

АНОТАЦІЯ

Патрашку Є.В. Вдосконалення методів аналізу впливу природних факторів на комфорт приміщень.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 — Будівництво та цивільна інженерія. — Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2025.

Дисертаційне дослідження присвячене вивченню, теоретичному та експериментальному, впливу вибраних природних факторів на комфорт в житлових приміщеннях. В якості вибраних природних факторів вибрані сонячне випромінювання та інертний газ радон.

У вступі приведені обґрунтування вибору теми дослідження, сформульовані мета та задачі досліджень, наукова новизна та практичне значення роботи, представлена її загальна характеристика та зв'язок з науковими програмами.

Застосування стандартизованого підходу до обчислення тривалості інсоляції є першим кроком в напрямку вдосконалення проектних робіт. Наступним кроком має стати розробка норм по розрахунку сонцезахисних методів. Але розрахунок лише тривалості інсоляції не відповідає сучасним вимогам і можливостям. Зокрема, можливості моделювання впливу сонячної радіації на санітарно-гігієнічний та комфортний стан приміщення за допомогою програмного забезпечення.

Нагальною є необхідність переходу до нормування кількісних показників інсоляції як з точки зору санітарно-гігієнічного впливу, так і з точки зору оптимізації теплового впливу. Саме тому, тема вивчення методів обчислення інсоляції і їх модифікація для потреб побудови якісних кількісних моделей є актуальною. Забезпечення радонової безпеки - одна з найважливіших проблем

будівництва, яка активно обговорюється в останні два десятиліття. За цей час проведено значну кількість досліджень щодо радонобезпеки довкілля людини. Порівняння результатів, отриманих розрахунковим шляхом і при використанні математичного моделювання, дало змогу рекомендувати запропоновану інженерну методику для практичних розрахунків і суттєвого зниження радіоактивного забруднення приміщень, які забезпечені приплив- новитяжними установками вентиляції. Це дозволяє зробити висновок про актуальність теми дисертаційної роботи.

Метою дисертаційної роботи є розвиток наукових засад і принципів формування параметрів комфортного житлового середовища в приміщеннях з застосуванням вентиляції на базі використання моделювання впливу природних факторів. В дисертації виконаний аналіз наукових публікацій, вітчизняної та закордонної нормативної бази щодо методів розрахунку інсоляції та концентрації радону, проаналізовано існуючі методи дослідження впливу вибраних природних факторів на формування комфортного середовища в приміщеннях, критерії їх оцінки і розрахунку, розроблений метод оцінки стану середовища у будівлях для вибору найкращого варіанту вентиляції, вдосконалений комплексний енергетичний метод для оцінки соляризації, інсоляції та концентрації радону в житлових приміщеннях.

В **першому розділі** розглядаються два важливих природних фактори, які необхідно враховувати на початкових етапах проектування об'єктів забудови. Уточнюється поняття комфорту житлових приміщень та вплив на комфорт інсоляції та концентрації радону. Радіація різного походження вимагає відповідних інженерних рішень від забудовників. Радіаційне випромінювання впливає на будівлі і огорожувальні конструкції до них.

Вибрані саме ці два природних фактора через схожість їх моделей та

необхідності в обох випадках нових підходів до обчислення з застосуванням енергетичних методів обчислення.

Велику роль в розв'язанні проблем, що виникають, відіграє вентиляція, а як метод аналізу для прийняття рішень - математичне моделювання. Одна із вимог, яка висувається до будування моделей процесів - це можливість їх на початкових етапах проектування та на етапах реконструкції та ремонту.

Так як основна небезпека підвищеної концентрації радону зосереджена на нижніх поверхах розглянуто особливості вентиляції малоповерхових будівель. Шляхом пошуку за ключовими словами та згадками в наукових статтях з бази даних ScienceDirect (Elsevier) було відібрано 2130 найрелевантніших публікацій з заданої проблематики.

їх подальший аналіз здійснювався засобами аналізу соціальних мереж, реалізованими у спеціалізованому програмному забезпеченні VosViewer мовою Java.

Програмний інструмент VOSviewer використовується для побудови та візуалізації бібліометричних мереж за допомогою різних елементів публікацій: цитування, ключові слова, бібліографічне з'єднання, співцитування або співавторські зв'язки.

З використанням інструментарію «VOSviewer» в роботі вивчалися ключові слова публікацій з точки зору їх взаємного використання в одних і таких самих публікаціях та інтенсивності використання одного терміну.

Виділяються два кластери публікацій: пов'язані з радоновою безпекою та інсоляцією приміщень. Продемонстровано, що існує низка понять, пов'язаних з інсоляцією: зокрема вентиляція, тепловий комфорт, сонячна енергія та енергетична ефективність. При цьому, саме виділення цих двох змістовних кластерів публікацій з тематики вказує на значну прогалину у сучасному

науково-інженерному знанні: поняття інсоляції та радонової безпеки вивчаються окремо та майже ніколи не поєднуються разом. В той час, як з точки зору конструктивних рішень вони є змістовно пов'язаними та цей зв'язок може бути розкрито через концепт комфорту - вузол мережі якого бракує і який міг би розташовуватись десь в межах цього кола. Таким чином, побудова математичних моделей є з'єднуючою ланкою для дослідження інсоляції та радонової безпеки.

В **другому розділі** вивчається вплив сонячного випромінювання на житловий комфорт. Існуючі європейські стандарти розглядають денне світло з різних точок зору і з різним рівнем деталізації. В Україні існує будівельна норма, яка регулює інсоляцію приміщень. Актуальним науковим завданням є порівняльний аналіз інсоляції'', розрахованої різними методами і методиками. Сучасні комп'ютерні технології дозволяють моделювати інсоляцію приміщень вже на етапі проектування, що значно підвищує точність розрахунків. У даній роботі було розроблено об'єктно-орієнтований метод розрахунку інсоляції для житлових і виробничих приміщень, який дозволяє узгоджувати внутрішні українські норми з європейськими стандартами. Для врахування чинників, які не входять до чинних норм розрахунку інсоляції'', розроблена програма на об'єктно-орієнтованій мові високого рівня Python.

В **третьому розділі** розглядається вплив концентрації радону на житловий комфорт. Забезпечення радонової безпеки - одна з найважливіших проблем екології'', яка активно обговорюється в останні два десятиліття. За цей час проведено значну кількість досліджень щодо радонобезпеки довкілля людини. В дисертації вивчаються особливості масопереносу радону в різних середовищах, а також проаналізовані методи досліджень цих процесів.

В даній роботі будується та досліджується математична модель, яка описує

процес зміни концентрації радону в житловому приміщенні при вентиляції», в тому числі примусовій. Моделювання дозволяє нам зрозуміти складні явища, зокрема те, яку роль відіграє дифузія, а яку конвекція. Врахування конвекції, тобто руху радону під дією повітряних потоків і різниць тиску, дозволяє імітувати різні стратегії вентиляції. Встановлено зв'язок між швидкістю механічної системи вентиляції та видаленням радону з приміщення.

Для експериментальних досліджень була змонтована спеціальна установка. Аеродинамічні вимірювання системи проводили з використанням багатофункціонального вимірювального приладу TESTO 435 із трубкою Піто. Дослідження зміни концентрації радону проводилися за допомогою приладу детектор радону DM68R. При експериментах використовувались припливно-втяжна установка ВУТ 300 E2B ЄС з рекуперацією тепла. Повітрообмін в лабораторії здійснювався за схемою: подача повітря зверху, виділення повітря зверху.

Доведена ефективність роботи системи загальнообмінної вентиляції при дезактивації продуктів розпаду ізотопів радону. Розроблена методика розрахунку зниження радіаційної активності радону у робочій зоні приміщення та запропонована схема повітрообміну, що виключає можливість надходження радіоактивних ізотопів у зону дихання людини. Була створена математична модель з використанням інженерного методу прогнозу оцінки зміни концентрації радону у приміщенні.

Із застосуванням обчислювального гідродинамічного комплексу моделювання ANSYS CFD (Computational Fluid Dynamics - обчислювальна гідрогазодинаміка), створена математична модель, яка загалом імітує надходження радону через щільний зазор конструкції підлоги з функціонуючої системою повітрообміну в площині дослідження.

Проведений аналіз однозначно показує, що запропонована схема повітрообміну для приміщень, у які проникає радон, найбільш раціональна і виключає можливість підняття радону в зону дихання людини.

Порівняння результатів, отриманих розрахунковим шляхом і при використанні математичного моделювання, дає змогу рекомендувати запропоновану інженерну методику для практичних розрахунків. Схема повітрообміну "подача припливного повітря зверху - видалення витяжного повітря знизу" виключає можливість контакту легень людини з радіоактивним газом.

Таким чином, у дисертаційній роботі вдосконалено енергетичні методи обчислення інсоляції та концентрації радону в житлових будівлях; розроблена методика розрахунку зниження радіаційної активності радону у робочій зоні приміщення; запропонована схема повітрообміну, що виключає можливість надходження радіоактивних ізотопів у зону дихання людини; створена математична модель з використанням інженерного методу прогнозу оцінки зміни концентрації радону у приміщенні.

Ключові слова: житловий комфорт, інсоляція, соляризація, радон, вентиляція, теплообмін, комфорт, математична модель, забруднювачі повітря, гідроаеродинаміка, схема повітрообміну, обчислювальна гідродинаміка, тепло-масообмен .

ABSTRACT

Patrashku Ye.V. M. Improvement of Methods for Analyzing the Impact of Natural Factors on Indoor Comfort.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 192 - Construction and Civil Engineering. Odesa State Academy of Civil Engineering and

Architecture, Odesa, 2025.

Patrashku Ye. V. Improvement of Methods for Analyzing the Impact of Natural Factors on Indoor Comfort.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 192 - Construction and Civil Engineering. Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, 2025.

The dissertation research is devoted to the theoretical and experimental study of the impact of selected natural factors on comfort in residential premises. The chosen natural factors are solar radiation and the inert gas radon.

The **introduction** substantiates the relevance of the research topic, formulates the research objectives and tasks, highlights the scientific novelty and practical significance of the work, and presents its general characteristics and relation to scientific programs.

The application of a standardized approach to calculating insolation duration is the first step toward improving design solutions. The next step should be the development of standards for designing solar protection methods. However, calculating only the duration of insolation no longer meets modern requirements and capabilities. In particular, there is a need to model the influence of solar radiation on the sanitary-hygienic and comfort state of premises using software tools.

There is a general need to transition to regulating quantitative insolation indicators from both a hygienic and thermal optimization perspective. Therefore, studying calculation methods and their modification to develop qualitative quantitative models remains highly relevant. Ensuring radon safety is one of the most critical issues in construction and has been actively discussed over the past two decades. Numerous studies have been conducted on radon safety for human environments. Comparing calculation-based and simulation-based results enabled the proposal of a practical engineering methodology for reducing radioactive contamination in premises equipped

with mechanical ventilation systems. This confirms the relevance of the dissertation topic.

The aim of the dissertation is to develop scientific foundations and principles for forming parameters of a comfortable living environment in buildings using ventilation, based on modeling the influence of natural factors. The work analyzes scientific publications and regulatory frameworks (domestic and foreign) related to methods for calculating insolation and radon concentrations, and investigates existing approaches for assessing the influence of selected natural factors on indoor comfort, including relevant evaluation criteria and calculation methods. A method is developed for evaluating indoor environments to select optimal ventilation solutions. A comprehensive energy-based method is improved for assessing solarization, insolation, and radon concentration in residential premises.

The **first chapter** considers two important natural factors that must be taken into account at the early stages of building design: insolation and radon concentration. It clarifies the concept of comfort in residential spaces and the impact of these factors on comfort. Radiation of various origins demands appropriate engineering solutions from developers, as it affects buildings and enclosing structures.

These two factors were chosen due to the similarity of their modeling and the necessity of applying energy-based calculation methods in both cases.

Ventilation plays a crucial role in solving the problems that arise, and mathematical modeling is used as the analytical method for decision-making. One requirement for such modeling is its applicability at early design and reconstruction stages.

Since elevated radon concentrations pose the most significant risk on lower floors, the features of ventilation in low-rise buildings are considered. Based on keyword searches and queries in the ScienceDirect (Elsevier) database, 2130 of the most relevant publications were selected.

Their further analysis was conducted using social network analysis tools, specifically the VOSviewer software in Java

The VOSviewer software tool is used for constructing and visualizing bibliometric networks based on various publication elements such as citations, keywords, bibliographic coupling, co-citation, and co-authorship links.

Using the VOSviewer toolkit in this study, keywords from publications were examined in terms of their co-occurrence within the same publications and the frequency of usage of individual terms.

Two publication clusters were identified: related to radon safety and to indoor insolation. It was shown that several concepts are associated with insolation, including ventilation, thermal comfort, solar energy, and energy efficiency. However, the separation of these clusters indicates a significant knowledge gap: insolation and radon safety are usually studied independently and rarely considered together, despite their connection from a design solutions perspective. Mathematical modeling is thus the unifying link for studying both aspects.

The **second chapter** focuses on the impact of solar radiation on residential comfort. European standards consider daylight from different viewpoints and with varying detail levels. Ukraine has building codes regulating indoor insolation. A relevant scientific task is a comparative analysis of insolation calculated by different methods. Modern computer technologies allow modeling insolation already at the design stage, significantly improving calculation accuracy. An object-oriented method was developed for insolation calculation in residential and industrial premises, aligning Ukrainian and European standards. A Pythonbased program was created to consider additional influencing factors not covered by current regulations.

The **third chapter** analyzes the impact of radon concentration on residential comfort. Radon safety is one of the most important ecological issues discussed in the

last two decades. The study examines radon mass transfer characteristics in different environments and analyzes methods for investigating these processes.

A mathematical model was developed to describe changes in radon concentration in a ventilated room, including forced ventilation scenarios. The model allows understanding complex processes, particularly the roles of diffusion and convection. Considering airflow and pressure differences enables simulation of various ventilation strategies. A relationship between mechanical ventilation rate and radon removal from indoor spaces was established.

An experimental setup was assembled, and aerodynamic measurements were carried out using a multifunctional TESTO 435 device with a Pitot tube. Radon concentration changes were measured using a DM68R radon detector. A VUT 300 E2V EC air supply and exhaust unit with heat recovery was used. Air exchange in the laboratory followed the scheme: air supply from above and exhaust from below.

The effectiveness of the general ventilation system in deactivating radon decay products was confirmed. A method for calculating radon activity reduction in the working area of a room was developed, and an air exchange scheme was proposed that prevents radioactive isotopes from entering the human breathing zone. A mathematical model using an engineering prediction method for assessing radon concentration changes indoors was created.

Using the ANSYS CFD (Computational Fluid Dynamics) software suite, a model was developed that simulates radon ingress through a floor construction gap in a room equipped with a functioning air exchange system.

The analysis clearly shows that the proposed air exchange scheme is the most rational and eliminates the possibility of radon entering the breathing zone.

The comparison of results obtained through analytical calculations and mathematical modeling allows for recommending the proposed engineering

methodology for practical applications. The air exchange scheme of "supply air delivered from above - exhaust air removed from below" eliminates the possibility of human lung exposure to radioactive gas.

Thus, the dissertation improves energy-based methods for calculating insolation and radon concentrations in residential buildings; develops a methodology for reducing indoor radon radioactivity; proposes an air exchange scheme that prevents radioactive isotope entry into the breathing zone; and creates a mathematical model using an engineering method for predicting radon concentration changes indoors.

Key words: indoor comfort, insolation, solarization, radon, . ventilation, heat exchange, comfort, mathematical model, air pollutants, hydroaerodynamics, air exchange scheme, computational fluid dynamics, heat and mass transfer.

