

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 ро-боті 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 ізольованих 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 раза (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 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 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

ри-зиків 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 «ВІМ-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, воєнні 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 Dniprovskyi – 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.