

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора кафедри теплогазопостачання і вентиляції

Національного університету “Львівська політехніка”

ШАПОВАЛА Степана Петровича

на дисертаційну роботу **БУБОНА Сергія Леонідовича**

на тему: **«Формування комфортного та безпечного середовища підземних**

приміщень відкритого планування»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 26 «Цивільна безпека»

за спеціальністю 263 «Цивільна безпека»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Актуальність дисертаційного дослідження визначається сучасними загрозами воєнного характеру, що виникли в Україні в умовах дії воєнного стану. Регулярні ракетно-авіаційні удари та підвищений ризик ураження об'єктів цивільної інфраструктури зумовили інтенсивне використання підземних споруд як тимчасових укриттів та альтернативних робочих просторів.

За таких умов значна кількість підземних приміщень різного функціонального призначення (підвали, підземні паркінги, складські та технічні приміщення) адаптується для тривалого перебування людей, незважаючи на те, що вони не були первісно спроектовані для експлуатації в режимі постійної присутності персоналу. Це призводить до формування несприятливих мікрокліматичних умов, зокрема погіршення повітряного середовища, зростання концентрацій CO₂, радону та завислих частинок, а також до порушення теплового та повітряного балансу приміщень. У сукупності зазначені фактори негативно впливають на функціональний стан, здоров'я та працездатність людей.

У цьому контексті розроблення науково обґрунтованих підходів до забезпечення безпечних, гігієнічно допустимих та комфортних умов перебування у підземних приміщеннях відкритого планування є важливим завданням у галузі цивільної безпеки, що має як теоретичне, так і прикладне значення.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, викладені в дисертації, є достатньо аргументованими, логічно взаємопов'язаними та послідовно сформульованими.

Достовірність отриманих результатів забезпечується:

- використанням сучасних методів експериментальних досліджень;
- проведенням вимірювань параметрів мікроклімату;
- аналізом концентрацій CO₂, радону та пилу;
- застосуванням математичного моделювання процесів тепло- та повітрообміну;
- використанням соціологічних методів (анкетування працівників).

Комплексний підхід до дослідження дозволив отримати обґрунтовані результати, що відповідають поставленим завданням.

3. Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розвитку теоретичних і прикладних засад формування безпечного та комфортного мікроклімату підземних приміщень відкритого планування, що використовуються як робочі простори в умовах підвищених ризиків.

Зокрема:

- уперше сформовано комплексний підхід до оцінювання мікрокліматичних умов підземних приміщень з урахуванням одночасного впливу основних факторів середовища (концентрація CO₂, радону, пилове навантаження, температурний режим, щільність перебування людей);
- удосконалено математичний апарат моделювання теплообміну в підземних будівлях із врахуванням тепловиділення людей та просторової неоднорідності теплових потоків;
- удосконалено моделі повітрообміну в підземних приміщеннях відкритого планування з урахуванням міграції та накопичення радону за умов обмеженої вентиляції;

- набули подальшого розвитку підходи до врахування просторової неоднорідності мікроклімату, зокрема температурної стратифікації та нерівномірного розподілу забруднюючих речовин.

Практичне значення роботи полягає у розробленні науково обґрунтованих підходів і рекомендацій для проєктування, модернізації та експлуатації підземних приміщень відкритого планування.

Основні положення:

- запропонований підхід дозволяє точніше визначати теплове навантаження з урахуванням кількості та розміщення людей, що сприяє оптимізації роботи систем вентиляції та кондиціонування, зниженню енергоспоживання.

- врахування радонового фактору при розрахунку повітрообміну забезпечує своєчасне виявлення небезпечних концентрацій і підвищує безпеку перебування людей у підземних просторах.

- температурне зонування та врахування стратифікації повітря дозволяє ефективніше регулювати мікроклімат у різних зонах приміщення, підвищуючи комфорт і енергоефективність.

- рекомендації щодо використання елементів озеленення та фітодизайну сприяють покращенню якості повітря та психоемоційного стану працівників.

- розроблена концепція управління мікрокліматом базується на комплексному контролі параметрів середовища, зонуванні простору та використанні енергоефективних інженерних систем.

- практична значущість результатів підтверджується їх впровадженням у діяльність підприємств, що свідчить про прикладний характер розробок і можливість їх реального застосування.

4. Загальнонаціональне та світове значення роботи

Загальнонаціональне значення дисертаційної роботи полягає у розв'язанні актуальної науково-практичної проблеми забезпечення безпечних і комфортних умов перебування людей у підземних приміщеннях відкритого планування, які в

умовах воєнного стану в Україні дедалі частіше використовуються як робочі простори та елементи системи цивільного захисту. Отримані результати є важливими для підвищення ефективності функціонування об'єктів подвійного призначення, що поєднують функції укриттів і офісних просторів, а також для забезпечення безперервності роботи підприємств та установ у кризових умовах.

Запропоновані у роботі науково обґрунтовані підходи до оцінювання та регулювання мікрокліматичних параметрів (температури, вологості, концентрації вуглекислого газу, радону та пилового навантаження) дозволяють удосконалити існуючі системи вентиляції та кондиціонування повітря у підземних приміщеннях. Особливе значення мають результати, що враховують вплив кількості людей, їх просторового розташування та процесів теплообміну на формування повітряного середовища, що є критично важливим для проектування сучасних підземних робочих просторів.

Практична цінність результатів полягає у можливості їх застосування при проектуванні, реконструкції та адаптації підземних офісних приміщень, укриттів подвійного призначення, а також інших об'єктів підземної інфраструктури. Запропоновані підходи до врахування радону при розрахунку повітрообміну та формування температурного зонування дозволяють підвищити рівень безпеки перебування людей у замкнених підземних просторах.

Світове значення роботи полягає у розвитку наукових підходів до формування комфортного та безпечного середовища підземних приміщень відкритого планування, які є актуальними в умовах глобальної урбанізації, дефіциту наземних площ у великих містах та необхідності ефективного використання підземного простору. Отримані результати можуть бути застосовані у містах із високою щільністю забудови, де активно розвивається підземна інфраструктура, зокрема офісні простори, транспортні вузли та об'єкти подвійного призначення.

Крім того, розроблені підходи до оцінювання та регулювання мікроклімату можуть бути корисними для регіонів із підвищеними техногенними, екологічними або природними ризиками, де підземні приміщення використовуються як елемент захисту населення та забезпечення

життєдіяльності. Таким чином, дисертаційна робота має як вагоме національне, так і міжнародне науково-практичне значення у сфері цивільної безпеки, підземного будівництва та експлуатації підземних просторів.

5. Повнота викладення здобувачем основних результатів у наукових публікаціях

За результатами дослідження за темою дисертації опубліковано вісім наукових праць, серед яких чотири статті у фахових виданнях категорії «Б» (з них одна — одноосібна), а також чотири тези доповідей, представлені на наукових конференціях.

6. Дотримання академічної доброчесності

Аналіз дисертаційної роботи свідчить про відсутність ознак академічного плагіату, фабрикації та фальсифікації. Робота виконана на належному науковому рівні з дотриманням принципів академічної доброчесності. Основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації є самостійними напрацюваннями автора, що підтверджується логічною структурою викладу, обґрунтованістю результатів і відповідністю поставленим завданням.

Усі використані джерела та напрацювання інших дослідників належним чином оформлені з відповідними посиланнями. Запозичені положення, терміни й методики подано відповідно до вимог академічної доброчесності.

Результати експериментальних досліджень, математичного моделювання та статистичного аналізу є узгодженими, достовірними та не викликають сумнівів. Ознак фабрикації або фальсифікації даних не виявлено.

У наукових працях у співавторстві визначено особистий внесок здобувача.

7. Оцінка мови та стилю оформлення

Дисертаційна робота має чітку та логічно вибудовану структуру і складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи відповідає встановленим вимогам, ілюстративний матеріал (таблиці, рисунки)

подано у достатній кількості та належним чином структуровано, що сприяє кращому сприйняттю результатів дослідження.

Текст дисертації викладено державною мовою на належному науковому рівні. Автор демонструє володіння сучасною науковою термінологією у галузі цивільної безпеки та суміжних напрямів, що забезпечує точність і коректність формулювань. Мовностилістичне оформлення роботи є виваженим, використовується чіткий, логічно послідовний та аргументований виклад матеріалу.

Теоретичні положення, результати експериментальних досліджень і практичні рекомендації подано у взаємозв'язку, з дотриманням причинно-наслідкових зв'язків, що забезпечує цілісність сприйняття роботи. Матеріал викладено послідовно — від постановки проблеми до отримання результатів і формулювання висновків, що свідчить про належний рівень наукової культури автора.

Оформлення дисертації в цілому відповідає чинним вимогам Міністерства освіти і науки України щодо підготовки дисертаційних робіт. Структурні елементи оформлено коректно, посилання на джерела подано у встановленому порядку, список використаної літератури сформовано відповідно до нормативних вимог.

8. Аналіз основного змісту роботи

У **вступі** дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми, яка пов'язана з необхідністю створення безпечних і комфортних умов перебування людей у підземних приміщеннях відкритого планування, що активно використовуються в умовах збройної агресії та переміщення робочих процесів у підземний простір. Автор зазначає, що більшість таких приміщень є переобладнаними і не призначені для тривалого перебування людей, що зумовлює погіршення якості повітря, підвищення вологості, температури та концентрації шкідливих речовин. У вступі визначено мету дослідження, яка полягає у розробленні науково обґрунтованої концепції формування комфортного та безпечного середовища, а також сформульовано відповідні завдання, об'єкт і

предмет дослідження, методи, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** розглянуто особливості облаштування робочих просторів у підземних приміщеннях. Автор аналізує проблеми використання найпростіших укриттів, зокрема підвальних та цокольних приміщень, які не відповідають сучасним вимогам безпеки та не оснащені необхідними інженерними системами. Значну увагу приділено ризикам для здоров'я людини при тривалому перебуванні у таких приміщеннях. Встановлено, що відсутність належної вентиляції призводить до накопичення вуглекислого газу, пилу, радону та інших забруднювачів, а також до формування несприятливого мікроклімату. Показано, що ці фактори негативно впливають на фізіологічний і психологічний стан людини, знижують працездатність та можуть викликати зміни у функціонуванні організму. У розділі обґрунтовано необхідність удосконалення підходів до організації підземних приміщень для постійного перебування людей.

У **другому розділі** визначено параметри комфортного середовища підземних приміщень відкритого планування. Автором описано методику вимірювання параметрів внутрішнього середовища, зокрема температури, відносної вологості, концентрації вуглекислого газу, радону та дрібнодисперсного пилу. Показано, що для оцінювання стану середовища необхідно враховувати просторову нерівномірність цих показників. У розділі також наведено результати соціологічного дослідження, яке дозволило визначити найбільш значущі показники комфортності на основі суб'єктивного сприйняття працівників підземних приміщень. Отримані дані використано для уточнення критеріїв оцінювання комфортного середовища.

У **третьому розділі** наведено результати дослідження мікрокліматичних показників підземних приміщень відкритого планування. Проведено аналіз процесів теплообміну з урахуванням кількості людей у приміщенні, їх локалізації та впливу на температурний і вологісний режим. Досліджено параметри якості повітря, зокрема концентрації вуглекислого газу, радону та пилу. Встановлено, що більшість підземних приміщень не пристосовані до постійного перебування людей, що ускладнює підтримання нормативних показників. Показано, що

концентрація CO₂ залежить від кількості людей і рівня вентиляції, а рівень радону може перевищувати допустимі значення. Також досліджено вплив температурної стратифікації та вологості на комфортні умови перебування. Окремо розглянуто можливості покращення якості повітря, зокрема шляхом використання рослин та інших методів нормалізації показників.

У **четвертому розділі** розроблено систему управління показниками комфортного та безпечного середовища підземних приміщень відкритого планування. Запропонована система базується на постійному моніторингу параметрів внутрішнього середовища за допомогою датчиків, порівнянні отриманих значень із нормативними та формуванні керуючих впливів для їх регулювання. Передбачено використання комбінованих систем припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією тепла, можливість температурного зонування простору залежно від скупчення людей, а також врахування впливу радону при розрахунку кратності повітрообміну. Система також передбачає підтримання аероіонного та мікробіологічного складу повітря з метою підвищення безпеки та продуктивності праці.

Дисертаційна робота відображає послідовне вирішення поставлених завдань: від аналізу проблеми та визначення параметрів середовища до експериментальних досліджень і розроблення системи управління. Отримані результати узгоджуються між собою та спрямовані на створення комфортних і безпечних умов перебування людей у підземних приміщеннях відкритого планування.

9. Зауваги та побажання

Незважаючи на загальну високу оцінку, до роботи можна висловити окремі зауваження:

1. У роботі обмежено розглянуто вплив динамічних змін кількості людей на параметри мікроклімату. Зокрема, не проаналізовано ситуації пікових навантажень та швидких змін заповненості приміщення, що може суттєво впливати на ефективність систем вентиляції та стабільність параметрів повітряного середовища.

2. Недостатньо уваги приділено питанням енергоефективності запропонованих технічних рішень. У роботі відсутня оцінка енергетичних витрат на забезпечення нормативних параметрів мікроклімату, що є важливим при практичному впровадженні систем у підземних приміщеннях.

3. У дисертації відсутній детальний аналіз похибок вимірювання мікрокліматичних показників. Не наведено оцінки точності використаних приладів та впливу похибок на достовірність отриманих результатів, що дещо знижує рівень обґрунтованості експериментальної частини.

4. Не повністю розкрито питання адаптації запропонованих рішень до різних типів підземних приміщень. Зокрема, не враховано відмінності у конструктивних особливостях, глибині залягання, матеріалах огорожувальних конструкцій та умовах експлуатації.

5. У роботі недостатньою мірою представлено порівняння отриманих результатів з існуючими вітчизняними та закордонними дослідженнями. Це ускладнює оцінку рівня наукової новизни та переваг запропонованих підходів у ширшому науковому контексті.

6. У даній науковій роботі доцільно було б більше звернути увагу на типи приміщень та їх особливості щодо реалізації отриманих результатів.

7. Не повною мірою було висвітлено техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень та особливості їх практичної реалізації.

Наведені зауваги мають другорядний, несуттєвий характер і жодним чином не знижують загальної високої оцінки виконаного наукового дослідження.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Бубона Сергія Володимировича на тему: «Формування комфортного та безпечного середовища підземних приміщень відкритого планування» є завершеним, самостійно виконаним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані результати щодо оцінювання та нормування мікрокліматичних параметрів, якості повітря, тепло- та повітрообміну, а також розроблено концептуальні положення системи

управління параметрами внутрішнього середовища підземних робочих просторів.

У роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання забезпечення безпечних і комфортних умов перебування людей у підземних приміщеннях, адаптованих до тривалого використання в умовах підвищених ризиків.

Отримані результати характеризуються як теоретичною, так і практичною значущістю та можуть бути використані при проектуванні, реконструкції та експлуатації підземних приміщень різного функціонального призначення.

Зміст дисертаційної роботи відповідає вимогам освітньо-наукової програми та чинним нормативним документам Міністерства освіти і науки України.

На підставі викладеного вважаю, що Бубон Сергій Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 «Цивільна безпека».

Офіційний опонент

доктор технічних наук,

професор кафедри

теплогазопостачання і вентиляції

Національного університету

«Львівська політехніка»



Степан ШАПОВАЛ

