналізує дані, що зберігаються у форматах, доступних netCDF: <http://nco.sourceforge.net> ;

- wgrib – маніпулювання, інвентаризація та декодування файлів GRIB:
<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/wgrib.html>;
- wgrib2: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/wgrib2/convert_wgrib2.html ;
- IDV (Integrated Data Viewer) – інструмент 3D геонаукової візуалізації та аналізу (на платформах Win, Mac, Linux):
<https://www.unidata.ucar.edu/software/idv> ;
- Metview: <https://confluence.ecmwf.int/display/METV> ;
- Візуалізація за допомогою Python: <https://matplotlib.org> & <https://matplotlib.org/stable/gallery/index.html>.

Для вирішення поставленої в дисертаційній роботі мети – оптимізація рішень «зеленого» будівництва з метою зменшення забруднення атмосферного повітря в залежності від кліматичних умов місцевості згідно розробленої концепції, зручно користуватися саме цією операційним програмним продуктом.

2.5 Висновки до розділу 2

На основі аналізу сучасних систем моніторингу атмосферного повітря та сучасних тенденцій щодо удосконалення цієї системи, встановлено наступне:

1. Забруднення повітря – серйозна проблема для здоров'я українських мешканців європейців; особливо це стосується впливу дрібних твердих частинок, які перевищували останніми роками нормативний рівень, встановлений ВООЗ. Забруднення атмосферного повітря даними частками також підвищує загальний рівень хронічних захворювань і значні витрати на охорону здоров'я на континенті

2. Структура сучасної системи моніторингу якості атмосферного повітря в містах, а також використовувані інструменти повинні відповідати визначеним параметрам методик вимірювання, чутливості та точності вимірювань відповідно до стандартів, встановлених Директивою Європейського Союзу

2008/50/ЄС. Ця директива реалізується відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 15 квітня 2015 року № 371–р.

3. В період післявоєнної відбудови країни постало гостро питання зменшення забруднення атмосферного повітря за рахунок впровадження методів «зеленого будівництва», розробки з дано питання на даний час відсутні, що підтверджує актуальність даних дисертаційних досліджень.

4. Створення інноваційної мережі моніторингу якості повітря (зокрема, концентрації будівельного пилу та інших твердих частинок) у реальному часі на будівельному майданчику та навколо нього, а також для мешканців міста вимагає інноваційних ІТ технологій для прогнозування потенційних впливів усіх вірогідних факторів впливу, в тому числі на кожному етапі зведення будівлі на людину та навколишнє середовище.

5. Сучасний етап розвитку іноваційних систем моніторингу і мережних технологій передбачає створення систем підтримки управлінських рішень в питаннях містобудівної діяльності.

6. Розроблено дисертантом схему вирішення задачі щодо прийняття управлінських рішень в питаннях реконструкції і «зеленого» будівництва в залежності від наявності хмарних сховищ моніторингових даних забруднення атмосферного повітря пиловими частками PM_{2,5} і PM₁₀, яку можна реалізувати за допомогою Autodesk® Green Building Studio.

Основні положення розділу 2 опубліковані автором у наукових працях [6,7,8,16]. Список використаних джерел у розділі 2 наведено у загальному списку використаних джерел [64–126].

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА КЛІМАТИЧНОГО РИЗИКУ ДЛЯ АДАПТАЦІЇ БУДІВЕЛЬНОГО СЕКТОРУ ДО КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЗМІН В ЕНЕРГОСПОЖИВАННІ БУДІВЕЛЬ.

3.1 Визначення кліматичного ризику в будівництві

Сучасні підходи до адаптації до зміни клімату в різних секторах економіки ґрунтуються на поняттях ризиків та вразливості, сформульованих у оціночних звітах AR4 та AR5, які вважаються основними для цього дискурсу [127–139].

Добре організованою, порівняно простою та широко застосовною методологією є методологія Німецького товариства міжнародного співробітництва (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH) [129].

В Україні Наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища та природних ресурсів від 3 червня 2023 року № 386 затверджено Методичні рекомендації щодо оцінки ризиків та вразливості соціально–економічних секторів та природних компонентів до зміни клімату. Ця ініціатива відповідає другому пункту

Оперативного плану реалізації Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на 2022–2024 роки, затвердженого наказом Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2021 року № 1363. Цей документ містить методологічні рекомендації, що визначають поняття кліматичного ризику та вразливості до зміни клімату на основі оцінок, наведених у звітах МГЕЗК AR4 та AR5 [127,128].

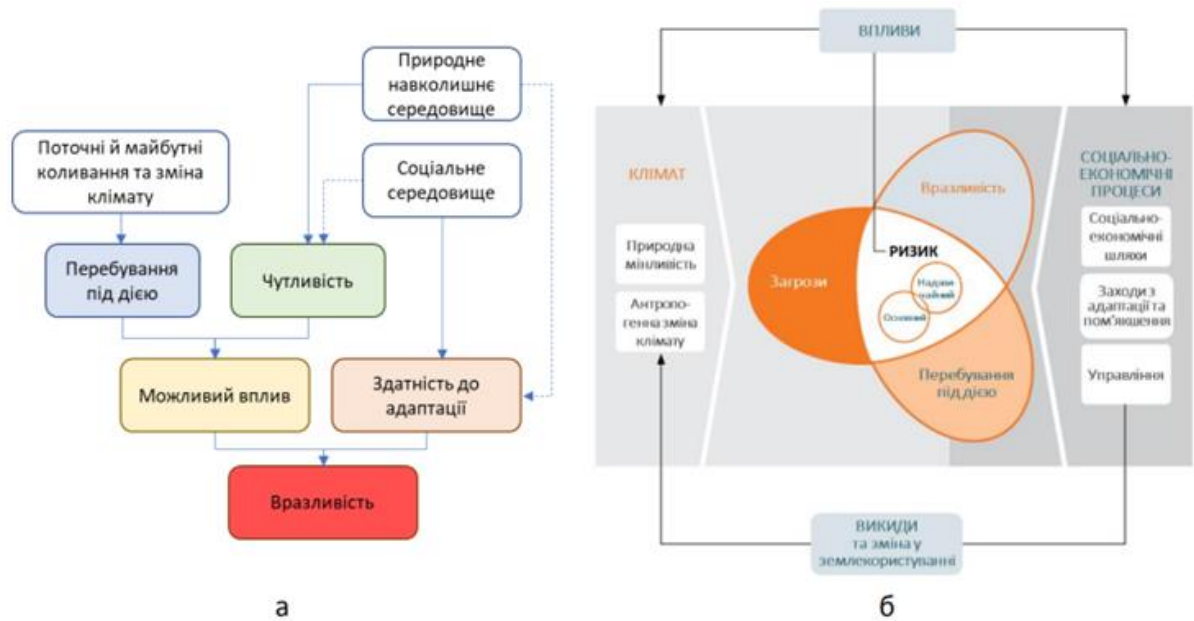


Рис.3.1. Концепція кліматичного ризику і вразливості для зміни клімату згідно оціночних доповідей МГЕЗК AR4 (а) та AR5 (б) [127,128].

Згідно з наданими рекомендаціями, рівень ризику визначається як інтегральний показник, що складається з трьох основних компонентів: кліматичних загроз (Hazard), ступеня впливу цих загроз на цінні об'єкти (Exposure) та їхньої вразливості (Vulnerability). Окремо розглядається адаптаційна спроможність (Adaptive Capacity), тобто здатність систем, інституцій, населення та інших організмів пристосовуватись до потенційної шкоди, використовувати нові можливості або реагувати на наслідки зміни клімату [130].

Відповідно до оглядового переліку рекомендованих кліматичних індексів від Служби зміни клімату Copernicus, який класифікує загрози за категоріями, визначеними Європейським тематичним центром з питань впливу, вразливості та адаптації до зміни клімату, у звіті «Climate-related hazard indices for Europe» [140], для дослідження в місті Києві були відібрані такі показники: середня температура в зимовий та літній періоди, добові мінімальні температури взимку та добові максимальні температури влітку [141].

Варто зазначити, що до категорії загроз належать не лише зміни або коливання кліматичних параметрів, але й їхні безпосередні фізичні впливи на

досліджувану систему. З огляду на це, цілком обґрунтованим є включення наслідків воєнних дій, таких як забруднення повітря, до переліку кліматичних загроз.

У будівельній сфері питання компенсації за кліматичну шкоду, спричинену військовими діями Росії, має включати зменшення майбутніх викидів парникових газів на всіх етапах життєвого циклу будівель — від виробництва цементу й сталі до експлуатації об'єктів. Зокрема, це стосується впровадження низьковуглецевих технологій, поліпшеного утеплення та переходу на відновлювані джерела енергії. Хоча повністю уникнути викидів при відбудові неможливо, їх можна суттєво зменшити завдяки використанню екологічних матеріалів і отриманню відповідних стимулів для проєктів сталого будівництва.

Покроковий алгоритм оцінювання ризиків і вразливості до зміни клімату викладений у міжнародному стандарті ISO 14091:2021 "Adaptation to climate change — Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment", адаптованому в Україні у вигляді ДСТУ EN ISO 14091:2022 [142, 143].

Трирівневий підхід до оцінювання ризиків (рис.3.1) є ефективним інструментом для управлінців у будівельному секторі: він дає змогу систематизувати процес оцінювання вразливості, приймати обґрунтовані управлінські рішення та раціонально використовувати обмежені ресурси на адаптацію. У подальших дослідженнях доцільно враховувати оновлені підходи, викладені в Шостому оціночному звіті (AR6), що перебуває на етапі затвердження [144].

Кліматичні чинники мають суттєвий вплив на розрахункові характеристики будівель, зокрема:

- у зимовий період — на теплову оболонку будівлі,
- у літній — на параметри вентиляційного обладнання,
- загалом — на викиди парникових газів, пов'язаних із експлуатацією об'єкта.

Ці аспекти повинні враховуватись у нормативних документах. Зараз енергетична ефективність будівель визначається відповідно до ДСТУ Б А.2.2–12:2015 та ДСТУ 9190:2022, які регламентують методи розрахунку споживання енергії для опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. Проте ці стандарти наразі не враховують повною мірою вплив зростання середніх температур на енерговитрати будівель у холодний і спекотний періоди. У роботі [141] обґрунтовано необхідність внесення змін до додатків відповідних нормативів, зокрема щодо уточнення середньомісячної температури, яка використовується в енергоаудиті.

Для визначення адаптаційних заходів часто застосовуються так звані «ланцюжки впливу», що ілюструють причинно–наслідкові зв'язки між загрозами, вразливістю системи та бажаними результатами адаптації [130]. Такий підхід дозволяє глибше зрозуміти, як конкретні кліматичні загрози можуть викликати як прямі, так і непрямі наслідки для системи, що перебуває під ризиком [134].

Приклади ланцюжків впливу, розроблених у рамках оцінювання кліматичних факторів, що впливають на проектні енерговитрати будівлі в зимовий період, наведено на рисунку 3.2, а вплив на технічні характеристики вентиляційного обладнання в літній — на рисунку 3.3.

Кількісні зміни в енергоспоживанні на 1 м² будівлі в різні пори року наведено в дослідженні [141]. Встановлено, що внаслідок кліматичних змін споживання енергії протягом двох зимових місяців для типового панельного будинку зі стінами площею 200 м² знизилося на 45,7 кВт·год/м², що еквівалентно зменшенню на 16%. Однак, зважаючи на підвищення середньої температури в зимовий період та утворення теплового купола над містом, у поєднанні з впливом воєнних дій і супутнім забрудненням повітря, виникають нові екологічні загрози, які потребують комплексного підходу до оцінювання та мінімізації ризиків



Рис.3.2. Потенційні зміни в енергоспоживанні в будівельному секторі для охолодження в літні місяці, а також реалістичні стратегії адаптації до зміни клімату, вимагають ретельного розгляду.



Рис.3.3. Потенційні коливання енергоспоживання в будівельному секторі в зимові місяці та різні стратегії, які можуть бути застосовані для пом'якшення наслідків зміни клімату

Ще один приклад ланцюжка впливів кліматичних факторів на енергоспоживання систем охолодження будівель в літній наведений на рис. 3.2.

Збільшення потреби енергії в охолодженні будівлі (на 1м²), внаслідок глобальних кліматичних змін було досліджено в роботі [141]. Авторами проведено прогнозне моделювання середньомісячних температур липня на періоди, що закладені Європейською комісією в Концепції досягнення кліматичної нейтральності міст. За допомогою програмного продукту OriginPro8 та світових баз даних, змодельовано зміни температурних показників на території м. Києва та прогнозні оцінки підвищення температур атмосферного повітря до 2030 та 2050 років. В роботі отримано прогнозу динаміку середньомісячної температури за звичайним та за вологим термометром у липні місяці, що наприкінці визначених періодів буде складати: 2030pp. – 24,136°C і 26,24°C; 2050 pp. – 26,371°C і 28,918°C відповідно при інших рівних умовах міського середовища. Розрахунок енерговитрат на кондиціювання повітря в приміщенні здійснювався відповідно до стандартів ДСТУ Б А.2.2–12:2015 «Енергетична ефективність будівель. метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, гарячому водопостачанні охолодженні, вентиляції, освітлення» та ДСТУ 9190:2022 «Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання».

Визначення інтегрального значення шуканого ризику відбувається шляхом об'єднання визначених величин компонентів ризику (загрози, вразливість, перебування під дією) за формулою (3.1) відповідно до [130]:

$$R = \frac{(HI \cdot w_H) + (VI \cdot w_V) + (EI \cdot w_E)}{w_H + w_V + w_E} \quad (3.1)$$

Де R –інтегральний показник ризику,

HI – зведений показник загрози,

VI – зведений показник вразливості,

EI – зведений показник перебування під дією,

WH,WV,WE – вагові коефіцієнти компонентів ризику.

Результати загального ризику попередньо можуть бути класифіковані за шкалою, що представлена в таблиці 3.1

Табл. 3.1 Категорії шкали оцінювання ризику відповідно до [130].

Числове значення	Бал	Опис
0 – 0.2	1	Оптимальне значення (покращення не потрібне або неможливе)
> 0.2 – 0.4	2	Скоріше позитивне значення
> 0.4 – 0.6	3	Нейтральне значення
> 0.6 – 0.8	4	Скоріше негативне
> 0.8 – 1	5	Критичне значення (система не функціонує або є негативні порушення)

Для узагальнення компонентів ризику може застосовуватись метод оцінювальної матриці. Такий матричний підхід забезпечує більшу контрольованість процесу агрегування та його результатів.

У геоінформаційних системах, під час накладання тематичних шарів з даними індикаторів та обчислення інтегрального ризику, використовуються зважені значення індикаторів, які зберігаються в атрибутивній таблиці кожного шару.

Згідно з рекомендаціями Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО), для аналізу кліматичних змінних прийнято використовувати стандартний 30-річний період. Періоди тривалістю менше ніж 15 років вважаються недостатньо репрезентативними для таких оцінок [146].

Що стосується вагових коефіцієнтів компонентів кліматичного ризику (загрози, вразливість, перебування під дією WH, WV, WE), ми їх будемо знаходити в залежності від вагових коефіцієнтів індикаторів відповідно до рекомендацій [130].

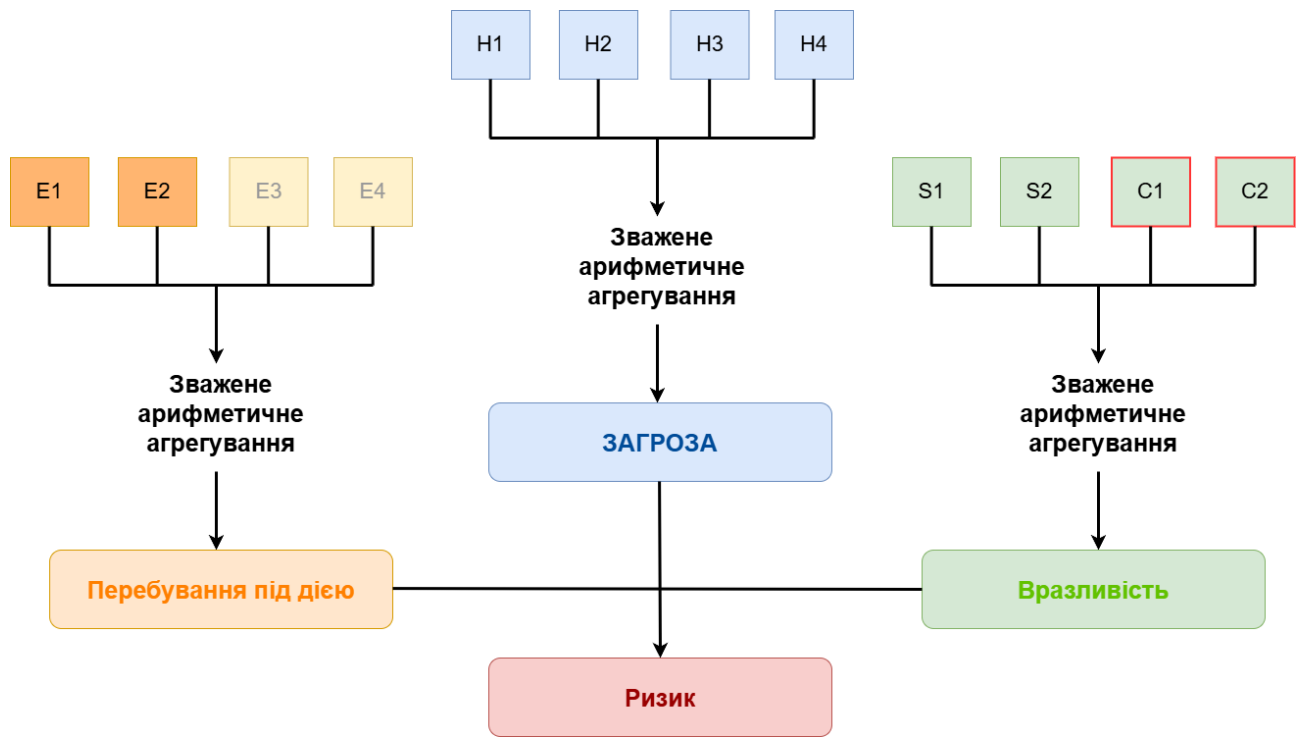


Рис.3.4. Агрегування окремих факторів компонентів ризику відповідно до діючих рекомендацій [130].

Вибрані нами індикатори для вибраних періодів мають додатні значення у метричній системі вимірів (добові $\min$ температури для зимового періоду, середня температура за літній періоди, добові $\max$ температури для літнього періоду). Відповідно до цього, вони можуть бути агреговані (нормалізовані) за наступною формулою [142]:

$$X_{i0-1} = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3.2)$$

X_i – поточне значення індикатору,

$X_{\min}$ – мінімальне значення індикатору,

$X_{\max}$ – максимальне значення індикатору,

X_{i0-1} – нормалізоване значення, що виражене у числовому діапазоні від 0 до 1.

Для зимового періоду, з врахуванням додатних оціночних значень на фоні глобального приросту температур, теж застосовуємо формулу (3.2).

Шкала категорій оцінювання в цій частині представлена в таблиці 3.2 [130].

Табл. 3.2. Рекомендована шкала оцінки індикаторів [130].

Числове значення	Бал	Опис
0 – 0,2	1	Оптимальне значення (покращення не потрібне або неможливе)
> 0,2 – 0,4	2	Скоріше позитивне значення
> 0,4 – 0,6	3	Нейтральне значення
> 0,6 – 0,8	4	Скоріше негативне
> 0,8 – 1	5	Критичне значення (система не функціонує або зазнає істотних негативних порушень)

Але для таких категорій, як, наприклад, ступінь управління енергоефективністю будівлі, можна, на нашу думку, взяти категорії, що відповідають класу енергоефективності будівлі згідно шкалі класів енергоефективності будівель, що визначається за показником загального питомого енергоспоживання при опаленні, охолодженні та постачанні гарячої води (Рис.3.5, таблиця 3.3).

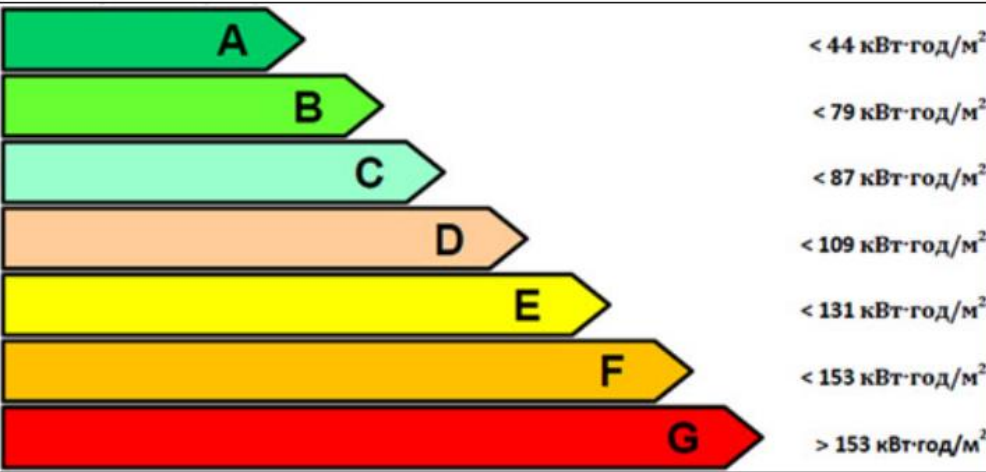
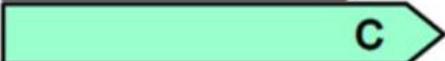
Шкала класів енергетичної ефективності		Клас енергетичної ефективності
Високий рівень енергоефективності		
	< 44 кВт·год/м ²	
	< 79 кВт·год/м ²	
	< 87 кВт·год/м ²	
	< 109 кВт·год/м ²	
	< 131 кВт·год/м ²	
	< 153 кВт·год/м ²	
	> 153 кВт·год/м ²	
Низький рівень енергоефективності		
Питоме споживання енергії на опалення, гаряче водопостачання, охолодження будівлі		83,6

Рис. 3.5. Шкала оцінки індикаторів щодо ступеня енергоефективності будівлі [147]

Шкала класу енергоефективності будівлі визначається на підставі зіставлення отриманих значень енергоспоживання з нормативними максимальних теплових витрат житлових і цивільних будівель, [147]. Розрахункові або фактичні питомі витрати теплової енергії на опалення мають бути меншими за гранично допустиме значення, встановлене для опалювального періоду. Дотримання цієї вимоги для будівлі, що проектується чи вже експлуатується, перевіряється на основі результатів експериментальних досліджень або за допомогою математичного моделювання теплового режиму будівлі [148–150].

Класи енергетичної ефективності будинку (A, B, C, D, E, F) встановлюються на підставі різниці в % розрахункового або фактичного значення питомих тепловитрат, від максимально допустимого значення. В таблиці 3.4 на основі класів енергоефективності будівель представлена шкала оцінки індикаторів.

Табл. 3.3. Класифікація будинків за енергетичною ефективністю [147].

Класи енергетичної ефективності будинку	Різниця в % розрахункового або фактичного значення питомих тепловитрат, $q_{пл}$, від максимально допустимого значення, E_{max} $[(q_{пл} - E_{max}) / E_{max}] \cdot 100\%$
A	Мінус 50 та менше
B	Від мінус 49 до мінус 10
C	Від мінус 9 до 0
D	Від 1 до 25
E	Від 26 до 75
F	76 та більше

Табл. 3.4. Шкала оцінки індикаторів на основі класів енергоефективності будівель.

Числове значення	Бал/ (Бал по шкалі)	Опис
0–0,2	1 (A)	Оптимальне значення
$\geq 0,2$ –0,4	2(B)	Скоріш позитивне значення
$\geq 0,4$ –0,6	3 (C)	Нейтральне значення
$\geq 0,6$ –0,8	4(D)	Скоріш негативне значення
$\geq 0,8$ –1	5(E, F)	Критичне значення

В подальшому дослідженні було застосовано наступний алгоритм:

- 1) Окремі індикатори помножуються на присвоєні вагові коефіцієнти і діляться на суму їх ваг;
- 2) обчислюється зведений показник компонента ризику згідно формули (3.4):

$$CI = \frac{(I_1 \cdot w_1 + I_2 \cdot w_2 + \dots + I_n \cdot w_n)}{\sum_1^n w} \quad (3.4)$$

В даній формулі:

CI – зведений показник компоненту ризику,

Ii окремих індикаторів компонента ризику,

Wi – ваговий коефіцієнт індикатору.

Таким чином ми нормалізуємо всі компоненти ризику згідно рис. 3.4.

3.2 Вплив воєнних дій в Україні на клімат

Третя проміжна оцінка, проведена за підтримки Європейського кліматичного фонду (ECF) та Ініціативи з екологічної політики та адвокації в Україні (EPAIU), показала, що протягом 18 місяців (або 555 днів) інтенсивного конфлікту викиди парникових газів (ПГ) склали 150 мільйонів тонн еквіваленту CO₂. Це перевищує річні викиди парникових газів таких високоіндустріалізованих країн, як Бельгія [151]. Застосовуючи стандартну «тіньову ціну» на викиди вуглецю, встановлену на рівні 64 долари за тону еквіваленту CO₂ (дані за 2022–2023 роки), було підраховано, що сукупний кліматичний збиток, заподіяний Російською Федерацією протягом цього періоду, становить приблизно 9,6 млрд доларів [151].

Для зменшення цього збитку доцільно виділити компенсаційні кошти на відновлення зруйнованих лісів, скорочення майбутніх викидів, пов'язаних з будівництвом, зокрема через використання цементу та сталі, сприяння низьковуглецевому відновленню, підвищення енергоефективності будівель та збільшення використання відновлюваних джерел енергії.

У звіті EPAIU [151] зазначено, що відновлення пошкодженої або знищеної цивільної інфраструктури стане основним джерелом викидів вуглецю після закінчення конфлікту. Наприклад, знищення дамби в Новій Каховці, а також подальше затоплення нижче за течією та вичерпання водосховища, завдало значної шкоди спорудам і призвело до викидів, які вже зросли до 54,7 млн тонн еквіваленту CO₂, і тенденція до зростання залишається очевидною. Станом на

555-й день війни викиди ПГ, пов'язані з відновленням цивільної інфраструктури, оцінювалися таким чином:

- будівлі — 25,9 млн тонн CO₂–екв.,
- транспорт і дорожня інфраструктура — 14,3 млн тонн CO₂–екв.,
- промисловість та енергетика — 14,4 млн тонн CO₂–екв. [151].

За ініціативою Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України створено спеціальний вебресурс [152], на якому збираються дані про екологічну шкоду, отримані від місцевої влади та громадян. Також низка міжнародних організацій, зокрема Обсерваторія конфліктів і довкілля (Conflict and Environment Observatory) та Екологічна мережа Зої (Zoë Environment Network), регулярно публікують аналітичні огляди, що використовуються для оцінки наслідків екологічних втрат [153–157]. Центр екологічних ініціатив «Екодія» спільно з Greenpeace обробляє ці дані за допомогою інтерактивної мапи для візуалізації потенційної шкоди довкіллю [154].

Щодо будівельної сфери, очевидно, що повністю уникнути викидів під час відбудови неможливо. Проте їхній рівень можна суттєво знизити шляхом впровадження сталих рішень, використання низьковуглецевих технологій і матеріалів у процесі реконструкції пошкоджених будівель та інфраструктури.

Врахування впливу воєнних дій на певній території (в нашому випадку на прикладі м. Києва) при оцінці кліматичного ризику відбувається через базу моніторингових даних останніх років щодо температурних показників і показників якості повітря. Цей вплив доцільно враховувати за допомогою поправочного коефіцієнту, методика пошуку якого викладена у наступному параграфі

3.3 Методика визначення врахування кліматичних змін на забруднення атмосферного повітря при післявоєнній відбудові країни

За допомогою використання програмного продукту OriginPro8 було зроблено аналіз змін температурних показників для території м.Києва протягом

періоду 1881–2021 років, що можна представити кореляційними лінійними залежностями між температурними значеннями (вісь Y) та часовим періодом (вісь X) [158,159]:

$$Y = 0,015x - 21,5 \quad (3.5)$$

На цій основі отримані залежності прогнозованих даних середньорічних температурних показників атмосферного повітря на період до 2160 року мають аналогічні залежності, які представлені в роботі [159]. Прогнозний приріст в 2022–2024 роках середньорічних температурних показників, середніх температурних показників січня і середніх температурних показників липня мав становити відповідно 0,0148°C щорічно.

В першому розділі даної дисертаційної роботи приведені залежності між температурними показниками та аерозольним забрудненням фракціями PM_{2,5} атмосферного повітря на метеопостах м. Києва (Рис. 4 і Рис. 5) на вул. Попудренка і на вулицях Тростянецька, Проспект Науки, Голосіївська та Артема за даними 2020 року представлені формулами (3.6), (3.7) відповідно:

$$Y = 0,015x - 21,5 \quad (3.6)$$

$$Y = 0,015x - 21,5 \quad (3.7)$$

В Україні нормативні значення для дрібних твердих частинок (PM₁₀ і PM_{2,5}) відсутні. Однак рекомендації Всесвітньої організації охорони здоров'я щодо якості повітря передбачають, що рекомендований середньодобовий рівень для PM₁₀ становить 0,05 мг/м³, а для PM_{2,5} – 0,025 мг/м³ [160].

Дослідження змін якості атмосферного повітря, зокрема концентрації твердих мікрочастинок (PM_{2,5}) в українських містах під час карантину та воєнного стану, було проведено в [161]. Цей аналіз базується на комплексному ряді досліджень [162–169] і вивчає сезонну динаміку забруднення повітря

мікрочастинками РМ 2,5 у цих міських районах. Найвищі показники забруднення повітря РМ 2,5 фіксуються в холодні місяці, що пов'язано з викидами від спалювання викопного палива для опалення.

Проаналізовані прогнозні дані щодо показників температури атмосферного повітря (додаток А) разом з різними дослідженнями, проведеними вітчизняними та зарубіжними вченими, підкреслюють необхідність врахування прогнозованого підвищення температури, пов'язаного з глобальною зміною клімату, в розрахунках викидів.

Відповідно до чинних стандартів України, ДСТУ Б А.2.2–12:2015 стосується енергоефективності будівель. Методика визначення енергоспоживання на опалення, гаряче водопостачання, охолодження, вентиляцію та освітлення, викладена в ДСТУ 9190:2022, використовує дані про середньомісячну температуру, отримані з додатків, в яких проаналізовано коливання температури з 1881 по 2020 рік. Цей підхід не враховує прогнозовані тенденції динаміки середньомісячної температури [170].

Отже, дослідження авторів підкреслює необхідність внесення змін до додатків до нормативних документів, що забезпечить врахування середньомісячної температури при розрахунках енергоефективності будівель за еквівалентних умов, а також викидів у технологічних процесах протягом усього життєвого циклу будівлі.

Автором пропонується враховувати прогнозну динаміку середньомісячної температури при розрахунках викидів в будівництві на передпроектній стадії за формулою (29), що отримана на основі кореляційної залежності (3.8):

$$t^0 = t^{0l} + 0,015 (30+N) \quad (3.8)$$

В даній формулі t^0 – середньомісячна температура яку рекомендується приймати при розрахунках енергоефективності будівлі та викидів в навколишнє середовище на протязі життєвого циклу;

t^0 – середньомісячна температура згідно ДСТУ 9190:2022 «Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання»;

N – кількість років від розрахункового 2020 року (на основі 30-річного періоду 1981–2020 років).

З даних моніторингових баз по м. Києву можна зробити висновок, що похибка в розрахункових та вимірних моніторингових даних суттєво збільшується останніми трьома роками.

Таким чином, з деяким ступенем наближення можна прийняти значення поправочного коефіцієнту при розрахунку значень кліматичного ризику на врахування впливу глобальних змін при післявоєнному відновленні країни, що дорівнює відношенню температурних показників між значеннями в нормативних документах на основі 30-річного періоду 1981–2020 років і року терміну експлуатації об'єкту (t/t^0).

3.4 Висновки до розділу 3

Аналіз сучасних стратегій адаптації до зміни клімату в різних секторах економіки, а також поняття ризику та вразливості, сформульовані в оціночних звітах AR4 та AR5, дозволив зробити такі висновки:

– У сфері будівництва вирішення проблеми кліматичних наслідків військових дій Росії та пом'якшення цього впливу можна реалізувати шляхом впровадження низьковуглецевих «зелених» технологій будівництва. Це включає мінімізацію майбутніх викидів протягом усього життєвого циклу будівництва, включаючи виробництво цементу та сталі, поліпшення теплоізоляції будівель та інтеграцію відновлюваних джерел енергії; – Загальна вартість ризику, про який йдеться, становить

– Враховуючи, що загрози охоплюють не тільки зміни або коливання кліматичних показників, але й їхні відчутні фізичні наслідки для оцінюваної системи, доцільно включити до цієї категорії наслідки військових дій, зокрема

забруднення повітря, що виникає в результаті таких дій; – В рамках оцінки кліматичних факторів, що впливають на розрахункові показники енергоспоживання будівлі, було створено мережі впливу кліматичних ризиків.

– Було розроблено системний підхід до розрахунку коефіцієнта корекції, необхідного для оцінки кліматичного ризику в будівництві в умовах післявоєнної відбудови країни, з урахуванням довгострокових прогнозів підвищення температури, характерних для міста Києва.

Основні положення розділу 3 опубліковані автором у наукових працях [1, 8, 14]. Список використаних джерел у розділі 3 наведено у загальному списку використаних джерел [127–170].

РОЗДІЛ 4. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ «ЗЕЛЕНОГО» БУДІВНИЦТВА В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ

4.1 Сучасний досвід використання технологій «зеленого» будівництва для зменшення забруднення повітря міського середовища

За даними платформи IQAir, упродовж 2020–2024 років Київ неодноразово входив до десятки міст світу з найвищим рівнем забруднення атмосферного повітря [171]. Згідно з результатами низки досліджень, до 85 % забруднення повітря в місті спричиняється викидами від транспорту – пересувних джерел, тоді як лише 15 % припадає на стаціонарні джерела, зокрема промислові підприємства. Основний внесок у транспортне забруднення роблять приватні автомобілі, які, за довоєнними прогнозами, мали збільшитися у кількості на 60 % до 2025 року. До 2022 року близько 90 % стаціонарних джерел забруднення становили підприємства енергетичного сектору, зокрема ТЕЦ–5, ТЕЦ–6, ПАТ "Київгаз", КП "Київтеплоенерго", завод "Енергія" та інші. Щорічно вони викидали понад 25 тисяч тон забруднюючих речовин та до 5 мільйонів тон CO₂. У результаті багаторічного моніторингу встановлено, що в Києві концентрація діоксиду азоту зросла на 50 %, а формальдегіду – на 200 %. Така динаміка, спричинена зростанням автотранспорту й відповідним підвищенням рівня первинного та вторинного (фотохімічного) забруднення, суттєво підвищує екологічні ризики для здоров'я населення [171].

Світова практика впровадження «зелених» технологій у будівництві та зменшення вуглецевого сліду докладно розглянута в багатьох дослідженнях [172–183]. Зокрема, обов'язкове покриття дахів щонайменше на 30 % сонячними панелями вже впроваджене в Берліні, де ця вимога поширюється не лише на новобудови, а й на реконструйовані житлові, комерційні та промислові об'єкти. В Україні натомість фінансова підтримка встановлення сонячних панелей наразі

відсутня – існують лише податкові та митні пільги, що переважно передбачають звільнення від оподаткування на імпорт відповідного обладнання.

Водночас потреба у відновленні зруйнованих будівель і споруд різного призначення, а також прагнення до підвищення енергоефективності новобудов, призводить до активного використання будівельних матеріалів з високим вуглецевим слідом – бетону, сталі, скла. У зв'язку з цим зростає актуальність обліку та відкритого оприлюднення даних про викиди CO₂, що утворюються в процесі їх виробництва. Виробники, які прагнуть брати участь у проєктах «зеленого» будівництва, мають впроваджувати інноваційні низьковуглецеві технології. На сьогодні в Україні лише формуються законодавчі засади екологічної безпеки будівельних матеріалів. Хоча вже діють закони та нормативи, що забороняють використання токсичних для людини матеріалів, екологічність продукції та ресурсозбереження у виробництві мають враховуватися і під час державних закупівель – зокрема, у тендерній документації.

Окремої уваги заслуговує глобальна тенденція до переробки будівельних відходів як способу скорочення викидів, пов'язаних із будівництвом. У таких країнах, як Данія й Німеччина, сучасне законодавство зобов'язує використовувати певну частку перероблених матеріалів у новому будівництві. В Австрії, наприклад, переробляють до 87 % відходів, що виникають під час будівництва й демонтажу споруд. Цей підхід є надзвичайно актуальним і для України: після кожного обстрілу або руйнування інфраструктури проводяться розбори завалів та очищення територій. Будівельні та демонтажні відходи можуть бути повторно використані не лише для відновлення пошкоджених об'єктів, але й для виробництва нових будівельних матеріалів – за умови їх ретельного сортування. Такі відсортовані матеріали можуть бути застосовані для будівництва доріг, ліквідації ям або як сировина для нових конструкційних матеріалів, якщо при цьому контролюється рівень шкідливих викидів у довкілля.

Європейська Комісія висунула пропозицію щодо внесення змін до стандартів якості повітря з метою їхнього приведення у відповідність до

рекомендацій Всесвітньої організації охорони здоров'я. Міста мають потенціал відігравати ключову роль у досягненні нульового рівня забруднення та вуглецевої нейтральності шляхом впровадження низки стратегічних заходів, серед яких: врахування екологічних аспектів у документах регіональної та міської стратегії розвитку; підвищення актуальності екологічних питань у місцевому політичному дискурсі; розробка цільових стратегій та програм, спрямованих на захист навколишнього середовища або його окремих компонентів; залучення місцевих органів влади до екологічних дискусій на національному рівні. Важливим є також:

- Сприяння громадським ініціативам та підтримка екологічних стартапів за допомогою програм малих грантів;
- Заохочення зелених інвестицій у міських умовах;
- Дослідження фінансових можливостей у світлі інтеграції України до ЄЕС;
- Поширення екологічної свідомості серед мешканців, зокрема шляхом залучення лідерів громадської думки до пропаганди екологічних принципів та залучення культурних і мистецьких кіл;
- Реалізація відповідних інфраструктурних стратегій, включаючи пілотні та демонстраційні проекти, спрямовані на перехід до відновлюваних джерел енергії в визначених муніципальних установах, таких як навчальні заклади, медичні центри та дошкільні установи;

Формування сталого міського транспорту вимагає інтеграції транспортної інфраструктури та розвитку безпечного, комфортного та екологічно свідомого транспорту в рамках стратегічних регіональних та міських програм розвитку. Це включає розробку планів розвитку громадського транспорту, що надають пріоритет екологічній безпеці та комфорту мешканців, а також створення цільових стратегій та програм, спрямованих на сприяння сталому транспорту. Такі ініціативи

Необхідно приділяти належну увагу посиленню ініціатив з озеленення міст. Місто значних розмірів потребує відповідного збільшення чисельності

населення та кількості транспортних засобів, що збільшує попит на зелені насадження, природні заповідники та охоронні зони. Ці природні території сприяють збереженню чистого довкілля та відіграють важливу роль у захисті унікальних видів флори та фауни. Інтеграція зелених дахів, вертикальне озеленення будівель, екологічні зупинки громадського транспорту та інші сучасні стратегії, спрямовані на поліпшення якості повітря в містах, повинні бути включені до планів післявоєнної відбудови та реконструкції.

Більш тонка очистка промислових викидів сприяє оздоровленню повітря міст, а новітні технології уловлювання та зберігання вуглекислого газу сприятимуть низьковуглецевій політиці в будівельній галузі. Вуглекислий газ можна вилучати з димових газів після попереднього очищення їх від звичних забруднювачів. Відібраний CO₂ піддається стисненню та транспортується трубопроводами до місць для його довготривалого зберігання. Цей процес є енергозатратним і дорогим, тому наразі в Україні майже не застосовується. Водночас із технологією уловлювання та зберігання вуглекислого газу (CCS) пов'язують великі сподівання, і в разі підтвердження її ефективності вона може бути впроваджена і на українських підприємствах.

Будівельна галузь потребує системного підходу до вибору рішення ще на стадії проекту реконструкції або забудови. Зростання рівня промислового забруднення у світі спонукає до активного пошуку економічно ефективних екологічних рішень для скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу. Успішні приклади впровадження таких рішень та досягнення балансу між екологічною безпекою і виробничими інтересами поступово закріплюються на законодавчому та регуляторному рівнях у вигляді законів про інтегроване запобігання та зменшення промислового забруднення, стандартів і регламентів. У цьому контексті Організація економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), до складу якої входять 35 промислово розвинених країн Північної та Південної Америки, Європи, Азійсько-Тихоокеанського регіону, а також Європейський Союз, нещодавно представила власний підхід до визначення

найкращих доступних технологій (НДТМ), сформульований у вигляді алгоритму [184]:

а) збір інформації щодо технологій запобігання забрудненню навколишнього середовища і контролю показників викидів і рівня споживання (енергії, матеріалів тощо), яка збирається для подальшого аналізу;

б) оцінка на відповідність технологій економічним, екологічним та соціальним критеріям;

в) НДТМ і асоційовані показники ефективності їх застосування, включаючи допустимий рівень забруднення і викидів закріплюються у довідкових матеріалах;

г) дозвільний орган формує умови дозволу на основі асоційованих показників ефективності НДТМ, в тому числі допустимих рівнів викидів.

Також директива 2010/75/ЄС визначає, що найкращі доступні технології (НДТ) є вершиною розвитку діяльності та методів її здійснення. Ця рамкова програма ілюструє, як конкретні технології можуть слугувати основою для встановлення граничних значень викидів та інших умов дозволів, спрямованих на запобігання викидам та пом'якшення впливу на навколишнє середовище або, якщо це неможливо, на мінімізацію такого впливу.

Європейський Союз з 1996 року впроваджує політику запобігання та контролю промислового забруднення, яка базується на використанні найкращих доступних технологій і методів (НДТМ). Основними інструментами цієї політики для охорони повітря, води та ґрунтів є переліки НДТМ, закріплені в Директиві про промислові викиди (IED, 2010). Ця директива встановлює інтегрований підхід до видачі дозволів на промислову діяльність, що передбачає досягнення найвищого рівня захисту довкілля без перенесення забруднення між його компонентами (вода, повітря, ґрунт). Процедура відбору та оцінки НДТМ у межах ЄС здійснюється за уніфікованою методологією, відомою як Севільський процес. У межах цього процесу експертні групи, до складу яких входять науковці, представники влади, бізнесу, асоціацій та громадськості, працюють над створенням довідкових документів (BREF – BAT Reference Documents) для

різних галузей економіки, зокрема й будівельної, яка є одним із джерел значного забруднення.

Процедура визначення НДТМ для будівництва включає ряд наступних кроків, а саме:

- визначення ключових екологічних проблем для сектору девелопменту;
- дослідження технологій і підходів, що мають найбільше значення для вирішення основних завдань зі скорочення викидів;
- ідентифікація оптимальних показників екологічної ефективності на основі міжнародного досвіду та глобальних даних;
- вивчення умов, за яких ці екологічні показники можуть бути досягнуті, враховуючи витрати, вплив на кожен компонент довкілля та загальні фактори, які можуть вплинути на впровадження даної технології;
- визначення НДНМ, пов'язаних з ними допустимих рівнів викидів (та інших екологічних показників результативності);
- моніторинг досягнення встановлених показників для будівельного сектору.

Таким чином, в Україні при післявоєнному відновленні повинно враховувати системний підхід до вибору рішення на фоні глобального підвищення температурного показника і досвід ЄС щодо НДТМ. [184].

Системний підхід щодо основ «зеленого» будівництва повинен враховувати всі аспекти навколишнього середовища, в тому числі регіональні особливості напружено–деформованого стану ґрунтів та будівництва на зсувних схилах і визначення основних закономірностей та моделей розвитку зсувних процесів (бокові розповсюдження, ґрунтові потоки та зсуви), що є актуальним для умов будівництва в м. Києві і в інших регіонах України [185–188]. Специфіка розрізу зсуву в поєднанні з регіональними особливостями ґрунтової основи зумовлює певні особливості діаграми розподілу зсувного тиску та розробку технічних рішень щодо проектування опорних протизсувних споруд. В роботі [185] розглядаються чисельні методи математичного моделювання процесу перерозподілу напружень в зсувному схилі внаслідок підвищення його

сейсмічності, що в кінцевому підсумку викликає рух схилу (розвантаження накопичених напружень). Дані дослідження на стадії проекту споруди дозволяють робити будівельні об'єкти більш сталими і екологічними.

Впровадження основних принципів «зеленого» енергоефективного будівництва допоможе у адаптації галузі до кліматичних змін та зменшення вуглецевого сліду на всіх стадіях життєвого циклу та запобігання забруднення атмосферного повітря [186–201].

4.2 Системний підхід при виборі конструктивного рішення енергоефективності будівлі при її реконструкції з врахуванням оцінки кліматичного ризику

Враховуючи системний підхід, який описано в третьому розділі даної роботи, що засновано на діючих рекомендаціях [130] наведемо приклад оцінки ризику змін в енергоспоживанні при реконструкції звичайного панельного будинку в зимовий та літній періоди з метою подальшого призначення можливих заходів з адаптації до змін клімату. Кліматичні осереднені дані беремо з відкритих існуючих світових баз кліматичних даних для території м. Києва.

Агрегування окремих факторів компонентів ризику відповідно до діючих рекомендацій [130] проводимо за формулою (3.2).

Згідно бази даних Climate Change Service Copernicus, добова середня температура для зимового періоду становила $-3,7^{\circ}\text{C}$ (січень), середня температура за літній період становила $20,4^{\circ}\text{C}$, середня добова мінімальна температура в зимовий період $-9,8^{\circ}\text{C}$, середня max температура для літнього періоду становила $25,8^{\circ}\text{C}$. Кліматологічний дані для кожного місяця року усереднено за базовий період 1981–2010 рр. Нормалізоване числове значення, що виражене у числовому діапазоні від 0 до 1 для зимового періоду та для літнього періоду в м. Києві становить відповідно:

$$X_{i0-1} = (-3,7 + 9,8) / (0 + 9,8) = 0,62$$

$$X_{i0-1} = (20,4 - 15,8) / (25,8 - 15,8) = 0,46$$

При враховуванні прогнозової динаміки середньомісячної температури при розрахунках викидів в будівництві на передпроектній стадії за формулою (29), отримуємо нормалізовані числові значення прогнозних кліматичних індикаторів відповідно 0,73 для зимового періоду і 0,56 для літнього.

Індикатори вразливості системи представлені на Рис. 3.2 і Рис.3.3. Для спрощення задачі беремо індикатор оболонки будівлі і за нормалізоване числове значення приймаємо згідно таблиці 10 згідно з коефіцієнтом поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції ДСТУ 9190:2022 «Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання» 0,7 для літнього періоду і 0,63 для зимового відповідно.

Нормалізоване значення, що виражає забруднення атмосферного повітря в для м.Києві в залежності від температурних умов беремо за моніторинговими даними щодо забруднення атмосферного повітря за формулою (24) і отримуємо для зимового періоду $X_{i0-1} = 0,9$, для липня місяця $X_{i0-1} = 0,62$.

Інтегральний показник ризику за формулою (23) при розгляді оболонки будівлі без утеплення і з врахуванням проміжного впливу – забруднення атмосферного повітря складає відповідно для зимового періоду 0,75 та для літнього – 0,59 без врахування прогнозних температурних змін. З врахуванням нормалізованих числових значень прогнозних кліматичних індикаторів відповідно 0,73 для зимового періоду і 0,56 для літнього підвищення температури, інтегральний ризик матиме значення 0,77 для зимового періоду і 0,62 – для липня місяця. Кліматичний ризик системи має скоріш негативне значення і зазнає негативних порушень.

Кількісні показники в енергоспоживанні на 1м^2 стандартної жилої будівлі для України становлять біля $180\text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м.кв.}$ У європейських країнах цей показник у рази нижче [202].

Приймаємо для нашого розрахунку стіну з додатковим утепленням світлою цементною штукатуркою. В цьому випадку агрегований коефіцієнт індикатору вразливості згідно таблиці 10 згідно з коефіцієнтом поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції ДСТУ 9190:2022 дорівнюватиме 0,3, а інтегроване значення кліматичного ризику становить 0,53 для зимового і 0,49 відповідно для літнього місяців.

Згідно таблиці 3.4 кліматичний ризик у випадку утеплення стін має нейтральне значення. В даному випадку слід підвищувати енергоефективність будівлі за рахунок технологічних заходів – таких як утеплення віконних отворів, зміна технології видобутку цементу на низьковуглецеву, застосування альтернативних джерел енергії тощо.

Крім цього, слід зазначити важливість внесення корегувальних оновлень в додатки нормативних документів, що стосуються прийняття середньомісячної температури в розрахунках енергоефективності будівлі при інших рівних умовах (ДСТУ 9190:2022).

4.3 Застосування нейронних мереж при виборі оптимального варіанту відбудови міста

Здатність використовувати технології IoT у будівельних роботах, експлуатації будівель, реконструкції інженерних комунікацій, а також проектуванні та створенні «розумних міст» частково описана в другому розділі даної роботи. Схема вирішення задачі щодо прийняття управлінських рішень в питаннях реконструкції і будівництва в залежності від забруднення атмосферного повітря пиловими частками представлена на Рис. 2.6.

Робота запропонованої та використовуваної нейронної мережі та «глибокого навчання» подана автором в роботі [117]. Базова структура штучної

нейронної мережі та глибокої нейронної мережі змодельована за аналогією з тим, як біологічна нервова система обробляє інформацію. Мережа складається із взаємозалежних обчислювальних блоків (нейронів), які організовані у шари. Шари поділяються на такі групи (рис. 4.1): • вхідний шар (з кількістю нейронів, що відповідає кількості вхідних змінних); • приховані шари; • вихідний шар (де кожна залежна змінна відповідає нейрону). Кожен із k шарів складається з перемінного числа нейронів. Мережа має стільки нейронів у вхідному шарі, скільки вхідних змінних (n), і стільки вихідних нейронів, скільки класів даних (m). Нейрон пов'язаний з усіма нейронами у двох сусідніх шарах за допомогою зважених зв'язків (w).

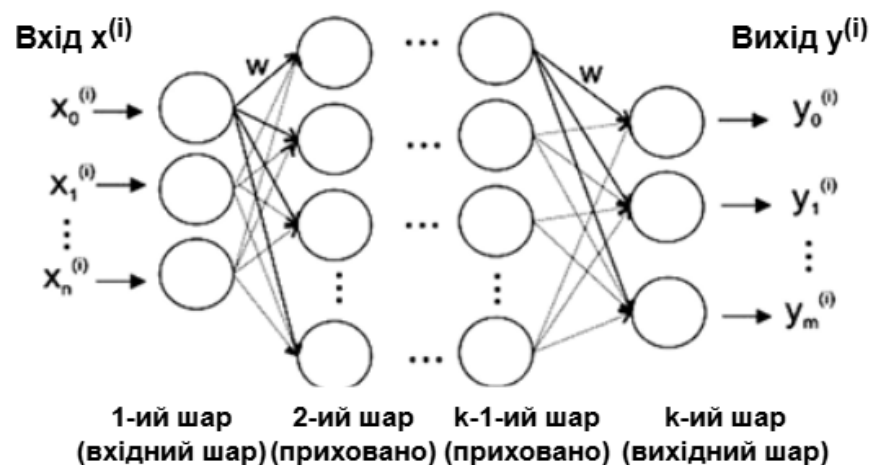


Рис.4.1. Схематична структура глибокої нейронної мережі прямого поширення.

Найбільш широко використовуваним типом DNN є нейронна мережа прямого поширення. У такій мережі кожен нейрон пов'язаний з усіма нейронами у сусідніх шарах, але нейрони всередині шару пов'язані. Сила зв'язку між двома нейронами визначається регульованою вагою w . Кожен нейрон передає вихід значення, обчислюване як функція активації від зваженої суми вхідних даних [203, 204]. Різновидом нейромережі, яку часто використовують для розпізнавання образів на зображеннях або даних тимчасових рядів, є нейронна мережа (Convolutional Neural Network, CNN). На додаток до повнозв'язних шарів

CNN включає згорткові і пулінгові шари. На згортковому шарі фільтри застосовуються послідовно до всіх частин вхідних даних з використанням тих самих ваг. Наступні пулінгові шари об'єднують вихідні дані зі згорткових шарів, роблячи їх менш чутливими до незначних зсувів та спотворень даних. Послідовність таких шарів згортки та пулінгу може «витягувати» з даних досить високорівневі властивості [205].

На етапі навчання ваги DNN ітеративно оновлюються, щоб мінімізувати помилку передбачення. Щоб виміряти точність передбачень нових вхідних даних, їх поділяють на навчальний та тестовий набори. Деталі мережевої архітектури, такі як розмір мережі, вибір конкретних типів шарів та параметри процесу навчання, багато в чому визначають точність передбачення та зазвичай залежать від конкретної задачі. Розділ S2 у додатку надає посібник із проєктування та навчання DNN, а також; практичні міркування щодо застосування DNN [206,207].

Аналіз проєктної області програмного додатку з використання моделей моніторингу на базі нейронної мережі зі згорткою дозволив здійснити реалізацію задачі щодо створення власної інформаційної системи ідентифікації, яка забезпечуватиме відображення між входом (наприклад, стан будівлі чи споруди до реконструкції, оновлення) на вихід; звіт та рекомендації по засобах та способах модернізації. У роботі проаналізовано сильні та слабкі сторони архітектур згорткових нейронних мереж, що стало основою для створення програмного додатку. Проведено пошук і обробку актуальної інформації, здійснено аналіз аналогічних програм з метою виявлення ключових переваг і недоліків. Визначено, протестовано та реалізовано програмне рішення для досягнення поставленої мети. Розроблено архітектуру додатку, технічне завдання, матрицю розподілу відповідальності, встановлено строки виконання завдань, що відображені у діаграмі Ганта. Також виконано аналіз потенційних ризиків проєкту та запропоновано заходи їх мінімізації. У проєктній частині роботи створено модель процесів та діаграму варіантів використання для реалізації додатку на основі згорткової нейронної мережі.

Обговорення та дискусії Дані дослідження побудовані на припущенні можливості зменшення негативного впливу будівництва на навколишнє середовище через забруднення атмосферного повітря, підвищення енергоефективності та створення сталого житла [208–212]. Наведемо кілька прикладів «зелених» технологій у будівництві, які пропонується використовувати для зменшення забруднення атмосферного повітря за допомогою IoT та нейронних мереж:

1) Використання теплових насосів, сонячних панелей та вітрових турбін для опалення та кондиціювання приміщень дає можливість зменшити викиди забруднюючих речовин за рахунок отримання альтернативних видів енергії.

2) Застосування ізоляційних матеріалів з високою теплоізоляцією для збереження енергії дає можливість зменшити енергоспоживання в будівлі та скоротити обсяг надходження забруднень в повітря.

3) Використання екологічно чистих будівельних матеріалів які мають менший вплив на довкілля та можуть бути повторно використані.

4) Застосування озеленення на дахах будівель та вертикальне озеленення, що сприяє покращенню теплоізоляції та поглинанню вуглекислого газу на очищенню атмосферного повітря.

5) Автоматизація систем опалення, кондиціювання, освітлення для оптимізації енергоспоживання, встановлення систем збору та переробки дощової води для поливу та інших потреб сприяє покращенню енергоефективності будівлі й зменшенню забруднення атмосферного повітря.

6) Використання вторинних або перероблених матеріалів для зменшення викидів CO₂, кліматично нейтральне будівництво сприяє зменшенню забруднення, оскільки встановлено взаємозв'язок між підвищенням температурного показника та трансформацією і утворенням вторзабруднень.

Дані технології спрямовані на створення екологічно чистих, енергоефективних та стало–розвинених об'єктів, що спричиняє збереження ресурсів та зменшення негативного впливу будівництва на навколишнє середовище.

4.4 Висновок до розділу 4

Посилення забруднення повітря міських територій на фоні глобальних кліматичних змін змушує суспільство шукати шляхи його зменшення за рахунок впровадження сучасних технологій «зеленого» будівництва. На основі аналізу використання технологій «зеленого» будівництва в умовах змін клімату:

1. Проаналізовано сучасний світовий та вітчизняний досвід використання технологій «зеленого» будівництва для зменшення забруднення повітря міського середовища;

2. Зроблена апробація на прикладі кліматичних умов м. Києва системного підходу при виборі конструктивного рішення щодо підвищення енергоефективності будівлі при її реконструкції з врахуванням оцінки кліматичного ризику;

3. Показано зміну кліматичного ризику при впровадженні утеплення оболонки будівлі при її реконструкції;

4. Аналіз використання нейронної мережі зі згорткою дозволив розглянути реалізацію поставленої задачі, що забезпечує відображення між входом (наприклад, стан будівлі чи споруди до реконструкції, оновлення) на вихід з метою розробки рекомендацій по засобах і способах модернізації з врахуванням зменшення викидів в атмосферне повітря протягом життєвого циклу об'єкту.

Основні положення розділу 4 опубліковані автором у наукових працях [1, 5, 8, 14]. Список використаних джерел у розділі 4 наведено у загальному списку використаних джерел [171–212].

ВИСНОВКИ

Дисертація присвячена актуальній науковій і практичній проблемі підвищення екологічної безпеки в процесі відновлення порушених міських територій. Основна увага приділяється зменшенню забруднення повітря шляхом впровадження сучасних технологій екологічного будівництва на основі оцінки зниження кліматичних ризиків у будівельній галузі.

1. Створено основу для розуміння генезису забруднення аерозольними частинками в умовах глобальної зміни клімату в міських умовах, а також виявлено взаємозв'язки між забрудненням атмосферного повітря в великих містах України, що характеризуються частинками $PM_{2,5}$, та захворюваністю на Covid-19. Це може слугувати основою для наукових досліджень методів зменшення впливу аерозолів в атмосфері на здоров'я людини, а також для вдосконалення та конкретизації більш досконалих технологій очищення в виробничих процесах і системах повітрообміну в сучасних будівлях і спорудах.

2. На основі дослідження атмосферних процесів, пов'язаних з кислотними опадами, що виникли в результаті окремого вибуху, розроблено математичну модель. Ця модель враховує викиди забруднюючих речовин у зоні вимивання під хмарами та інтегрує кінетику процесів конденсації, дифузії та конвекції, що відбуваються з парами оксидів сірки. Оцінка моделі щодо кліматичних умов Києва за нейтральної стратифікації атмосфери показала, що пікова концентрація діоксиду сірки спостерігається на відстані 500 метрів від епіцентру вибуху, перевищуючи максимально допустимий рівень ($0,95 \text{ мг/м}^3$) у 1,9 рази.

3. Для розсіювання двоокису сірки було сформульовано спрощений підхід, що використовує принципи конвективних струменів, які виходять з теплового джерела в навколишнє середовище за нейтральних атмосферних умов. Цей метод було оцінено при оцінці концентрацій основних забруднюючих речовин та даних моніторингу для двох районів Києва в 2022 році: Голосіївського та Дніпровського.

4. На основі комплексного дослідження використання системи IoT в питаннях «GREEN» будівництва Запропоновано інноваційну схему мережі моніторингу якості повітря у реальному часі на будівельному майданчику та навколо нього, для прогнозування усіх вірогідних факторів впливу на кожному етапі зведення будівлі на людину та навколишнє середовище.

5. Запропоновано схему вирішення задачі щодо прийняття управлінських рішень в питаннях реконструкції і «зеленого» будівництва в залежності від наявності хмарних сховищ моніторингових даних забруднення атмосферного повітря пиловими частками PM 2,5 і PM10, яку можна реалізувати за допомогою Autodesk® Green Building Studio.

6. На основі існуючих нормативних методик та оцінок кліматичних ризиків галузях економіки розроблено ланцюжки впливу на кліматичний ризик, що впливають на розрахункові дані енергоспоживання будівлі на стадії проекту в зимовий період для січня місяця і для стадії кондиціонування у літній період для липня місяця. Запропоновано методику оцінки кліматичного ризику в будівництві.

7. Розраховано для кліматичних умов м.Києва ризик змін в енергоспоживанні будівель при післявоєнній відбудові країни на основі системного підходу, який сприяє при виборі конструктивного рішення на проектній стадії заходам підвищення енергоефективності будівлі при її реконструкції. Так, зміни значень кліматичного ризику при впровадженні утеплення оболонки будівлі при її реконструкції переходить в нейтральне значення, що дозволяє підвищувати енергоефективність будівлі за рахунок технологічних заходів на різних стадіях життєвого циклу будівництва.

8. Здійснено аналіз використання нейронної мережі при розгляді реалізацію задачі впровадження зелених технологій з метою зменшення забруднення атмосферного повітря, що забезпечує подальшу розробку рекомендацій по засобах і способах модернізації будівельного об'єкту.

9. Результати роботи були передані для апробації та випробування в будівельних компаніях АтлантБуд, БудКомплект, АВ–Констракшн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Кольцов, М., & Шевченко, Л. (2018). Моніторинг якості атмосферного повітря: український та міжнародний досвід: *аналітична записка*. 2018. Київ: ГО «Фундація «Відкрите Суспільство».—13 с.
- [2] IQAir World Air Quality Report 2022 Доступно: <https://www.iqair.com>. Дата доступу: серпень, 2023.
- [3] Якість повітря в Києві у 2022 році Доступно: <https://kyivcity.gov.ua>. Дата доступу: січень, 2023.
- [4] Обережно: повітря! Доступно: <https://interfax.com.ua>. Дата доступу: січень, 2023.
- [5] Сіпаков, Р. В., Волошкіна, О. С., Березницька, Ю. О., & Клімова, І. В. (2018). Оцінка ризику для здоров'я населення від викидів автомобільного транспорту у м. Києві. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*, Науково–технічний журнал, ІФНТУНГ МОНУ.— Івано–Франківськ. (1), 14–20.
- [6] Sipakov, Rostyslav, and Olena Voloshkina. "Pollution of atmospheric air above the city highways." USEFUL 2.4 (2018): 09–25.
- [7] Казодаєв, І. Г. (2022). Зміни якості повітря в місті Києві до та після початку військових дій (Doctoral dissertation, Національний авіаційний університет).
- [8] 2024 IQAir World Air Quality Report. Доступно: <https://www.iqair.com>. Дата доступу: березень, 2025.
- [9] Сніжко, С. І., & Шевченко, О. Г. (2011). Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста. К.: Обрії, 297.
- [10] Voloshkina, O., T. Shabliy, T. Tkachenko, A. Goncharenko, O. Zhukova. Relationship between Air Pollution, Global Climate Change and Distribution of COVID–19/.73 *International Research–to–Practice Conference on 'Climate Services : Science and Education': Conference Proceedings*. Odesa : Odessa State Environ–mental University, 2021. 144 p. – 138–139с.

- [11] Heretsun, H. M., Masikevich, Y. H., & Holyonko, R. A. (2019). Аналіз забруднення атмосферних опадів домішками на вулицях міста. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(1), 66–69.
- [12] Mirzaei, S., Hashemi, H., & Hoseini, M. (2018). Concentration and potential source identification of trace elements in wet atmospheric precipitation of Shiraz, Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 16, 229–237.
- [13] Дроздова, О. С., & Фалько, А. (2012). Гігієнічна оцінка забруднення атмосферного повітря в зоні впливу міських вулиць різних категорій (Doctoral dissertation, Видавництво СумДУ).
- [14] Мельниченко, С. Г., Богадьорова, Л. М., & Охременко, І. В. (2023). Динаміка викидів забруднюючих речовин стаціонарними та пересувними джерелами забруднення в межах України.
- [15] Almeida, S. P., Casimiro, E., & Calheiros, J. (2010). Effects of apparent temperature on daily mortality in Lisbon and Oporto, Portugal. *Environmental Health*, 9, 1–7.
- [16] Epstein, Y., & Moran, D. S. (2006). Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial health*, 44(3), 388–398.
- [17] Hill, L. E. O. N. A. R. D., Angus, T. C., & Newbold, E. M. (1928). Further Experimental Observations to determine the Relations between Kata Cooling Powers and Atmospheric Conditions.
- [18] Волошкіна, О. С., Гончаренко, А. В., Жукова, О. Г., & Негода, Н. В. Забруднення атмосферного повітря аерозольними частинками в світі і Україні, їх вплив на клімат і здоров'я. *Організаційний комітет*, 20.
- [19] Гончаренко А.В., Волошкіна О.С., Трофімович В.В., Жукова О.Г. (2021) .Сучасний моніторинг забруднення атмосферного повітря аерозольними част–ками в м. Києві та їх вплив організм людини. *Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей II Міжнародної науко–во–практичної онлайн–конференції, м. Київ, 16 червня 2021 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА.*

- [20] Гончаренко А.В., Волошкіна О.С., Трофімович В.В., Жукова О.Г. Взаємозв'язок забруднення атмосферного повітря урбоценозів аерозольними частками РМ_{2,5}, захворюваність населення на Covid-19 та вплив глобальних кліматичних змін. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: виклики 2021 року // Колективна монографія за матеріалами XX Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 04–08 жовтня 2021 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2021. – 88–91с
- [21] Shaw, R. W. (1987). Air pollution by particles. *Scientific American*, 257(2), 96–103.
- [22] Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*. John Wiley & Sons.
- [23] Abdelkader, M., Metzger, S., Mamouri, R. E., Astitha, M., Barrie, L., Levin, Z., & Lelieveld, J. (2015). Dust-air pollution dynamics over the eastern Mediterranean. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(16), 9173–9189.
- [24] Pozzer, A., De Meij, A., Pringle, K. J., Tost, H., Doering, U. M., Van Aardenne, J., & Lelieveld, J. (2012). Distributions and regional budgets of aerosols and their precursors simulated with the EMAC chemistry-climate model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(2), 961–987.
- [25] Singh, D. K., Kawamura, K., Fu, P., Kasukabe, H., Yanase, A., & Barrie, L. A. (2021). Photochemical processing of inorganic and organic species in the Canadian high Arctic aerosols: impact of ammonium cation, transition metals, and dicarboxylic acids before and after polar sunrise at alert. *ACS Earth and Space Chemistry*, 5(10), 2865–2877.
- [26] Morawska, L., Zhu, T., Liu, N., Torkmahalleh, M. A., de Fatima Andrade, M., Barratt, B., ... & Ye, C. (2021). The state of science on severe air pollution episodes: Quantitative and qualitative analysis. *Environment international*, 156, 106732.

- [27] Conticini, E., Frediani, B., & Caro, D. (2020). Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy?. *Environmental pollution*, 261, 114465.
- [28] Srivastava, A. (2021). COVID-19 and air pollution and meteorology—an intricate relationship: A review. *Chemosphere*, 263, 128297.
- [29] Ciencewicki, J., & Jaspers, I. (2007). Air pollution and respiratory viral infection. *Inhalation toxicology*, 19(14), 1135–1146.
- [30] Sipakov, R., Trofimovich, V., Voloshkina, O., & Bereznitskaya, Y. (2018). Impact of weather factors on the speed of the reaction of formaldehyde formation above motorway overpasses.
- [31] Чугай, А. В., Гусєва, К. Д., & Кукуй, Д. В. (2012). Забрудненість атмосферного повітря м. Одеса. Людина та довкілля. *Проблеми неоекології*, (1–2), 20–26.
- [32] Шевченко, О. Г., Кульбіда, М. І., Сніжко, С. І., Щербуха, Л. С., & Данілова, Н. О. (2014). Рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва формальдегідом. *Український гідрометеорологічний журнал*, (14), 5–15.
- [33] Voloshkina, O., Shabliy, T., Trofimovich, V., Efimenko, V., Goncharenko, A., & Zhukova, O. (2021). Вплив глобальних кліматичних змін на забруднення повітря урбанізованих територій та розповсюдження захворюваності населення на COVID-19. *Екологічна безпека та природокористування*, 39(3), 5–15.
- [34] Piazzalunga-Expert, A. (2020). Evaluation of the potential relationship between Particulate Matter (PM) pollution and COVID-19 infection spread in Italy. *Societa Italiana Di Medicina Ambientale*, 2, 1–6.
- [35] Sedlmaier, N., Hoppenheidt, K., Krist, H., Lehmann, S., Lang, H., & Büttner, M. (2009). Generation of avian influenza virus (AIV) contaminated fecal fine particulate matter (PM_{2.5}): Genome and infectivity detection and calculation of immission. *Veterinary Microbiology*, 139(1–2), 156–164.

- [36] Després, V., Huffman, J. A., Burrows, S. M., Hoose, C., Safatov, A., Buryak, G., ... & Jaenicke, R. (2012). Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 64(1), 15598.
- [37] Conticini, E., Frediani, B., & Caro, D. (2020). Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy?. *Environmental pollution*, 261, 114465.
- [38] Klimova, I., & Sipakov, R. (2019). Influence of meteorological factors on the secondary contamination of atmospheric air by formaldehyde (on example of city of Kyiv). *Scientific Letters of Academic Society of Baludansky*, (7), 75–86.
- [39] Bhardwaj, V., Joshi, R., & Gaur, A. M. (2022). IoT-based smart health monitoring system for COVID-19. *SN Computer Science*, 3(2), 137.
- [40] Навольнєв, І., & Максимова, Н. (2025). Пошук шляхів удосконалення оцінки впливу воєнних дій на якість повітря в Україні. *Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ»*, (January 24, 2025; Seoul, South Korea), 206–213.
- [41] Волошкіна О.С., Жукова О.Г., Гончаренко А.В. Вплив воєнних дій на формування і випадіння кислотних опадів на прилеглих територіях. Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування: матеріали Міжнародної наукової конференції за участю молодих науковців. Одеса: ОДЕКУ, 2022. с. 39–42.
- [42] Волошкіна, О. С., & Гончаренко, А. В. (2022). Вплив воєнних дій на процес утворення кислотних опадів. *Екологічна безпека та природокористування*, 44(4), 5–14.
- [43] Оцінка наслідків від вибухів різних боєприпасів на військових складах, 2017р. Доступно: <https://ldubgd.edu.ua>. Дата доступу: серпень, 2024.
- [44] Бондар, О. І., Улицький, О. А., & Єрмаков, В. М. (2018). Звіт про результати вивчення екологічної ситуації на території Донецької та Луганської області. Київ: Планета.
- [45] Волошкіна, О. С., Анпілова, Є. С., & Клімова, І. В. (2020). Визначення ризику для здоров'я населення внаслідок підвищення забруднення атмосферного повітря в м. Києві.

- [46] Wang, Y., Yu, W., Pan, Y., & Wu, D. (2012). Acid neutralization of precipitation in Northern China. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(2), 204–211.
- [47] Xiao, J. (2016). Chemical composition and source identification of rainwater constituents at an urban site in Xi'an. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1–12.
- [48] Zhang, L., Qiao, B., Wang, H., Tian, M., Cui, J., Fu, C., ... & Yang, F. (2018). Chemical characteristics of precipitation in a typical urban site of the hinterland in three Gorges reservoir, China. *Journal of Chemistry*, 2018(1), 2914313.
- [49] Rasheed, K. A., Azeez, Z. A., & Al-Salhy, A. A. (2016). Effects of Air Pollutants from Al-Dura Power plant in the Surrounding Area South Baghdad. *Journal of International Environmental Application and Science*, 11(2), 170–175.
- [50] Mirzaei, S., Hashemi, H., & Hoseini, M. (2018). Concentration and potential source identification of trace elements in wet atmospheric precipitation of Shiraz, Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 16, 229–237.
- [51] Voloshkina, O., Sipakov, R., Zhukova, O., & Bereznitska, J. (2018). A study of air pollution with formaldehyde along the highways in Kyiv city.
- [52] Волошкіна, О. С., Жукова, О. Г., Гончаренко, А. В., & Колеватих, І. С. Дослідження впливу загальнонаціонального блокування covid-19 на забруднення повітря для урбанізованих територій на прикладі м. Києва. Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: те-зи доповідей IV Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, м. Київ, 10 лютого 2022 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2022. – с. 59–61.
- [53] Рудаков, Д. В. (2004). Математичні моделі в охороні навколишнього середовища. Навчальний посібник. Дніпропетровськ. ун-ту, 2004. – 160 с.
- [54] Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України. Доступно: <https://www.meteo.gov.ua>. Дата доступу: серпень, 2024.
- [55] Gvozdyakov, D. V., Gubin, V. E., Gromov, A. A., Tanishev, A. O., & Shvab, S. A. (2017). Numerical Estimation of the Formation Process of Anthropogenic

- Precipitation in the Atmosphere. In MATEC Web of Conferences (Vol. 91, p. 01005). EDP Sciences.
- [56] Гончаренко, А. В., & Сіпаков, Р. В. (2023). Формування емісії забруднення атмосферного повітря від окремих вибухів внаслідок воєнних дій. *Екологічна безпека та природокористування*, (1), 111–120.
- [57] Trysnyuk, V., Sipacov, R., Lebid, O., Trysnyuk, T., Prystupa, V., & Horoshkova, L. (2021, November). Improving management of environmental risk from urbanized areas highways' air pollution (on an example of Kyiv city). In 15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (Vol. 2021, No. 1, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers.
- [58] ЗРК «Бук–М1». Доступно: <https://military.com>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [59] Чому важко збити крилату ракету "Калібр" Доступно: <https://www.unian.ua>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [60] Методика розрахунку неорганізованих викидів забруднюючих речовин або суміші таких речовин внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій та/або пі-дчас дії воєнного стану та визначення розмірів завданої шкоди. Затверджено Наказом Міністерства довкілля та природних ресурсів України 13 квітня 2022року, № 175. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [61] Архів погоди м. Київ. Доступно: <https://www.meteoblue.com>. Дата доступу: травень, 2023.
- [62] Калькулятор індексу якості повітря. Доступно: <https://aqicn.org>. Дата доступу: квітень, 2024.
- [63] Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України, КД 52.9.4.01–09 Доступно: <https://online.budstandart.com>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [64] Центральна геофізична обсерваторія ім. Б. Срезневського. Доступно: <http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua>. Дата доступу: червень, 2024.

- [65] Сніжко, С. І., & Шевченко, О. Г. (2011). Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста. К.: Обрії, 297.
- [66] Київська міська система моніторингу якості повітря офіційно інтегрована в міжнародний сервіс «IQAir» Доступно: <https://kyivcity.gov.ua>. Дата доступу: липень, 2024.
- [67] Директива 2008/50/єс європейського парламенту та ради від 21 травня 2008 року про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [68] У Києві проводиться дослідження якості атмосферного повітря Доступно: <https://kyivcity.gov.ua>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [69] У більшості країн Європи забрудненість повітря перевищує норми. Доступно: <https://www.eurointegration.com.ua>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [70] Air quality in Europe 2022. Доступно: <https://www.eea.europa.eu>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [71] Директива Ради 96/62/ЄС Щодо оцінки та контролю навколишньої атмосфери від 27 вересня 1996 року (Зміни та доповнення додатково див. у Директиві(994_950) від 21.05.2008). Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [72] Директива європейського парламенту і ради 2010/75/ЄС від 24 листопада 2010 року про промислові викиди (інтегрований підхід до запобігання забрудненню та його контролю). Доступно: <https://www.kmu.gov.ua>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [73] ISO Country codes Доступно: <https://www.iso.org>. Дата доступу: жовтень, 2024.
- [74] Annex to the list of zones in EU Member States in relation to air quality thresholds. Part 1. Доступно: <http://ec.europa.eu>. Дата доступу: листопад, 2024.
- [75] Annex to the list of zones in EU Member States in relation to air quality thresholds. Part 2. Доступно: <http://ec.europa.eu>. Дата доступу: листопад, 2024.
- [76] Andrews A. The clean air handbook. A practical guide to EU air quality law / A. Andrews., 2014.

- [77] Guidance on the Commission Implementing Decision laying down rules for Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council as regards the reciprocal exchange of information and reporting on ambient air (Decision 2011/850/EU, 2013. Доступно: [http:// ec.europa.eu](http://ec.europa.eu). Дата доступу: листопад, 2024.
- [78] Guideline to Questionnaire laying down a questionnaire to be used for annual reporting on ambient air quality assessment under Council Directives 96/62/EC, 1999/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC, 2004/107/EC and 2008/50/EC. Доступно: [http:// ec.europa.eu](http://ec.europa.eu). Дата доступу: листопад, 2024.
- [79] Директива 2004/107/єс європейського парламенту та ради від 15 грудня 2004 року щодо миш'яку, кадмію, ртуті, нікелю та поліциклічних ароматичних вуглеводнів у навколишньому повітрі / Офіційний переклад // Офіційний вісник Європейського Союзу. – 2005. – 16 с
- [80] Баштаннік, М. П., Дворецька, І. В., Онос, Л. М., & Савенець, М. В. (2016). Основні засади виділення зон якості атмосферного повітря на території України та їх класифікація згідно з вимогами директив 2004/107/ЄС та 2008/50/ЄС. Наукові праці Українського науково–дослідного гідрометеорологічного інституту, (269), 123–137.
- [81] World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. Доступно: <https://www.who.int>. Дата доступу: травень, 2024.
- [82] Власик, Л. І., & Власик, Л. Й. (2017). Шляхи реалізації в Україні ініціатив ВООЗ щодо профілактики неінфекційних захворювань, обумовлених забрудненням повітря. *Актуальні проблеми транспортної медицини*.
- [83] Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013–2020. Доступно: <https://www.who.int>. Дата доступу: травень, 2024.
- [84] Гончаренко А., Волошкіна О.С. Особливості сучасного управління екологічними проектами. Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей І Міжнародної науково–

- практичної онлайн-конференції, м. Київ, 15 березня 2021 року/ ред-кол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021.
- [85] Tkachenko, T., & Voloshkina, O. (2018). The Role of “Green Structures” in Reducing the Environmental Footprint of Urbocenoses. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.8) (2018), 214–220.
- [86] Wu, S., Mickley, L. J., Kaplan, J. O., & Jacob, D. J. (2012). Impacts of changes in land use and land cover on atmospheric chemistry and air quality over the 21st century. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(3), 1597–1609.
- [87] Гончаренко А.В., Волошкіна О.С., Жукова О.Г. (2021) Концепція формування інноваційної системи моніторингу забруднення аерозольними частками урбанізованих територій в умовах глобальних кліматичних змін. Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, м. Київ, 13 жовтня 2021 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021. –448–450.
- [88] Honcharenko A., Voloshkina O., Kupinskyi I., Zhukova O. . Modern comprehensive information system for environmental quality monitoring *Environmental Problems*. *Екологічні проблеми*. Lviv Polytechnic National University – Lviv : Lviv Politechnic Publishing House, 2021. – Volume 6, number 4. –P.251–258
- [89] van Delden, S., & Whigham, A. (2012, May). A bluetooth-based architecture for android communication with an articulated robot. In 2012 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS) (pp. 104–108). IEEE.
- [90] Palaniappan, S., Hariharan, N., & Kesh, N. T. (2015). Home automation systems—A study. *International Journal of Computer Applications*, 116(11).
- [91] Станько, А. А. (2023). Мережева інформаційно-технологічна платформа супроводу об'єктів кіберфізичних систем «розумних міст» (Doctoral dissertation, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя).

- [92] Stanko, A. (2023). Information technology platform for monitoring infectious diseases. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*, 110(2), 98–110.
- [93] Stanko, A., Wiczorek, W., Mykytyshyn, A., Holotenko, O., & Lechachenko, T. (2024). Realtime air quality management: Integrating IoT and Fog computing for effective urban monitoring. CITI, 2024, 2nd.
- [94] Alkhabbas, F., Spalazzese, R., Cerioli, M., Leotta, M., & Reggio, G. (2020, March). On the deployment of IoT systems: An industrial survey. In 2020 IEEE International Conference on Software Architecture Companion (ICSA–C) (pp. 17–24). IEEE.
- [95] Stipanicev, D., Bodrozic, L., & Stula, M. (2007, June). Environmental intelligence based on advanced sensor networks. In 2007 14th international workshop on systems, signals and image processing and 6th EURASIP conference focused on speech and image processing, multimedia communications and services (pp. 209–212). IEEE.
- [96] Sahota, H., Kumar, R., & Kamal, A. (2011). A wireless sensor network for precision agriculture and its performance. *Wireless communications and mobile computing*, 11(12), 1628–1645.
- [97] Bahrepour, M., Meratnia, N., Poel, M., Taghikhaki, Z., & Havinga, P. J. (2010, November). Distributed event detection in wireless sensor networks for disaster management. In 2010 international conference on intelligent networking and collaborative systems (pp. 507–512). IEEE.
- [98] Srinivas, K., Kumar, J. T., & Merugu, S. (2019). GEVD based on multichannel wiener filter for removal of EEG artifacts. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(10), 2417–2421.
- [99] Кульчицький, С., Голотенко, О., & Станько, А. (2025). Інтеграція супутникових та наземних бездротових мереж: архітектурні концепції. *Measuring and computing devices in technological processes*, (1), 383–392.

- [100] Anitha M., Jhansi Rani G., Raghava Kumara D and Anuradha P. 2020 Implementation of arithmetic logic unit using quaternary signed digit number system *International Journal of Psychosocial Rehabilitation* 24(8) 15363–15375
- [101] Air pollution and Climate Change. Report from a workshop under the Swedish EU Presidency. Gothenburg, Sweden, 19–21 October 2009 Rapport nr. C800 ISBN: 978–91–7883–547–8
- [102] Iurii Kaliukh; Olena Voloshkina; Artem Honcha–renko; Anatolii Sirenko; Iryna Korduba; Anastasiya Kovaliova. (2022) Complex Research and Implementation of the IoT System for the Residential Buildings Vibroprotection. 2022 IEEE 3rd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC).
- [103] Olena Voloshkina, Rostyslav Sipakov, Olena Zhukova, Artem Honcharenko (2022) The role of science technology engineering & mathematics (STEM) education in the development of civil engineering skills. III міжнародна науково–практична конференція «екологія. Ресурси. Енергія «багатофункціональні еко – та енергоефективні, реурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях», КНУБА, Київ, 23–25 листопада 2022
- [104] Hafni, R. N., Herman, T., Nurlaelah, E., & Mustikasari, L. (2020, March). The importance of science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education to enhance students' critical thinking skill in facing the industry 4.0. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1521, No. 4, p. 042040). IOP Publishing.
- [105] Wright, J., & Marchese, D. (2018). Briefing: Continuous monitoring and adaptive control: the 'smart' storm water management solution. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Smart Infrastructure and Construction*, 170(4), 86–89.
- [106] Sipakov, R., Trofimovich, V., Voloshkina, O., & Bereznitskaya, Y. (2018). Impact of weather factors on the speed of the reaction of formaldehyde formation above motorway overpasses.

- [107] Волошкіна О.С., Сіпаков Р.В., Гончаренко А.В., Жукова О.Г. (2022) Впровадження елементів STEM– освіти у навчальний процес підготовки інже–нерів будівництва. Колективна монографія за матеріалами XXI Міжнародної науково–практичної конференції “Інформаційно–комунікаційні технології та сталий розвиток з 14 по 16 листопада 2022 р. м.Київ ІТГП НАНУ .
- [108] Mishchuk, O. (2019). Development of the method of forecasting the atmospheric air pollution parameters based on error correction by neural–like structures of the model of successive geometric transformations. *Technology audit and production reserves*, 6(2 (50)), 26–30.
- [109] Pospelov, B., Meleshchenko, R., Kosse, A., Khmyrov, I., & Bosniuk, V. (2019). Development of a method for predicting the recurrence of states of atmospheric air pollution concentration in industrial cities. *East European Journal of Advanced Technologies*, (2 (10)), 43–48.
- [110] Azadeh, A., Asadzadeh, S. M., & Ghanbari, A. (2010). An adaptive network–based fuzzy inference system for short–term natural gas demand estimation: Uncertain and complex environments. *Energy Policy*, 38(3), 1529–1536.
- [111] Azadeh, A., Zarrin, M., Beik, H. R., & Bioki, T. A. (2015). A neuro–fuzzy algorithm for improved gas consumption forecasting with economic, environmental and IT/IS indicators. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 133, 716–739.
- [112] Azadeh, A., Asadzadeh, S. M., & Ghanbari, A. (2010). An adaptive network–based fuzzy inference system for short–term natural gas demand estimation: Uncertain and complex environments. *Energy Policy*, 38(3), 1529–1536.
- [113] Azadeh, A., Asadzadeh, S. M., Saberi, M., Nadimi, V., Tajvidi, A., & Sheikalishahi, M. (2011). A Neuro–fuzzy–stochastic frontier analysis approach for long–term natural gas consumption forecasting and behavior analysis: The cases of Bahrain, Saudi Arabia, Syria, and UAE. *Applied Energy*, 88(11), 3850–3859.

- [114] Bai, Y., & Li, C. (2016). Daily natural gas consumption forecasting based on a structure–calibrated support vector regression approach. *Energy and Buildings*, 127, 571–579.
- [115] Kim, E. H., & Kim, H. S. (2021). Perceptron: Basic Principles of Deep Neural Networks. *Cardiovascular Prevention and Pharmacotherapy*, 3(3), 64–72.
- [116] Elragal, H. (2004, March). Improving neural networks prediction using fuzzy–genetic model. In *Proceedings of the Twenty–First National Radio Science Conference, 2004. NRSC 2004.* (pp. C12–1). IEEE.
- [117] Гончаренко А. В. (2023) До питання зменшення забруднення повітря за допомогою зелених технологій в будівництві Збірник наукових праць. «Екологічна безпека та технології захисту довкілля», No5, 2023, С.44–51.
- [118] Erl, T., Puttini, R., & Mahmood, Z. (2013). *Cloud computing: concepts, technology & architecture*. Pearson Education.
- [119] Erl, T., Cope, R., & Naserpour, A. (2015). *Cloud computing design patterns*. Prentice Hall Press.
- [120] Valliappa Lakshmanan, V. (2018). *Data science on the Google Cloud Platform: Implementing end–to–end real–time data pipelines: From Ingest to machine learning*. Newton, MA: O'Reilly Media.
- [121] Ramírez–Montañez, J. A., Aceves–Fernández, M. A., Pedraza–Ortega, J. C., Gorrostieta–Hurtado, E., & Sotomayor–Olmedo, A. (2021). Airborne particulate matter modeling: A comparison of three methods using a topology performance approach. *Applied Sciences*, 12(1), 256.
- [122] Rybalova, O., Korobkova, H., Hudzevich, A., Artemiev, S., & Bondar, O. (2022). Risk assessment for public health from air pollution in the industrial regions of Ukraine. *Visnyk of VN Karazin Kharkiv National University, series" Geology. Geography. Ecology"*, (56), 240–254.
- [123] Pisoni, E., Thunis, P., De Meij, A., Wilson, J., Bessagnet, B., Crippa, M., ... & Van Dingenen, R. (2023). Modelling the air quality benefits of EU climate mitigation policies using two different PM_{2.5}–related health impact methodologies. *Environment International*, 172, 107760.

- [124] Adani, M., Mircea, M., D’Isidoro, M., Costa, M. P., & Silibello, C. (2015). Heavy metal modelling study over Italy: Effects of grid resolution, lateral boundary conditions and foreign emissions on air concentrations. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226, 1–10.
- [125] El-Harbawi, M. (2013). Air quality modelling, simulation, and computational methods: a review. *Environmental Reviews*, 21(3), 149–179.
- [126] Buontempo, C., Burgess, S. N., Dee, D., Pinty, B., Thépaut, J. N., Rixen, M., & Garcés de Marcilla, J. (2022). The copernicus climate change service: climate science in action. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103(12), E2669–E2687.
- [127] Team, C. W. (2008). Synthesis report. Climate Change 2007. Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment.
- [128] Mukherji, A. (2023). Climate Change 2023 Synthesis Report.
- [129] Fritzsche, K., Schneiderbauer, S., Bubeck, P., Kienberger, S., Buth, M., Zebisch, M., & Kahlenborn, W. (2014). The Vulnerability Sourcebook: Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments.
- [130] Методичні рекомендації для здійснення оцінки ризиків та вразливості соціаль–но–економічних секторів та природних складових до зміни клімату. Наказ Мі–ністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 03.06.2023р. No386. Доступно: <https://mepr.gov.ua>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [131] Степаненко, С. М., & Польовий, А. М. (2018). Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: монографія. Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС.
- [132] Watkiss, P., & Betts, R. (2021). Technical report chapter 2: method. UK Climate Risk Independent Assessment (CCRA3). Climate Change Committee, London, UK.
- [133] Richardson, K., Doherty, A., Osborne, R., Mayhew, L., Lewis, K., Jobbins, G., ... & El Taraboulsi–McCarthy, S. (2021). Climate Risk Report for the Middle East and North Africa (MENA) Region. Met Office Hadley Centre.

- [134] ISO 14091: 2021. (2021, February). Adaptation to climate change—Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment.
- [135] Estrada, F., Gay, C., & Conde, C. (2012). A methodology for the risk assessment of climate variability and change under uncertainty. A case study: coffee production in Veracruz, Mexico. *Climatic Change*, 113, 455–479.
- [136] Stagge, K. S. (2015). Methodological Approach Considering Different Factors Influencing Vulnerability—Pan-European Scale. DROUGHT-R&SPI, Tech.Report No 26, 2015. 111 pp.
- [137] Papathoma-Köhle, M., Promper, C., & Glade, T. (2016). A common methodology for risk assessment and mapping of climate change related hazards—implications for climate change adaptation policies. *Climate*, 4(1), 8.
- [138] Bertoldi, P., de Raveschoot, R. P., Paina, F., Melica, G., & Janssens-Maenhout, I. G. G. (2014). How to develop a Sustainable Energy Action Plan (SEAP) in the Eastern Partnership and Central Asian cities.
- [139] Masum, J. H. (2019). Climate change risk assessment: Exploring the current state of knowledge to assess climate change risks from local to national level. Coastal Development Partnership (CDP), Bangladesh.
- [140] List of international climate indicators. Доступно: <https://climate-adapt.eea.europa.eu>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [141] Степаненко С.М., Волошкіна О.С., Мальований М.С., Ковальова А.В. (2024) Необхідність врахування глобальних змін клімату при розрахунку класу енергоефективності будівель / V Міжнародна Науково–Практична Конференція “Енергоощадні машини і технології”, 22 по 24 травня 2024 КНУБА, – с.199–202.
- [142] ISO 14091:2021 – Adaptation to climate change – Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment.
- [143] ДСТУ EN ISO 14091:2022 Адаптація до зміни клімату. Рекомендації щодо оцінювання вразливості, впливу та ризику (EN ISO 14091:2021, IDT; ISO 14091:2021, IDT).

- [144] Lee, H., Calvin, K., Dasgupta, D., Krinmer, G., Mukherji, A., Thorne, P., ... & Zommers, Z. (2023). Synthesis report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6), Longer report. IPCC.
- [145] Гончаренко А.В. (2024) Визначення кліматичних ризиків будівельної галузі на фоні воєнних дій. Екологічна безпека та природокористування: зб. Наук. Праць. Київ, КНУБА., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. Інформ. простору. – К., 2024. – Вип. 52. – С. 5–14
- [146] Trewin, B. C. (2007). The role of climatological normals in a changing climate. World Meteorological Organization.
- [147] Білоус, І. Ю. (2019). Оцінювання енергоефективності будівлі в умовах динамічної зміни характеристик середовища.
- [148] ДБН В.2.6–31.2006 «Теплова ізоляція будівель»
- [149] ДСТУ Б В.2.2–21:2008 Метод визначення питомих тепловитрат на опалення будинків
- [150] Єсіпов, О. В., Заїдзе, М. Т., & Білик, В. В. (2024). Класи енергоефективності будівель.
- [151] Вплив російської війни в Україні на клімат. 24 лютого 2022 – 1 вересня 2023 Ініціатива з обліку викидів парникових газів внаслідок війни. Звіт завдяки підтримці Європейського кліматичного фонду (ECF) та «Ініціативи з розвитку екологічної політики й адвокації в Україні» (EPAIU). Доступно: <https://ecoaction.org.ua/>. Дата доступу: грудень, 2024.
- [152] ЕкоЗагроза – офіційний ресурс Міндовкілля. Доступно: <https://ecozagroza.gov.ua>. Дата доступу: грудень, 2024.
- [153] Van der Vet, F. (2024). A polluting war: Risk, experts, and the politics of monitoring wartime environmental harm in Eastern Ukraine. *Environment and Planning C: Politics and Space*, 42(7), 1187–1206.
- [154] Environmental damage in Ukraine during the full scale war, 2022. Доступно: <https://maps.greenpeace.org>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [155] Depledge, D. (2023). Low-carbon warfare: climate change, net zero and military operations. *International Affairs*, 99(2), 667–685.

- [156] Сорочинська, О. Л., & Кралеви́ч, А. В. (2023). Екологічні наслідки військових дій в Україні: фактори впливу. *Редакційна колегія*, 170.
- [157] Горішній, Є., Міняйло, А., & Дмитренко, Л. (2023). Екологічні ризики та збитки довкіллю України внаслідок війни.
- [158] Савченко, Д. В. (2021). Основи обробки та візуалізації фізичних даних в програмному середовищі OriginPro 8. *Комп'ютерний практикум*.
- [159] Волошкіна, О., Кордуба, І., & Жукова, О. (2023). Взаємозв'язок глобальних кліматичних змін та роботи відкритих систем охолодження енергетичних об'єктів України. *Техніка будівництва*, (1 (38)), 51–56.
- [160] Кольцов, М., & Шевченко, Л. (2018). Моніторинг якості атмосферного повітря: український та міжнародний досвід: аналітична записка. 2018. Київ: ГО «Фундація «Відкрите Суспільство».—13 с.
- [161] Grynychyn, N. N. (2023). Якість атмосферного повітря за вмістом твердих мікрочастинок (PM_{2.5}) у містах України в умовах карантину та воєнного стану. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 27, 6–15.
- [162] Yu, W., Ye, T., Zhang, Y., Xu, R., Lei, Y., Chen, Z., ... & Guo, Y. (2023). Global estimates of daily ambient fine particulate matter concentrations and unequal spatiotemporal distribution of population exposure: a machine learning modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 7(3), e209–e218.
- [163] McDuffie, E. E., Martin, R. V., Spadaro, J. V., Burnett, R., Smith, S. J., O'Rourke, P., ... & Brauer, M. (2021). Source sector and fuel contributions to ambient PM_{2.5} and attributable mortality across multiple spatial scales. *Nature communications*, 12(1), 3594.
- [164] Chen, G., Guo, Y., Yue, X., Tong, S., Gasparrini, A., Bell, M. L., ... & Li, S. (2021). Mortality risk attributable to wildfire-related PM_{2.5} pollution: a global time series study in 749 locations. *The Lancet Planetary Health*, 5(9), e579–e587.
- [165] Weagle, C. L., Snider, G., Li, C., Van Donkelaar, A., Philip, S., Bissonnette, P., ... & Martin, R. V. (2018). Global sources of fine particulate matter: interpretation

- of PM_{2.5} chemical composition observed by SPARTAN using a global chemical transport model. *Environmental science & technology*, 52(20), 11670–11681.
- [166] Dabek–Zlotorzynska, E., Celo, V., Ding, L., Herod, D., Jeong, C. H., Evans, G., & Hilker, N. (2019). Characteristics and sources of PM_{2.5} and reactive gases near roadways in two metropolitan areas in Canada. *Atmospheric Environment*, 218, 116980.
- [167] Park, E. H., Heo, J., Kim, H., & Yi, S. M. (2020). Long term trends of chemical constituents and source contributions of PM_{2.5} in Seoul. *Chemosphere*, 251, 126371.
- [168] Li, J., & Tartarini, F. (2020). Changes in air quality during the COVID–19 lockdown in Singapore and associations with human mobility trends. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(8), 1748–1758.
- [169] Bao, R., & Zhang, A. (2020). Does lockdown reduce air pollution? Evidence from 44 cities in northern China. *Science of the total environment*, 731, 139052.
- [170] ДСТУ 9190:2022 «Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання»
- [171] Портал IQAir. Доступно: <https://www.iqair.com>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [172] Гончаренко А.В., Волошкіна О.С. (2023) Використання технологій зеленого будівництва для зменшення забруднення повітря. Матеріали II Міжнародної науко–во–практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»). Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури. 2023, 70–76.
- [173] Волошкіна О.С., Жукова О.Г., Гончаренко А.В., Маршалл Д.І., Ковальова А.В. (2021) Методика розрахунку викидів парникових газів по окремим секторам економіки Методичні вказівки та завдання до виконання індивідуальної роботи для здобувачів III освітнього рівня підготовки (доктор філософії) спеціальностей 263 «Цивільна безпека», 101 «Екологія» Київ:КНУБА, 2021 – 20с

- [174] Волошкіна О.С., Кордуба І.Б., Гончаренко А.В., Жукова О.Г. (2022) Складання матеріального та теплового балансів для обґрунтування вибору технологічного процесу / методичні рекомендації до виконання практичних робіт для студентів спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» за дисципліною «екологічна безпека технологічних процесів» К.:КНУБА, 2022. – 20 с.
- [175] Іванюта, С. П. (Ed.). (2020). Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналітична доповідь. Natsional'nyĭ instytut stratehichnykh doslidzhen'.
- [176] Siegmund, P., Abermann, J., Baddour, O., Sparrow, M., Nitu, R., Tarasova, O., ... & Ziese, M. (2020). The global climate in 2015–2019.
- [177] Rayment, M., Pirgmaier, E., De Ceuster, G., Hinterberger, F., Kuik, O., Gower, H. L., ... & Varma, A. (2006). The economic benefits of environmental policy, A project under the Framework contract for economic analysis. European Commission project ENV. G.
- [178] Качинский А.Б. Безопасность, угрозы и риски: научные концепции и математические методы. – Київ, 2004. – 470 с.
- [179] Ivavov V.A., Igumnova E.M., Timchenko I.E. (2012) Coastal Zone Resources Management. – Kyiv: Akadempriodika, 2012. – 304 p.
- [180] Rübbelke, D., & Vögele, S. (2011). Impacts of climate change on European critical infrastructures: The case of the power sector. *Environmental science & policy*, 14(1), 53–63.
- [181] "Створення ефективної системи моніторингу довкілля в Україні: проблеми і шляхи їх вирішення". Аналітична записка. Доступно: <https://www.niss.gov.ua>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [182] Державна екологічна інспекція. Доступно: <https://www.dei.gov.ua>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [183] BDO Canada. Доступно: <https://www.bdo.ca>. Дата доступу: листопад, 2024.
- [184] Кабінет Міністрів України: Головна. Доступно: <https://www.kmu.gov.ua/>. Дата доступу: грудень, 2024.

- [185] Святогорів, І. О. (2024). Застосування геотехнічних конструкцій в «зеленому будівництві». Екологічна безпека та природокористування, 50(2), 36–47.
- [186] Trofymchuk, O., Lebid, O., Klymenkov, O., Berchun, Y., Berchun, V., Kaliukh, I., ... & Havrilyuk, R. (2019). Dynamic certification of landslide protection structures in a seismically hazardous region of Ukraine: Experimental and analytical research. In *Earthquake Geotechnical Engineering for Protection and Development of Environment and Constructions* (pp. 5337–5344). CRC Press.
- [187] Trofymchuk, O., Kaliukh, I., & Klymenkov, O. (2018). Txt-tool 2.380–1.1: monitoring and early warning system of the building constructions of the livadia palace, ukraine. *Landslide Dynamics: ISDR–ICL Landslide Interactive Teaching Tools: Volume 1: Fundamentals, Mapping and Monitoring*, 491–508.
- [188] Ukrainian building standard B.1.1–3–97. (1998). “Engineering protection of territories, buildings and facilities from landslides and landslips. The main provisions”, Kyiv the Ukrainian State Committee for Construction, Architectural and Housing Policy, 40 p.
- [189] Bondarchuk M., Martynov V. (2023). Foreign experience of energy-efficient green construction. Theory and practice of design. *Architecture and construction*. 3–4(29–30). P. 22–29
- [190] Орловська, Ю. В., Вовк, М. С., Чала, В. С., & Мащенко, С. О. (2017). Економічна політика ЄС з підтримки зеленого житлового будівництва: Монографія. ЮВ Орловська, МС Вовк, ВС Чала, СО Мащенко–Дніпро.
- [191] About Green Building. Доступно: <https://www.worldgbc.org>. Дата доступу: квітень, 2024.
- [192] Zuo, J., & Zhao, Z. Y. (2014). Green building research–current status and future agenda: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 30, 271–281.
- [193] Olubunmi, O. A., Xia, P. B., & Skitmore, M. (2016). Green building incentives: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1611–1621.
- [194] Yudelsohn, J. (2007). Green building A to Z: Understanding the language of green building. *New Society Publishers*.

- [195] Zhang, Y., Wang, H., Gao, W., Wang, F., Zhou, N., Kammen, D. M., & Ying, X. (2019). A survey of the status and challenges of green building development in various countries. *Sustainability*, 11(19), 5385.
- [196] Про додаткові заходи зниження негативного впливу об'єктів будівництва на навколишнє середовище: Проект Закону України № 5210 від 08.10.2009. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [197] Про додаткові заходи зниження негативного впливу офісних будівель на на-вколишнє середовище: Проект Закону України № 7515 від 24.12.2010. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [198] Саркісян, Л. Г., & Саркісян, Л. Г. (2017). Інвестування в зелене будівництво як засіб стимулювання регіонального розвитку.
- [199] Schwartz, E. (2016). Developing green cities: Explaining variation in Canadian green building policies. *Canadian Journal of Political Science/Revue canadienne de science politique*, 49(4), 621–641.
- [200] Фаренюк, Г., & Шульга, С. (2017). Зелені інноваціїреалії та перспективи. Зелене будівництво в Україні. Доступно: <https://ns-plus.com.ua>. Дата доступу: вересень, 2024.
- [201] Балуєва О.В. Методологія управління сталим розвитком міста на еколого–економічних засадах: дис. д–ра екон. наук: 08.00.06. Дніпропетровськ, 2013. 524 с.
- [202] Оцінка впливу варіантів політик, пов'язаних з керівними межами стандартів і технічних регламентів для зеленої відбудови України. Доступно: <https://hub.unido.org>. Дата доступу: грудень, 2024.
- [203] Angermueller, C., Pärnamaa, T., Parts, L., & Stegle, O. (2016). Deep learning for computational biology. *Molecular systems biology*, 12(7), 878.
- [204] Bengio, Y. (2012). Practical recommendations for gradient–based training of deep architectures. In *Neural networks: Tricks of the trade: Second edition* (pp. 437–478). Berlin, Heidelberg: *Springer Berlin Heidelberg*.

- [205] Falessi, D., Cantone, G., Kazman, R., & Kruchten, P. (2011). Decision-making techniques for software architecture design: A comparative survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 43(4), 1–28.
- [206] Aloysius, N., & Geetha, M. (2017, April). A review on deep convolutional neural networks. In 2017 international conference on communication and signal processing (ICCSP) (pp. 0588–0592). IEEE.
- [207] Ahmed, A., Ge, T., Peng, J., Yan, W. C., Tee, B. T., & You, S. (2022). Assessment of the renewable energy generation towards net-zero energy buildings: A review. *Energy and buildings*, 256, 111755.
- [208] Iwuanyanwu, O., Gil-Ozoudeh, I., Okwandu, A. C., & Ike, C. S. (2024). The role of green building materials in sustainable architecture: Innovations, challenges, and future trends. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6(8), 1935–1950.
- [209] Ahmed, I., Asif, M., Alhelou, H. H., & Khalid, M. (2024). A review on enhancing energy efficiency and adaptability through system integration for smart buildings. *Journal of Building Engineering*, 109354.
- [210] Acaray, S. C., & Batman, Z. P. Energy-Efficient Solutions in The Landscape Design Process. *Uluslararası Bilim Teknoloji ve Tasarım Dergisi*, 5(2), 78–101.
- [211] Balasbaneh, A. T., & Sher, W. (2024). Economic and environmental life cycle assessment of alternative mass timber walls to evaluate circular economy in building: MCDM method. *Environment, Development and Sustainability*, 26(1), 239–268.
- [212] Mykytyuk, P., Brych, V., Manzhula, V., Borysiak, O., Sachenko, A., Banasik, A., ... & Lebid, I. (2024). Efficient management of material resources in Low-Carbon construction. *Energies*, 17(3), 575.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Гончаренко А.В. Визначення кліматичних ризиків будівельної галузі на фоні воєнних дій./Екологічна безпека та природокористування: зб. Наук. Праць / М–во освіти і науки України, Київ, нац. Ун–т буд–ва і архіт., НАН України, Ін–т телекомунікацій і глобал. Ін форм. простору. – К., 2024. – Вип. 52. – С. 5–14, DOI: 10.32347/2411–4049.2024.4.45–52
2. Волошкіна О.С., Гончаренко А.В. Вплив воєнних дій на процес утворення кислотних опадів./Екологічна безпека та природокористування: зб. Наук. Праць / М–во освіти і науки України, Київ, нац. Ун–т буд–ва і архіт., НАН України, Ін–т телекомунікацій і глобал. Ін форм. простору. – К., 2022. – Вип. 44. – С. 5–14, DOI: 10.32347/2411–4049.2022.4.5–14
3. Гончаренко А.В., Сіпаков Р.В. Формування емісії забруднення атмосферного повітря від окремих вибухів внаслідок воєнних дій/ Екологічна безпека та природокористування: зб. Наук. Праць / М–во освіти і науки України, Київ, КНУБА., НАН України, Ін–т телекомунікацій і глобал. Ін форм. простору. – К., 2023. – Вип. 45. – С. 111–120 DOI: 10.32347/2411–4049.2023.1.111–120
4. Волошкіна О.С., Шаблій Т.П., Трофімович В.В., Єфіменко В.М., Гончаренко А.В., Жукова О.Г. Вплив глобальних кліматичних змін на забруднення повітря урбанізованих територій та розповсюдження захворюваності населення на Covid–19. «Екологічна безпека та природокористування: зб. Наук. Праць / М–во освіти і науки України, Київ, КНУБА., НАН України, Ін–

т телекомунікацій і глобал. Ін форм. простору. – К., 2021. – Вип. 39. – С.5–15.

DOI: 10.32347/2411–4049.2021.3.5–15

5. Kaliukh Iu., Voloshkina O., Korduba I, Zhukova O., Honcharenko O A. Mathematical modelling of seismic activation of landslides in the Neogene clay of the Carpathian region. 2022. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2022», Oct 2022, Volume 2022, p.1 – 5 **ISBN 978_946282439_3**
DOI: 10.3997/2214–4609.2022590071
6. I. Kaliukh; O. Voloshkina; A. Honcharenko; A. Sirenko; I. Korduba; A. Kovaliova Complex Research and Implementation of the IoT System for the Residential Buildings Vibroprotection/2022 IEEE 3rd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC) 4–7 Oct. 2022, Electronic **ISBN: 979–8–3503–9674–4** **ISBN: 979–8–3503–9675–1,** **DOI: 10.1109/SAIC57818.2022.9922984**
7. Artem Honcharenko, Olena Voloshkina, Ihor Kupinskyi, Olena Zhukova Modern comprehensive information system for environmental quality monitoring. Environmental Problems. — Lviv : Lviv Politechnic Publishing House, 2021. — Vol 6. — No 4. — P. 251–257. **URI <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/59009>**

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Гончаренко А. В. До питання зменшення забруднення повітря за допомогою зелених технологій в будівництві Збірник наукових праць. «Екологічна безпека та технології захисту довкілля», No5, 2023, С.44–51.
9. Гончаренко А.В., Волошкіна О.С., Трофімович В.В., Жукова О.Г. Сучасний моніторинг забруднення атмосферного повітря аерозольними частками в м. Києві та їх вплив на організм людини. Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей II Міжнародної науково–практичної онлайн–конференції, м. Київ, 16 червня 2021 року/редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021. – 695 с. /81–82с./

10. Волошкіна О.С., Жукова О.Г., Гончаренко А.В., Колеватих І.С. Дослідження впливу загальнонаціонального блокування Covid-19 на забруднення повітря для урбанізованих територій на прикладі м. Києва. Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, м. Київ, 10 лютого 2022 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2022. с. 59–61.
11. Волошкіна О.С., Гончаренко А.В., Негода Н.В., Жукова О.Г. Забруднення атмосферного повітря аерозольними частинками в світі і Україні, їх вплив на клімат і здоров'я. Екологічна безпека держави: тези доповідей Другого всеукраїнського круглого столу, м. Київ, 15 грудня 2021 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021. с. 20–24.
12. Волошкіна О.С., Жукова О.Г., Гончаренко А.В. Вплив воєних дій на формування і випадіння кислотних опадів на прилеглих територіях. Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування: матеріали Міжнародної наукової конференції за участю молодих науковців. Одеса: ОДЕКУ, 2022. с. 39–42.
13. O. Voloshkina, R. Sipakov, O. Zhukova, A. Honcharenko. The role of science technology engineering & mathematics (stem) education in the development of civil engineering skills. Матеріали III-ї міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Ресурси. Енергія «Багатофункціональні еко – та енергоефективні, ресурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях», КНУБА, Київ, 23–25 листопада 2022
14. Гончаренко А.В., Волошкіна О.С. Використання технологій зеленого будівництва для зменшення забруднення повітря. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»). Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури. 2023, 70–76.
15. Voloshkina, O., T. Shabliy, T. Tkachenko, A. Goncharenko, O. Zhukova. Relationship between Air Pollution, Global Climate Change and Distribution of COVID-19/.73 International Research-to-Practice Conference on 'Climate

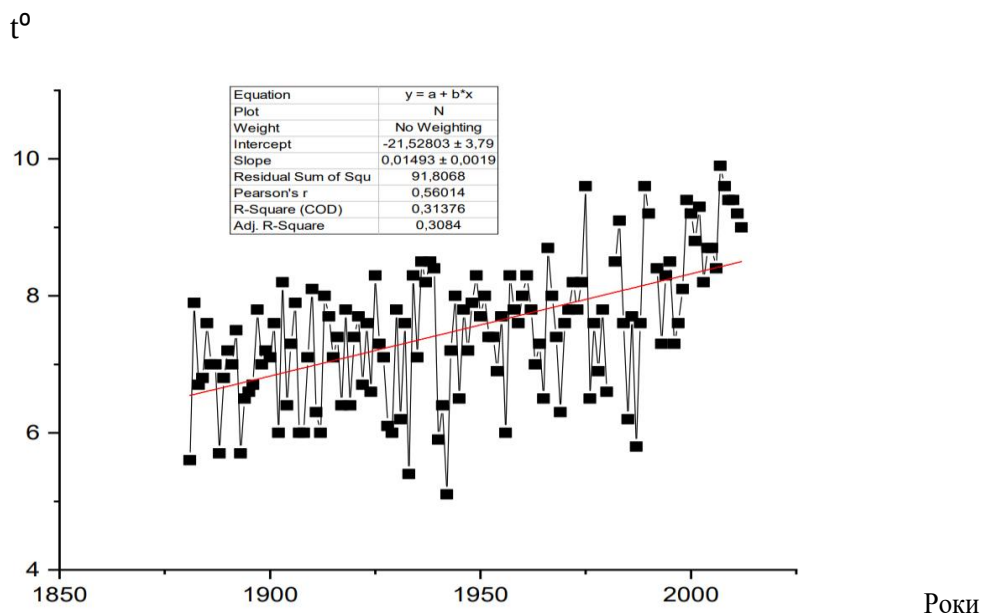
- Services : Science and Education': Conference Proceedings. Odesa : Odessa State Environmental University, 2021. 144 p. – 138–139с.
16. Гончаренко А.В., Волошкіна О.С., Жукова О.Г. Концепція формування інноваційної системи моніторингу забруднення аерозольними частками урбанізованих територій в умовах глобальних кліматичних змін. Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей ІІІ Міжнародної науково–практичної онлайн–конференції, м. Київ, 13 жовтня 2021 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021. –448–450.
 17. Гончаренко А., Волошкіна О.С. Особливості сучасного управління екологічними проектами. Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей І Міжнародної науково–практичної онлайн–конференції, м. Київ, 15 березня 2021 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021. – 695 с. /56–58с./
 18. Волошкіна О.С., Сіпаков Р.В., Гончаренко А.В., Жукова О.Г. Впровадження елементів STEM– освіти у навчальний процес підготовки інженерів будівництва. Колективна монографія за матеріалами ХХІ Міжнародної науково–практичної конференції “Інформаційно–комунікаційні технології та сталий розвиток”з 14 по 16 листопада 2022 р. м.Київ ІТГП НАНУ
 19. Гончаренко А.В., Волошкіна О.С., Трофімович В.В., Жукова О.Г. Взаємозв’язок забруднення атмосферного повітря урбоценозів аерозольними частками РМ 2,5, захворюваність населення на Covid–19 та вплив глобальних кліматичних змін. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: виклики 2021 року // Колективна монографія за матеріалами ХХ Міжнародної науково–практичної конференції (Київ, 04–08 жовтня 2021 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2021. – 88–91с.

Методичні рекомендації

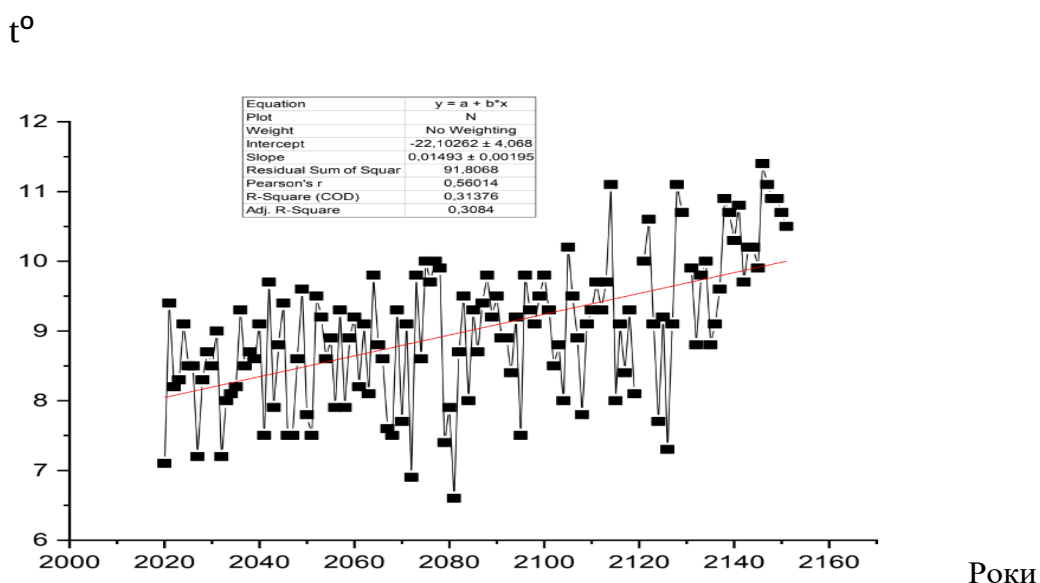
20. Методика розрахунку викидів парникових газів по окремим секторам еконо–міки /Волошкіна О.С., Жукова О.Г. Гончаренко А.В. Маршалл Д.І. А.В.Ковальова. Методичні вказівки та завдання до виконання індивідуальної роботи для здобувачів III освітнього рівня підготовки (доктор філософії) спеці–альностей 263 «Цивільна безпека», 101 «Екологія» Київ:КНУБА, 2021 – 20с. друк. Арк 1,16/
21. Методи обробки моніторингової інформації для розрахунку канцеро–генного ризику працівників, які працюють на відкритому повітрі від забруд–нення викидами з автотранспорту/ Волошкіна О.С., Сіпаков Р.В., Жукова О.Г. Ковальова А.В., Гончаренко А.В Методичні вказівки та завдання до виконання індивідуальної роботи для здобувачів III освітнього рівня підготовки (доктор філософії) спеціальностей 263 «Цивільна безпека», 101 «Екологія» Київ:КНУБА, 2021 – 20с. друк. арк 1,16
22. Складання матеріального та теплового балансів для обґрунтування ви–бору технологічного процесу /Волошкіна О.С., Кордуба І.Б., Гончаренко А.В., Жукова О.Г. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для студентів спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» за дисципліною «екологічна безпека технологічних процесів», К.:КНУБА, 2022. – 20 с. друк. Арк 1,16

ДОДАТОК Б

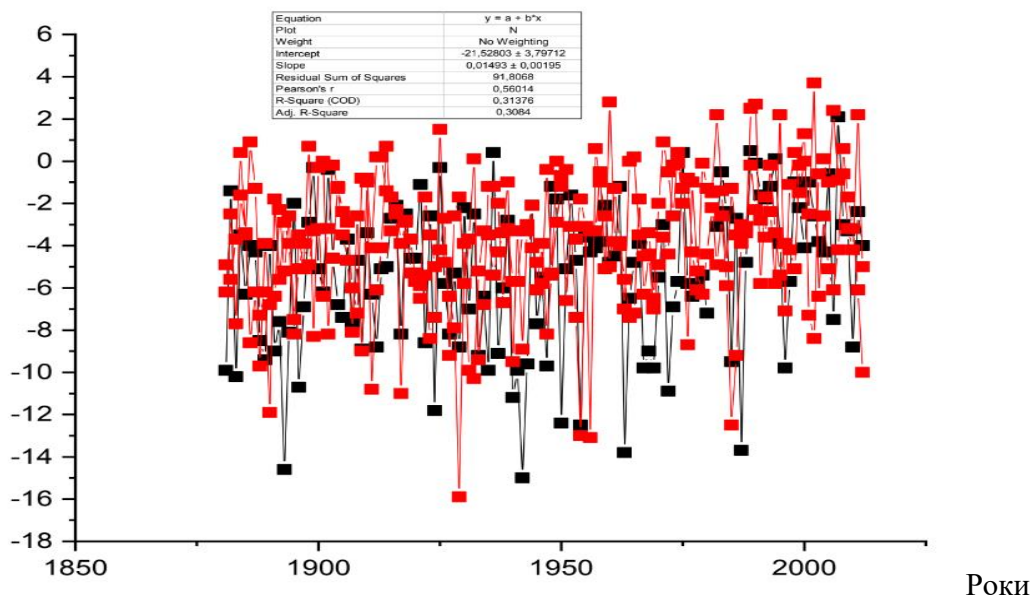
Зміни температурних показників для території м.Києва протягом періоду 1881–2021 років та прогнозі середьорічні та середрьомісячні значення до 2160 року



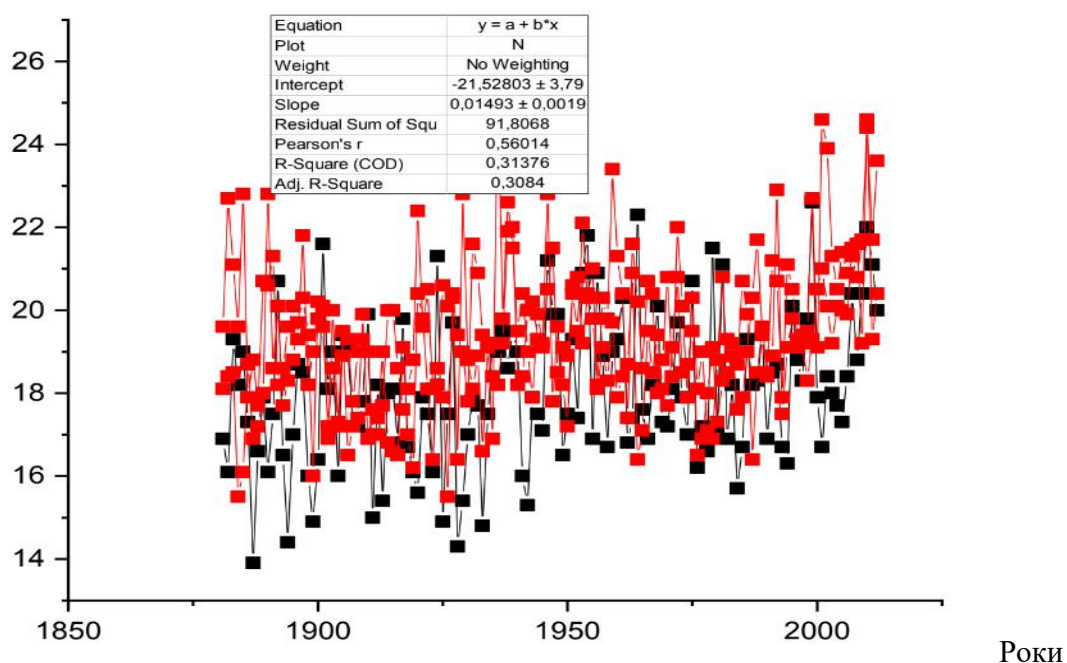
Залежність середньорічних температурних змін атмосферного приземного повітря на території України в розрізі 1881–2021 років для території м.Києва [159]



Прогнозна залежність середньорічних температурних змін атмосферного приземного повітря в розрізі до 20160 року для території м.Києва [159]

t° 

Залежність середньомісячних температурних змін атмосферного
приземного повітря в зимові місяці в розрізі 1881–2021 років для території
м. Києва [159]

 t° 

Залежність середньомісячних температурних змін атмосферного
приземного повітря в літні місяці в розрізі 1881–2021 років для території
м. Києва [159]

ДОДАТОК В

ПОЗНАЧЕННЯ, ВЕЛИЧИНИ, ОДИНИЦІ ВИМІРУ

Позначення	Величина	Одиниця виміру
τ	час	
Θ	температура	
C3	концентрація сірчаного ангідриду	
C4	концентрація водяної пари	
Ψ	функція току	
Ω	вихор швидкості	
U	швидкість руху газової хмари в напрямку X	
V	швидкість руху газової хмари в напрямку Y	
V _x	швидкість частки в напрямку X	
V _y	швидкість частки в напрямку Y	
Re	число Рейнольдса	
Pr	число Прандтля	
Sc	число Шмідта	
Fo	число Фур'є	
ρ	відносна густина ($\rho=\rho_1/\rho_2$)	
g	безрозмірний аналог прискорення вільного падіння	
CD	коефіцієнт опору	
Q	тепловий ефект реакції	кДж/кг
WKi	масова швидкість конденсації сірчаного ангідриду і водяної пари	кг/(м ³ ·с)
δ_0	геометричний розмір ядра конденсації	м
C _p	питома теплоємність	Дж/(кг·К)
U ₀	швидкість вітру зовнішнього середовища	м/с
P _A	атмосферний тиск	Па
P ₀	предекспонент	Па
E	енергія активації процесу конденсації	Дж/кг
R	універсальна газова стала	Дж/(моль·К)
M	молярна маса	кг/моль
β	коефіцієнт конденсації	
T	температура суміші газів	К

ДОДАТОК Г

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

ТОВ АВ Констракшн
вул. Київська 12, 08132, Вишневе

e-mail: duomit.am@gmail.com
www.duomit.ua

AV Construction

Довідка

Про випробування результатів дисертаційної роботи Гончаренка Артема Вадимовича «Методика оцінки впливу забруднення повітря на основі визначення кліматичних ризиків в будівництві» для використання у проектній, архітектурній, будівельній діяльності.

Отримані в дисертаційній роботі Гончаренко А.В. наукові результати в розрізі ефективності відбудови, використання інноваційних систем моніторингу, зокрема, в сфері зеленого будівництва, розробки та можливі заходи з адаптації до змін клімату на проектній стадії передані для використання в проектній, архітектурній, будівельній діяльності при відновленні об'єктів на міських територіях на засадах «зеленого будівництва» на прикладі об'єктів ТОВ АВ Констракшн.

Директор

Митрофанов А.В.



AV Construction



ТОВ «АТЛАНТ БУД КОНСТРАКШН»
Україна, 02002, м. Київ,
вул. Микільсько-Слобідська, буд. 4Д, кв. 4
телефон/факс: 067-218-83-83
Код ЄДРПОУ 42397637

Довідка

Про випробування результатів дисертаційної роботи Гончаренка Артема Вадимовича «Зменшення впливу забруднення повітря на урбанізованих територіях на основі визначення кліматичних ризиків в будівництві» для використання у проектній, архітектурній, будівельній діяльності.

Отримані в дисертаційній роботі Гончаренко А.В. наукові результати в розрізі ефективності відбудови, використання інноваційних систем моніторингу, зокрема, в сфері зеленого будівництва, розробки та можливі заходи з адаптації до змін клімату на проектній стадії передані для використання в проектній, архітектурній, будівельній діяльності при відновленні об'єктів на міських територіях на засадах «зеленого будівництва» на прикладі об'єктів ТОВ «АТЛАНТ БУД КОНСТРАКШН».

Директор



Максимцов В.А.



м. Вишневе, вул. Київська, 12
тел.: 044451-84-79, 0674493305, 0674493308

Код ЄДРПОУ 23574241, р/р Г А 953003460000026000022014201 в АТ «А.П.Ф.А.-БАНК» м.Вишневе, МФО 300346

Довідка

Про апробацію результатів дисертаційної роботи Гончаренка Артема Вадимовича «Зменшення впливу забруднення повітря на урбанізованих територіях на основі визначення кліматичних ризиків в будівництві» для використання у будівельній компанії ТОВ "ФІРМА "БУД-КОМПЛЕКТ".

Для прийняття управлінських рішень щодо міського планування при будівництві та реконструкції місцевості з метою захисту здоров'я населення та навколишнього середовища передано для апробації концепцією інноваційної моделі моніторингових спостережень і яка базується на взаємопов'язаних наявних математичних моделях та статистичних залежностях і даних існуючих систем спостережень. Отримана в дисертаційній роботі Гончаренко А.В. концептуальна модель дозволяє прогнозувати зміни екологічної ситуації території внаслідок воєнних дій для довкілля та населення та оцінити вплив емісії забруднень на навколишнє середовище та організм людини в рамках глобальних кліматичних змін.

Директор



В.А. Осейков