

## ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНОГО РИЗИКУ ЗДОРОВ'Ю НАСЕЛЕННЯ ПРИ ЗАБРУДНЕННІ ПОВІТРЯ ФОРМАЛЬДЕГІДОМ

Русакова Т.І.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
пр. Науки, 72, 49010, м. Дніпро  
[rusakovati1977@gmail.com](mailto:rusakovati1977@gmail.com)

Наголошено, що формальдегід є однією із шкідливих речовин, яка генерується та надходить в навколишнє середовище від викидів промислових підприємств, автотранспорту та внаслідок пожеж. Для людей, що постійно перебувають в зоні з підвищеним рівнем формальдегіду, як на робочому місці так і в домашніх умовах, збільшується ризик щодо захворювань на лейкемію, рак, захворювань органів дихання та шлунково-кишкового тракту. Тенденція зміни обсягів формальдегіду, що надійшли в атмосферне повітря за останні п'ять років від промислового сектору, має чітко виражений спадний характер. Одночасно станції моніторингу стану атмосферного повітря в місті Дніпро фіксують перевищені гранично-допустимі концентрації формальдегіду, що найімовірніше пов'язані з пожежами, які зумовлені військовою агресією. Проведено експериментальні дослідження рівня концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі у зовнішньому середовищі. На основі кореляційно-регресійного аналізу розроблено математичну модель, що встановлює взаємозв'язок між концентрацією формальдегіду та параметрами атмосферного повітря, а саме швидкістю повітряного потоку, температурою та вологістю в осінній період року. Також встановлено перевищені значення формальдегіду во внутрішніх приміщеннях, на їх основ проведено розрахунок потенційного ризику здоров'ю населення. Запропоновано рекомендації щодо виробничої та побутової безпеки робітників та населення. Результати дослідження показують, що перебування людини в життєвому середовищі, де рівень формальдегіду не перевищує *ГДКс.д.*, є безпечним і ризик ураження здоров'ю залишається прийнятним. Ось чому важливо впроваджувати заходи для зменшення впливу формальдегіду та мінімізації його викидів. *Ключові слова:* джерела надходження формальдегіду, атмосферне повітря, кореляційно-регресійна модель, концентрація формальдегіду, потенційний ризик здоров'ю.

### **Assessment of potential risk to population health from formaldehyde air pollution. Rusakova T.**

It is emphasized that formaldehyde is one of the harmful substances that is generated and enters the environment from emissions of industrial enterprises, motor vehicles and as a result of fires. For people who are constantly in an area with an elevated level of formaldehyde, both at work and at home, the risk of leukemia, cancer, respiratory and gastrointestinal diseases increases. The trend of changes in the volume of formaldehyde that has entered the atmospheric air over the past five years from the industrial sector has a clearly pronounced downward trend. At the same time, atmospheric air monitoring stations in the city of Dnipro record exceeded maximum permissible concentrations of formaldehyde, which are most likely associated with fires caused by military aggression. Experimental studies of the level of formaldehyde concentration in atmospheric air in the outdoor environment have been conducted. Based on correlation-regression analysis, a mathematical model was developed that establishes the relationship between formaldehyde concentration and atmospheric air parameters, namely air flow velocity, temperature and humidity in the autumn period of the year. Also, exceeded formaldehyde values in indoor areas were established, and on their basis, a calculation of the potential risk to the health of the population was carried out. Recommendations were proposed regarding the industrial and domestic safety of workers and the population. The results of the study show that a person's stay in a living environment where the formaldehyde level does not exceed the MPC is safe and the risk of health damage remains acceptable. That is why it is important to implement measures to reduce the impact of formaldehyde and minimize its emissions. *Key words:* sources of formaldehyde, atmospheric air, correlation-regression model, formaldehyde concentration, potential health risk.

**Постановка проблеми.** Життєдіяльність людей у сучасному суспільстві не є безкомпромісною, оскільки пов'язана з великою кількістю негативних чинників, які виникають внаслідок діяльності людей і природного середовища. Прагнення людей щодо покращення свого матеріального забезпечення, рівня та якості життя, призводить до збільшення кількості різного роду виробництв, що виготовляють збільшений асортимент матеріалів та товарів, щоб задовольнити потреби населення. Внаслідок роботи промислово-виробничого сектору генеруються та надходять в навколишнє середовище різні шкідливі

речовини, які мають негативний вплив на людей та довкілля. Однією із таких речовин є формальдегід, що використовується в різних промислових, комерційних та побутових цілях. У зв'язку з негативними наслідками впливу формальдегіду на людину та природне середовище значна увага в світі приділяється дослідженню надходження формальдегіду в навколишнє середовище, моніторингу та контролю, а також впливу на стан здоров'я людей. В даній статті розглядається оцінка потенційного ризику здоров'ю населення при забрудненні атмосферного повітря формальдегідом.

**Актуальність дослідження та аналіз останніх досліджень** Во внутрішньому середовищі проживання людини, а саме у закритих приміщеннях, можна виділити велику кількість джерел надходження формальдегіду. Їх поділяють на три групи [1]: матеріали для будівництва та меблів – дерево-стружкові плити, склеєні смолами; побутові засоби – миючі засоби, косметика, фарби, лаки, клеї, в яких формальдегід часто використовується як консервант, тому ці засоби виділяють формальдегід у повітря; побутове спалювання, яке присутнє у всіх димах при згорянні природних та штучних ресурсів – під час приготування їжі, опалення приміщень в декоративних камінах, при курінні або використанні пахоців.

Більшість тестів, проведених в кліматичних камерах в роботі [2] відносно надходження формальдегіду від двадцяти різних предметів побутових меблів показали низький рівень викидів, однак були меблі з рівнем формальдегіду більше  $0.1 \text{ мг/м}^3$ . Одночасно наголошено на тому, що меблі з помірним виділенням формальдегіду, але з великою площею, такі як книжкові шафи та вхідні двері можуть мати значний вплив на повітря в приміщенні. Також концентрація формальдегіду може збільшуватися в погано вентильованих приміщеннях.

Серед зовнішніх джерел надходження формальдегіду виділяють: промислові викиди, вихлопні гази транспортних засобів та лісові пожежі. Дослідження стану здоров'я працівників на підприємствах, де вони піддаються впливу формальдегіду, показали підвищений ризик захворюваності на лейкемії. При диханні та через шкіру може виникати, як подразнення шкіри або очей, так і потрапляння формальдегіду в легені, шлунково-кишковий тракт [3–4].

Формальдегід є надзвичайно реакційною хімічною речовиною, яка взаємодіє з білками, ДНК та РНК [5]. Результати аналізу дослідження [6] показують, що концентрація формальдегіду в повітрі приміщень будівель досягає значно вищих значень, ніж на відкритому повітрі. Вплив формальдегіду підвищує ризик виникнення раку, особливо раку носоглотки. Вплив формальдегіду також може стати причиною розвитку астми як у дітей, так і у дорослих, а також деяких захворювань головного мозку [7].

Формальдегід також спричиняє шкідливий вплив на довкілля та біорізноманіття. Як летка органічна сполука він сприяє фотохімічному утворенню тропосферного озону, тобто смогу, який є шкідливим для здоров'я людини. Формальдегід добре переноситься водними потоками та відкладається в озерах, річках і ґрунтах, негативно впливаючи на водні та наземні екосистеми [8]. Надмірні викиди формальдегіду впливають на біорізноманіття, на природне середовище проживання, порушуючи екосистеми. Так, в роботі [9] наведено дослідження кумулятивного впливу формальдегіду на морські екосистеми. Підвищений рівень формальдегіду призводить до зниження темпів росту дерев або спричиняє леге-

неві кровотечі у птахів [10]. Хоча формальдегід не є основним парниковим газом, він може опосередковано сприяти зміні клімату, реагуючи в атмосфері з утворенням сполук, які впливають на клімат.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** В роботі досліджено та проаналізовано динаміку зміни обсягів надходження формальдегіду в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення. Проведено експериментальне дослідження рівня концентрації формальдегіду, як на відкритій місцевості, так і у приміщеннях. На основі кореляційно-регресійного аналізу розроблено математичну модель для прогнозування рівня концентрації формальдегіду у зовнішньому середовищі з урахуванням факторних змінних: температури, вологості та швидкості повітряного середовища. Розраховано потенційний ризик здоров'ю населення при наявності в повітрі приміщень формальдегіду.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Розроблена математична модель дозволяє проводити аналіз рівня формальдегіду в атмосферному повітрі в осінній період відповідно до змін метеорологічних параметрів атмосферного повітря. Розрахунок потенційного ризику при різних рівнях перевищення гранично допустимої концентрації дозволив встановити межі концентрації, при яких буде змінюватися рівень ризику від прийняттого до катастрофічного.

**Викладання основного матеріалу.** За статистичною інформацією державної служби статистики України щодо викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря [11] було проаналізовано динаміку зміни обсягів надходження формальдегіду в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення в продовж 2019–2023 років, що показано на рисунку 1. Тенденція зміни обсягів надходження формальдегіду у атмосферне повітря за період 2019–2023 роки від стаціонарних джерел забруднення має чітко виражений спадний характер і дуже добре описується степеневою залежністю (1) з величиною достовірності  $R^2 = 0.8278$  (рис. 1, крива 3).

$$y(x) = 192.35 \cdot x^{-0.279}, \quad (1)$$

де  $x$  – роки,  $y(x)$  – обсяги  $\text{CH}_2\text{O}$  в тонах від стаціонарних джерел забруднення по Україні.

Середнє значення обсягів формальдегіду від стаціонарних джерел забруднення за вказаний період складає  $150.3 \text{ т/рік}$ . У 2020 році було наявним зниження на 5.7% в порівнянні з 2019 роком, тоді як в 2021 році – зростання на 6.2%. Найбільше значення  $177.6 \text{ т}$  спостерігалось у 2021 році, а найменше значення  $114.5 \text{ т}$  – у 2023 році. Так у 2022 році відбулося найбільше зниження обсягів надходження формальдегіду в атмосферне повітря на 35% в порівнянні з 2021 роком, що пов'язане із зупинкою багатьох виробництв в Україні. На рисунку 2 показано відхилення від середнього значення: найбільше

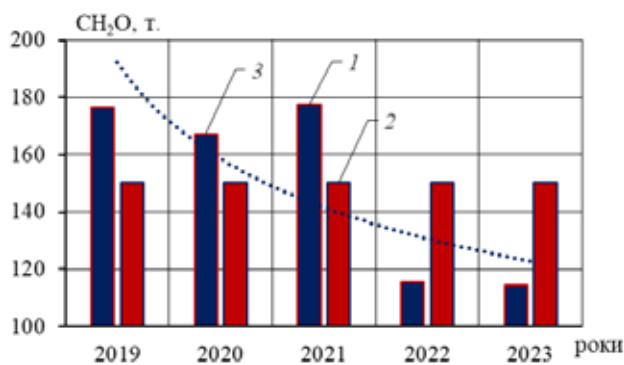


Рис. 1. Динаміка зміни обсягів надходження формальдегіду у атмосферне повітря за період 2019–2023 роки від стаціонарних джерел забруднення по Україні: 1 – статистичні дані; 2 – середнє значення; 3 – лінія тренду

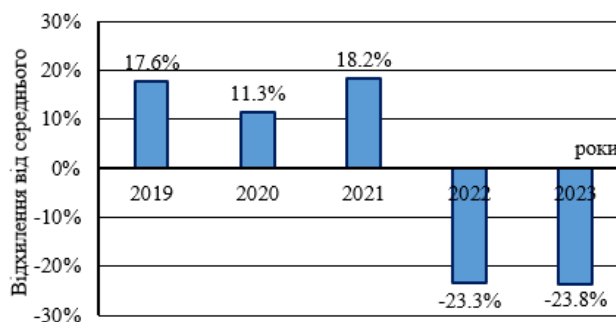


Рис. 2. Відносне відхилення від середнього значення обсягів надходження формальдегіду у атмосферне повітря за період 2019–2023 роки від стаціонарних джерел забруднення по Україні

додатне відхилення у 2021 році – 18.2%, а найменше – у 2023 році (-23.8%). Медіана ряду даних дорівнює 167.2 т/рік. Оскільки середнє значення і медіана відрізняються на 11%, то обсяги мають несиметричний розподіл (рис. 2). Середнє квадратичне відхилення складає 32.5 т/рік, що характеризує невеликий розкид варіант щодо середньої величини. Асиметрія ряду даних від’ємна (-0.54) – є лівосторонньою симетрією, що вказує на слабкий ступінь несиметричного розподілу по відношенню до середнього, тобто в розподілі частіше зустрічаються значення, що є більше середнього.

За даними інформаційно-аналітичного огляду щодо стану атмосферного повітря, наданого департаментом екології та природних ресурсів Дніпропетровської обласної військової адміністрації за серпень (за період 01.08.2024 р. по 10.08.2024 р.) на станціях аналізу якості повітря виявлено перевищення середньодобового значення гранично допустимого рівня формальдегіду. На території міста Дніпра діють 5 автоматизованих стаціонарних станцій аналізу якості повітря: вул. Батумська, вул. Космонавта Волкова, пр. Свободи, вул. Набережна Перемоги, вул. Нестерова. А також 5 неавтоматизованих стаціонарних постів спостережень за станом атмосферного повітря: ПСЗ № 10 – парк ім. Т.Г. Шевченка, ПСЗ № 13 – вул. Філософська, ПСЗ № 19 – вул. Краснопільська, ПСЗ

№ 20 – пр. Івана Мазепи, ПСЗ № 24 – вул. Богдана Хмельницького. На трьох постах спостереження було зафіксовано в атмосферному повітрі підвищені рівні формальдегіду, які коливались в межах 5.0–7.0 ГДКс.д (табл. 1) [12].

На наступному етапі представленої роботи проводилися експериментальні дослідження щодо рівня концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі. Мета дослідження полягала у встановленні зв’язків між концентрацією формальдегіду, швидкістю повітряного потоку, температурою та вологістю в осінній період року. Вимірювання формальдегіду проводилися за допомогою багатофункціонального детектора якості повітря GM8804, який може одночасно визначати концентрацію формальдегіду, температуру та вологість, не потребує калібрування. Для вимірювання швидкості вітру використовувався сучасний професійний пристрій – анемометр Peakmeter PM6252B. Прилади розміщувалися на висоті 1.5 м від поверхні землі. Вимірювання проводилися впродовж семи днів по сім вимірювань з 11:00 до 12:00. Осереднені результати вимірювання концентрації формальдегіду, вологості, температури та швидкості вітру занесено до таблиці 2.

На основі отриманих експериментальних даних проводився множинний кореляційно-регресійний аналіз, а саме, кількісна оцінка взаємозв’язків

Таблиця 1

Середні концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі по м. Дніпро за період 01.08. – 10.08.2024 [12]

Пост спостереження	Зафіксована середня концентрація $\text{CH}_2\text{O}$ , мг/м <sup>3</sup>	ГДКс.д., мг/м <sup>3</sup>	Рівень перевищення
ПСЗ № 13	0.02	0.003	6.7 ГДКс.д.
ПСЗ № 19	0.021	0.003	7 ГДКс.д.
ПСЗ № 20	0.015	0.003	5 ГДКс.д.

Таблиця 2  
Результати вимірювання концентрації формальдегіду

Дата	CH <sub>2</sub> O, mg/m <sup>3</sup>	V, m/s	T, °	j
20.09.2024	2.4 ГДКс.д.	3.1	20.2	35.2
27.09.2024	2.8 ГДКс.д.	4.8	21.4	44.6
18.10.2024	1.6 ГДКс.д.	5.6	18.6	51.4
25.10.2024	1.8 ГДКс.д.	4.2	10.4	73.2
08.11.2024	1.2 ГДКс.д.	3.8	8.6	74.8
15.11.2024	1.4 ГДКс.д.	2.8	5.6	68.4
22.11.2024	0.8 ГДКс.д.	3.2	4.2	64.2

факторних змінних між собою та з результуючою ознакою. Для проведення такого аналізу необхідно було вирішити наступні задачі:

1. Розрахувати лінійні кореляційні коефіцієнти між факторними змінними  $x_1, x_2, x_3$ , що визначають: швидкість –  $x_1$ , температуру –  $x_2$ , вологість повітряного потоку –  $x_3$ .

2. Оцінити кореляційні зв'язки між вказаними вище факторними змінними  $x_1, x_2, x_3$  з результуючою ознакою  $y(x_i)$ , що визначає концентрацію формальдегіду. Розрахувати ступінь впливу факторних змінних на результуючу ознаку.

3. Отримати регресійну математичну модель, яка пов'язує тенденції вказаних факторних змінних із тенденцією результуючої ознаки.

4. Перевірити об'єктивність числових розрахунків, проведених на основі кореляційно-регресійної математичної моделі.

На основі кореляційного розрахунку отримано коефіцієнти кореляції (табл. 3).

Таблиця 3  
Коефіцієнти кореляції між факторними змінними та результуючою ознакою

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y(x_i)$
$x_1$	1			
$x_2$	0.4009	1		
$x_3$	0.4318	-0.8385	1	
$y(x_i)$	-0.3451	0.4585	-0.3835	1

Можна бачити, що ступінь кореляції результуючої змінної  $y(x_i)$  з факторними змінними  $x_1, x_2, x_3$  є різною, вона змінюється від середнього рівня (-0.35) до високого (-0.84). Дуже низький рівень кореляції та мультиколінеарність не спостерігаються, тому для проведення регресійного розрахунку не потрібно виключати жодної факторної змінної. Між результуючою ознакою та усіма факторними змінними присутній як прямий, так і зворотній зв'язок середнього ступеня. Задача регресійного аналізу полягає у визначенні статистичних коефіцієнтів регресійної статистики та дисперсійного аналізу, що визначають

рівень хибності, значущості та об'єктивності рівняння регресії. Коефіцієнт детермінації  $R^2=0.849$  підтверджує, що на 84.9% варіації залежної змінної  $y(x_i)$  можна пояснити за допомогою отриманого рівняння. Нормований  $R^2=0.897$  показує, що на 89.7% результуючий показник  $y(x_i)$  визначається факторними змінними. На позитивну значущість рівняння регресії вказує критерій Фішера,  $F_{кр}=0.0016$ . Імовірність хибності розрахунків обумовлюється  $P$ -значенням, яке змінюється в діапазоні [0.0032; 0.0324], тобто ризик помилки складає 3.2%.

Математична модель рівняння множинної регресії, що визначає зв'язок між факторними змінними  $x_1, x_2, x_3$  та результуючим показником  $y(x_i)$  набула наступного виду:

$$y(x_i) = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3, \quad (2)$$

де  $x_1$  – швидкість повітряного потоку, м/с;  $x_2$  – температура повітряного потоку, °C;  $x_3$  – вологість повітряного потоку, %. Відповідні коефіцієнти регресії:  $a_0=-0.00123, a_1=-0.00122, a_2=0.00043, a_3=0.00013$ .

Для оцінки об'єктивності числових розрахунків  $y_1(x_i)_{\text{розрах.}}$ , проведених на основі кореляційно-регресійної математичної моделі, обчислено відносну похибку розрахункових та теоретичних (вихідних) даних: середнє значення похибки 2.1%, максимальне значення похибки – 3.3%. Математична регресійна модель (1) з точністю на 96% відображає зв'язок між вхідними параметрами та результуючим показником.

Більша кількість людей значну частину свого життя проводить в офісах, во власних помешканнях при наявності великої кількості меблів та інших побутових предметів, тому потенційно можуть перебувати під впливом дії формальдегіду.

Вимірювання формальдегіду у приміщеннях також проводилися за допомогою багатофункціонального детектора якості повітря GM8804. Дослідження рівня концентрації формальдегіду в середині житлових та офісних приміщень показали, що значення концентрації можуть досягати  $2.5 \cdot \text{ГДКм.р.}$  і навіть  $3.5 \cdot \text{ГДКм.р.}$ , з урахуванням того, наскільки багато нових меблів і яку частину простору вони займають. Гранично допустима концентрація формальдегіду відповідно дорівнює:  $\text{ГДКм.р.} = 0.035 \text{ мг/м}^3, \text{ГДКс.д.} = 0.003 \text{ мг/м}^3$ .

На основі отриманих значень концентрації формальдегіду у повітрі внутрішнього та зовнішнього середовища, де виявлені перевищення  $\text{ГДК}$ , проведено розрахунок потенційного ризику негативного впливу на здоров'я населення за формулою (3).

$$\text{Risk}_{\text{CH}_2\text{O}} = 1 - \exp \left[ -0.174 \cdot \left( \frac{C_{\text{CH}_2\text{O}}}{\text{ГДК}_{\text{с.д.}} \cdot K_3} \right)^{\beta} \cdot t \right], \quad (3)$$

де  $C_{\text{CH}_2\text{O}}$  – концентрація формальдегіду, що надає вплив протягом часу  $t$ ;  $K_3$  – коефіцієнт запасу, значення якого змінюється в залежності від класу небез-

пеки речовини;  $\beta$  – коефіцієнт, що дозволяє оцінювати ізоєфективні ефекти домішок різних класів небезпек. Для формальдегіду, який відноситься до другого класу небезпеки,  $K_3 = 6, \beta = 1.28$ .

На рисунку 3 наведено динаміку зміни рівня потенційного ризику здоров'ю населення в залежності від рівня концентрації формальдегіду у повітрі протягом однієї години. На початку розрахунок ризику проводився з більш щільним кроком по зміні концентрації від ГДКс.д. до 0.5·ГДКм.р., яка відповідає нормативним значенням. А далі розрахунок ризику проводився з більшим кроком по зміні концентрації від 0.5·ГДКм.р. до 5·ГДКм.р., яка перевищує нормативні значення.

Результати аналізу отриманого розподілу ризику та його рівнів наведено в таблиці 4.

На рисунку 4 наведено динаміку зміни ризику здоров'ю населення продовж 10 років, при концентрації формальдегіду в повітрі навколишнього середовища, яка відповідає  $C_{\text{CH}_2\text{O}} = 0.5 \text{ГДКм.р.} = 0.0175 \text{ мг/м}^3$ .

Можна бачити, що при перебуванні людини в такому середовищі впродовж одного року ризик ураження здоров'ю складатиме більше 15%, що

є небезпечним. У випадку перебування людини в такому середовищі впродовж 4 років, ризик складатиме більше 50%, що стає надзвичайно небезпечним для здоров'я людини.

На рисунку 5 наведено динаміку зміни ризику здоров'ю населення продовж 10 років, при концентрації формальдегіду в повітрі навколишнього середовища, яка відповідає  $C_{\text{CH}_2\text{O}} = \text{ГДКс.д.} = 0.003 \text{ мг/м}^3$ . Можна бачити, що при перебуванні людини в такому середовищі впродовж одного року ризик ураження здоров'ю складатиме 1.7%, впродовж 3 років – 5.1%, що є прийнятним.

Результати дослідження показують, що перебування людини в життєвому середовищі, де рівень формальдегіду не перевищує ГДКс.д., є безпечним і ризик ураження здоров'ю залишається прийнятним. Ось чому важливо впроваджувати заходи для зменшення впливу формальдегіду та мінімізації його викидів. Для того щоб забезпечити безпеку громадян та працівників, одночасно сприяти збереженню навколишнього середовища за рахунок зменшення впливу формальдегіду доцільними будуть заходи: постійний моніторинг якості повітря, включаючи

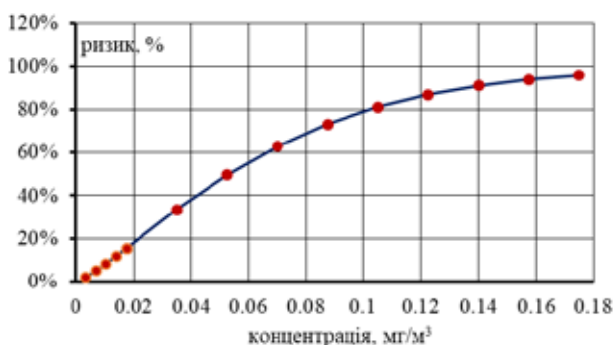


Рис. 3. Динаміка зміни потенційного ризику здоров'ю населення впродовж 1 року в залежності від концентрації формальдегіду

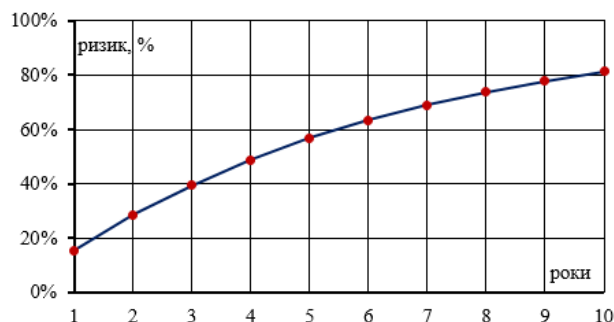


Рис. 4. Динаміка зміни потенційного ризику здоров'ю населення продовж 10 років при  $C_{\text{CH}_2\text{O}} = 0.5 \text{ГДКм.р.}$

Таблиця 4

Аналіз потенційного ризику здоров'ю населення

Ризик	Концентрація формальдегіду	Рівні ризику
[1.7%; 5.1%]	$C_{\text{CH}_2\text{O}}$	прийнятний – відсутні несприятливі медико-екологічні тенденції
[5.1%; 15.5%]	$C_{\text{CH}_2\text{O}}$	викликає побоювання – виникає тенденція до зростання неспецифічної патології
[15.5%; 49.6%]	$C_{\text{CH}_2\text{O}}$	небезпечний – виникає достовірною тенденція до зростання неспецифічної патології при появі одиничних випадків специфічної патології
[49.6%; 86.8%]	$C_{\text{CH}_2\text{O}}$	надзвичайно небезпечний – виникає достовірне зростання неспецифічної патології при появі значного числа випадків специфічної патології, а також тенденція до збільшення смертності населення
[86.8%; 95.9%]	$C_{\text{CH}_2\text{O}}$	катастрофічний, коли виникає поява випадків хронічного отруєння, зміна структури захворюваності, яке потрібно оцінювати іншими моделями.

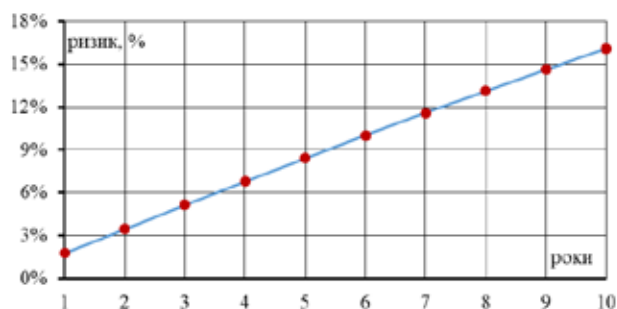


Рис. 5. Динаміка зміни потенційного ризику здоров'ю населення продовж 10 років, при  $C_{\text{CH}_2\text{O}} = \text{ГДКс.д.}$

виявлення формальдегіду та доступність результатів цього моніторингу для населення в реальному часі; інформування про потенційні ризики, пов'язані з формальдегідом у нашому повсякденному життєвому середовищі. Для того щоб забезпечити власну безпеку, зменшивши вплив формальдегіду на стан здоров'я, доречно дотримуватися наступних рекомендацій: купувати будівельні матеріали та меблі з найменшим вмістом формальдегіду; купувати вироби та будівельні матеріали з суцільного дерева, нержавіючої сталі, цегли, черепиці; використовувати безформальдегідну ізоляцію для стін та стель будинку; використовувати синтетичні фільтри, виготовлені з поліестеру, з органічних полімерів; забезпечувати хорошу вентиляцію при використанні клеїв, герметиків, латексних фарб, що містять формальдегід; використовувати килими з низьким вмі-

том летких органічних сполук; перевіряти щорічно системи опалення, вентиляції та кондиціонування; не палити, включаючи електронні сигарети, в приміщенні; не використовувати засоби особистої гігієни, включаючи косметику, мило, шампуні та засоби для миття тіла, що містять консерванти, які виділяють формальдегід у повітря; перевіряти етикетки продуктів на наявність сполук, які можуть виділяти формальдегід.

**Головні висновки.** Дослідження показують, що формальдегід постійно перебуває, як у виробничому так і в побутовому середовищі, яке безпосередньо або опосередковано доступне людині. Дуже часто формальдегід може бути причиною неспецифічних симптомів погіршення стану здоров'я, пов'язаних із приміщеннями, де людина перебуває більшу частину свого життя. Найчастіше професійний вплив формальдегіду торкається працівників тих галузей, діяльність яких пов'язана з перевищеними значеннями гранично-допустимої концентрації, що впродовж години впливу може призводити до небезпечного рівня ризику впливу на здоров'я.

**Перспективи використання результатів досліджень.** Результати дослідження щодо оцінки потенційного ризику здоров'ю населення при забрудненні повітря формальдегідом є важливою складовою для організації безпечної життєдіяльності. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на дослідження газових викидів формальдегіду від автотранспорту та при пожежах на загальний рівень забруднення атмосферного повітря.

### Література

1. Formaldehyde: sources and health impacts. Meersens. URL: <https://meersens.com/formaldehyde-sources-and-health-impacts/?lang=en#BLOC2> (date of access: 12.09.2024).
2. Emission of Formaldehyde from Furniture / H. V. Andersen, H. B. Klinker, L. W. Funch, L. Gunnarsen. *Test results and assessment of impact on indoor air quality revised edition environmental project no. 1815*, 56 p. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2023/10/978-87-7038-567-1.pdf>
3. Dubey S. K., Das P. Chapter 14 – Formaldehyde: Risk assessment, environmental, and health hazard. *Academic Press*, 2021. P. 169–182. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89857-7.00026-8>.
4. Exposure to airborne formaldehyde: Sampling and analytical methods—A review / S. Dugheri et al. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*. 2021. Vol. 29. P. e00116. URL: <https://doi.org/10.1016/j.teac.2021.e00116>
5. Increase of global DNA methylation patterns in beauty salon workers exposed to low levels of formaldehyde / E. Barbosa et al. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 26, no. 2. P. 1304–1314. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3674-7>
6. Environmental exposure to formaldehyde and effects on human health / W. Mazurkiewicz et al. *Environmental Medicine*. 2024. URL: <https://doi.org/10.26444/ms/189610>
7. Formaldehyde toxicity reports from in vitro and in vivo studies: a review and updated data / L. Bernardini et al. *Drug and Chemical Toxicology*. 2020. P. 1–13. URL: <https://doi.org/10.1080/01480545.2020.1795190>
8. Biomass burning-derived airborne particulate matter in Southeast Asia: A critical review / M. G. Adam et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2020. Vol. 407. P. 124760. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124760>
9. Evaluation of the long-term effects of formaldehyde on the physiology of the Mediterranean mussel, *Mytilus galloprovincialis* / M. Kotsiri et al. *Chemosphere*. 2024. Vol. 364. P. 143190. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143190>
10. A Review of Plants Formaldehyde Metabolism: Implications for Hazardous Emissions and Phytoremediation / W.-X. Peng et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. P. 129304. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129304>
11. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 17.09.2024)
12. Дніпропетровська обласна державна адміністрація. Стан атмосферного повітря. URL: <https://adm.dp.gov.ua/storage/app/uploads/public/66c/461/337/66c461337d231316411248.pdf> (дата звернення 17.09.2024)