



**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

**МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ
УКРАЇНСЬКОЮ, АНГЛІЙСЬКОЮ
ТА ПОЛЬСЬКОЮ МОВАМИ**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

*І Всеукраїнської
науково–практичної конференції
викладачів та фахівців–практиків*

**ОХОРОНА ПРАЦІ:
ОСВІТА І ПРАКТИКА**

*та
XV Всеукраїнської
науково–практичної конференції
курсантів, студентів, аспірантів та
ад'юнктів*

**ПРОБЛЕМИ ТА
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ОХОРОНИ
ПРАЦІ**

Львів – 2025

Голова:	БОНДАР Дмитро Володимирович – ректор Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (ЛДУБЖД), генерал-майор служби цивільного захисту, кандидат наук з державного управління, доцент; АЗЮКОВСЬКИЙ Олександр Олександрович – ректор Національного технічного університету "Дніпровська політехніка" (НТУ ДП), кандидат технічних наук, професор.
Заступники голови:	ПОПОВИЧ Василь Васильович – проректор ЛДУБЖД з наукової роботи, полковник служби цивільного захисту, доктор технічних наук, професор; ДАШКОВСЬКА Олена Володимирівна – старший науковий співробітник відділу науково-методичного забезпечення підвищення якості освіти, Державна наукова установа «Інститут модернізації змісту освіти» МОН України, кандидат хімічних наук, доцент; МАТВІЙЧУК Дмитро Лаврентійович – головний редактор науково-виробничого журналу «Охорона праці».
Члени організації:	БЕЛКОВ Анатолій Серафимович – завідувач кафедри безпеки життєдіяльності ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», доктор технічних наук, професор; БОГДАНОВА Ольга - к.т.н., голова правління Європейського співтовариства з охорони праці ESOSH, технічний експерт інституту гігієни та безпеки праці Tech IOSH (Великобританія), сертифікований експерт інституту здоров'я та безпеки праці CertIOSH (Велика Британія); ВОЛОДЧЕНКОВА Наталія Валеріївна – декан гірничо-металургійного факультету ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка», кандидат технічних наук, доцент; ГОЛІНЬКО Василь Іванович – завідувач кафедри охорони праці та цивільної безпеки НТУ «ДП», доктор технічних наук, професор; ГОРНОСТАЙ Оприслава Богданівна – доцент кафедри промислової безпеки та охорони праці ЛДУБЖД, кандидат технічних наук, доцент; ІЛЬЧИНШИН Ярослав Васильович – начальник науково-дослідного центру ЛДУБЖД, полковник служби цивільного захисту, кандидат педагогічних наук; МАРИЧ Володимир Михайлович – голова ради молодих вчених ЛДУБЖД, підполковник служби цивільного захисту, кандидат технічних наук, доцент; МЕНЬШИКОВА Ольга Володимирівна – заступник начальника факультету цивільного захисту ЛДУБЖД, полковник служби цивільного захисту, кандидат фізико-математичних наук, доцент; МІРУС Олександр Львович – завідувач кафедри промислової безпеки та охорони праці ЛДУБЖД, кандидат хімічних наук, доцент; СТАНІСЛАВЧУК Оксана Володимирівна – доцент кафедри промислової безпеки та охорони праці ЛДУБЖД, кандидат технічних наук, доцент; РОМАНСЬКА Галина Ігорівна – викладач кафедри промислової безпеки та охорони праці ЛДУБЖД; ФЕДОРЧУК-МОРОЗ Валентина Іванівна – завідувач кафедри цивільної безпеки ЛНТУ, кандидат технічних наук, доцент; ФІРМАН Володимир Михайлович - професор кафедри безпеки життєдіяльності ЛНУ ім. І. Франка, кандидат технічних наук, доцент. ЧЕБЕРЯЧКО Сергій Іванович – професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки НТУ «ДП», доктор технічних наук, професор;

ЯВОРСЬКА Олена Олександрівна – директор Навчально-наукового інституту природокористування НТУ "ДП", доктор технічних наук, професор;
ЯКОВЧУК Роман Святославович – начальник факультету цивільного захисту ЛДУБЖД, підполковник служби цивільного захисту, доктор технічних наук, доцент
ЯРЕМКО Зіновій Михайлович – завідувач кафедри безпеки життєдіяльності ЛНУ ім. І. Франка, доктор хімічних наук, професор.
РАДА КУРСАНТСЬКОГО ТА СТУДЕНТСЬКОГО САМОВРЯДУВАННЯ ЛДУБЖД

ОРГАНІЗАТОРИ

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
Інститут модернізації змісту освіти МОН України
Науково-виробничий журнал «Охорона праці»
Львівський національний університет імені Івана Франка
Національний університет «Львівська політехніка»
Луцький національний технічний університет

ВИДАВЕЦЬ

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

**Технічний редактор та
відповідальний за друк**

Орислава ГОРНОСТАЙ
Оксана СТАНІСЛАВЧУК

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

ЛДУБЖД, вул. Клепарівська, 35,
м. Львів, 79007

Контактні телефони:

(032) 233-24-79,
тел/факс 233-00-88

Охорона праці: освіта і практика. Проблеми та перспективи розвитку охорони праці:

36. наук. праць V Всеукраїнської науково-практичної конференції викладачів та фахівців-практиків та XV Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів. – Львів: ЛДУБЖД, 2025. – 276 с.

Збірник сформовано за науковими матеріалами V Всеукраїнської науково-практичної конференції викладачів та фахівців-практиків «Охорона праці: освіта і практика» та XV Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів «Проблеми та перспективи розвитку охорони праці».

Збірник містить матеріали таких тематичних секцій:

Секція 1. „ОХОРОНА ПРАЦІ: ОСВІТА І ПРАКТИКА

Перспективи розвитку напрямку “Охорона праці” в сфері освіти.

Інтерактивні методи навчання при викладанні дисциплін за напрямом «Охорона праці».

Формування ризик-орієнтованого мислення у здобувачів освіти та у працівників підприємств системи управління охороною праці.

Оцінка ризиків.

Практичний досвід з охорони праці на підприємствах.

Секція 2. „ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ОХОРОНИ ПРАЦІ ”

Стан і перспективи удосконалення системи управління та нагляду за охороною праці і промисловою безпекою.

Профілактика виробничого травматизму.

Технології контролю і захисту від шкідливих і небезпечних виробничих та екологічних чинників.

Забезпечення безпеки і гігієни праці у підрозділах силових та спеціальних структур.

Новітні інформаційні технології як інструмент підвищення рівня промислової безпеки.

Культура та психологія праці.

© ЛДУБЖД, 2025

Здано в набір 01.06.2025.

Ум. друк. арк. 17,9.

Гарнітура Times New Roman.

Друк: ЛДУБЖД

вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007.

ldubzh.lviv@dns.gov.ua

За точністю наведених фактів, економіко-статистичних та інших даних, а також за використання відомостей, що не рекомендовані до відкритої публікації, відповідальність несуть автори опублікованих матеріалів. При передруковуванні матеріалів посилання на збірник обов’язкове.

УДК 697.94(075.8)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ПРИПЛИВНО-ВИТЯЖНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ В СТАЦІОНАРНОМУ ТА НЕСТАЦІОНАРНОМУ РЕЖИМАХ

*Гембара Т. В., доцент кафедри прикладної математики і механіки,
канд. техн. наук, доцент*

*Марич В. М., доцент кафедри промислової безпеки та охорони праці,
канд. техн. наук, доцент*

*Трусевич О.М., доцент кафедри прикладної математики і механіки,
канд. фіз.-мат. наук, доцент*

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

У будь-якому замкненому приміщенні, де є люди, склад повітря завжди погіршується, якщо припливно-витяжна вентиляція не працює належним чином. Адже під час дихання виділяються газоподібні речовини і в першу чергу вуглекислий газ CO_2 . Свіже повітря містить 0,02-0,04% CO_2 і це оптимальне значення. Для приміщень гранично допустимим вважається показник в 0,1-0,15%. Навіть відносно невелика концентрація CO_2 (всього 0,06%) може бути токсичною. В умовах воєнного стану в захисних спорудах цивільного захисту (ДБН В.2.2-5:2023) значно обмежена природня вентиляція, а примусова часто працює на обмежених енергоресурсах (акумуляторах та генераторах). Тому, наприклад особливо важливою є кількісна оцінка ефективності роботи припливно-витяжної вентиляційної системи приміщень, яка б гарантувала необхідний безпечний рівень концентрації вуглекислого газу.

Для математичного моделювання вмісту вуглекислого газу у приміщенні з припливно-витяжною вентиляційною системою використали метод усереднених параметрів мікроклімату у будь-якій точці приміщення [1-3]. Приймаючи, що $C=C(t)$ – концентрація CO_2 в 1 м^3 повітря в приміщенні в момент часу t , склали рівняння балансу, яке включає приплив CO_2 та його втрати за рахунок роботи вентиляційної системи за проміжок часу dt . Математична модель базується на диференціальному співвідношенні, яке описує приріст CO_2 протягом часу dt :

$$dC = \frac{n_0 V_1 + V_p C_2 - V_p C}{V} dt, \quad (1)$$

де n_0 – кількість людей, V_1 – об'єм CO_2 , який видихає людина на м^3 , C_2 – концентрація CO_2 на м^3 у повітрі, що надходить зовні, V_p – потужність системи, V – об'єм приміщення.

Використовуючи математичну модель дослідили припливно - витяжну систему обмінної вентиляції [1] в приміщенні $20\text{м} \times 10\text{м}$ висотою 3м, де

перебувають 25 людей (кількість людей не змінюється, що вважаємо стаціонарним режимом), з початковим вмістом CO_2 0,02 %. Кожна людина видихає 24 літри CO_2 за годину (0,0004 m^3 за хвилину, для прикладу взято при роботі за комп'ютером). Вентиляційна система постачає по припливному каналу з зовнішнього середовища 15 m^3 чистого повітря з вмістом 0,02 % CO_2 за хвилину (потужність системи по кожному каналу) і в такому ж об'ємі видаляє по витяжному.

Співвідношення (1) зводиться до лінійного диференціального рівняння з відповідними початковими умовами, розв'язавши яке, отримали його частковий розв'язок. В результаті чисельного експерименту отримали зростання вмісту CO_2 через 120 хв. – до 0,083%, а вихід на стаціонарний режим складає 240 хв. на рівень 0,087%, а такий вміст вже порівняно не є задовільним (рис.1, нижній графік). Встановили збільшення потужності системи вдвічі, до 30 m^3 на хвилину за допомогою аналогічного обчислювального алгоритму. Отримали, що незважаючи на роботу вентиляторів, вміст CO_2 в приміщенні від умовного початку, через 15 хвилин зростає до 0,038%, 30 хв. – до 0,046%, 60 хв. – до 0,052%, 120 хв. – до 0,053% і далі практично не зростає і такий стан, наприклад в захисній споруді, можна вважати задовільним.

Розглянули складніший випадок, якщо кількість людей в приміщенні n змінюється з часом і є функцією $n=n(t)$, що відповідає нестаціонарному режиму. Це може бути приміщення торгового залу, офісне, адміністративне тощо. Записавши рівняння (1) у вигляді

$$\frac{dC}{dt} + \frac{V_p C}{V} = \frac{n_0 V_1 + V_p C_2}{V}, \quad (2)$$

та відповідно замінивши n_0 на $n(t)$ отримали в загальній формі лінійне неоднорідне рівняння

$$C' + p_0 C = q(t), \quad (3)$$

в якому питома потужність вентиляційної системи $p_0 = \frac{V_p}{V}$,

$$q(t) = \frac{n(t)V_1 + V_p C_2}{V}.$$

Приймемо, наприклад, залежність кількості відвідувачів за періодичною функцією на проміжку тривалості прийому відвідувачів t_p таким чином, що кількість відвідувачів дорівнює нулю на початку та в кінці проміжку при максимальному значенні w :

$$n(t) = n_0 + w \sin\left(\frac{\pi t}{t_p}\right). \quad (4)$$

Для спрощення розрахункових співвідношень ввели позначення

$$a = \frac{V_1}{V}, b = \frac{\pi}{t_p}, d = \frac{V_p C_2}{V}. \text{ Тоді, після обчислень, отримуємо загальний}$$

розв'язок при обмеженнях $p_0 \neq 0$, у вигляді:

$$C = e^{-p_0 t} \left(D + \frac{1}{p_0^3 + b^2 p_0} [a p_0^2 w \sin(bt) - a b p_0 w \cos(bt) + e^{p_0 t} ((d + a n_0) p_0^2 + b^2 d + a b^2 n_0)] \right) \quad (5)$$

Використавши ту ж початкову умову, як і в стаціонарному режимі $C(0) = 0,0002$, за $t_p = 360$ хв., $w = 30$ та решту необхідних даних, знайшли значення сталої $D = 0,00555639$. Розрахунки показали (рис.1, верхній графік), що незважаючи на зниження концентрації після досягнення максимального значення концентрації $C_{max} = 0,0016$ за $t = 240$ хв., але вміст вуглекислого газу після 6 годин роботи є доволі високим.

CO_2 , l/m^3

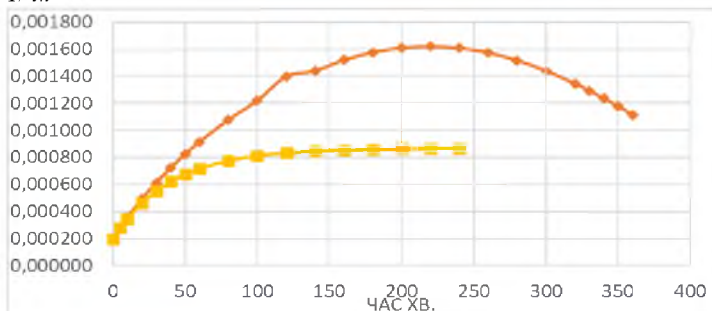


Рисунок 1 - Графіки зміни вмісту CO_2 в часі для стаціонарного (■) і нестационарного (◆) режимів вентиляції.

Для чисельних експериментів використано математичне програмне забезпечення Mathcad 15.

Список використаних джерел:

1. Гембара Т.В., Марич В.М. Диференціальне рівняння управління припливно-витяжної вентиляції за вмістом CO_2 у приміщенні. Зб. наук. праць IV Всеукраїнської науково-практичної конференції викладачів та фахівців-практиків ОХОРОНА ПРАЦІ: ОСВІТА І ПРАКТИКА – Львів: ЛДУБЖД, травень 2024, С. 34-35.
2. M. Macarulla, M. Casals, M. Carnevali, N. Forcada, M. Gangoellis, Modelling indoor air carbon dioxide concentration using grey-box models, *Build. Environ.* 117 (2017) 146–153. doi:10.1016/j.buildenv.2017.02.022.
3. Mintser O. P., Shchukin V. S. . Informative evaluations of the value of the CO_2 ratio in the physiology of breathing. *Medical Informatics and Engineering*, (1-2) (2023), 44–56. <https://doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2023.1-2.13962/>