

А. В. Ковальова

Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, Україна

## ОЦІНКА І КЛАСИФІКАЦІЯ ВИРОБНИЧОГО РИЗИКУ ПРИ ВИКОНАННІ ДОРОЖНІХ РОБІТ НА ПРИКЛАДІ МІСТА КИЄВА

**Анотація.** В роботі визначається комплексний виробничий ризик за допомогою системної моделі для працюючих на відкритому повітрі при реконструкції автотранспортних шляхопроводів з урахуванням метеорологічних факторів, забруднення атмосферного повітря та хронічного впливу шуму від автотранспортних засобів. **Запропоновано** методологію системного підходу до визначення професійного ризику на основі ієрархічної дворівневої системної математичної моделі, яка враховує всі закономірності впливу основних небезпечних факторів. Запропоновано кваліфікаційну шкалу для оцінки виробничого ризику для здоров'я працюючих. **Визначено**, що значення ризику для здоров'я працюючих при виконанні дорожніх робіт не може бути отримано на основі існуючих нормативних документів, оскільки вони не враховують ризик від постійного шумового навантаження від автотранспортних засобів на шляхопроводах, що додатково посилюється температурним впливом в теплі місяці року. **Розроблена** системна математична модель оцінки та класифікації значення виробничого ризику для працюючих на відкритому повітрі, яка враховує всі закономірності впливу основних небезпечних факторів забруднення міського середовища та проведено її апробацію для умов м. Києва. **Результати роботи актуальні** для удосконалення управління безпекою працюючих при виконанні дорожніх робіт за рахунок комплексного врахування всіх шкідливих факторів впливу при оцінці виробничого ризику.

**Ключові слова:** виробничий ризик, автомобільні шляхопроводи, системна модель, індекс теплового навантаження, вплив шумового забруднення, речовинне забруднення атмосферного повітря.

### Вступ

Визначення виробничого ризику для працюючих на відкритому повітрі і його відповідність значень існуючим нормативам слід розглядати комплексно від всіх впливових факторів і цьому питанню останнім часом присвячено багато досліджень.

Окремі дослідження стосуються підвищенню температурних показників в теплі періоди року та взаємозв'язку забруднення атмосферного повітря в умовах глобальних кліматичних змін та здоров'ям населення біля автотранспортних шляхопроводів урбанізованих територій [1-4]. В даних роботах розглядається питання вторинних утворень токсичних забруднювачів в атмосферному повітрі від викидів автотранспортних засобів, які працюють на бензиновому та дизельному паливі.

Питання впливу підвищення індексу забруднення повітря зваженими аерозольними частками PM<sub>2,5</sub> внаслідок підвищення температурних умов та вологості повітря в літні спекотні місяці року на значення ризику для здоров'я населення розглянуто в роботі [5].

Доведено, що тверді частки діаметром менш як 2,5 мкм в атмосфері міста є значним предиктором кількості підтверджених випадків багатьох захворювань, в т.ч. на COVID-19.

На безпеку працюючих автодорожніх служб значно впливає постійне шумове навантаження. Ознаки порушень здоров'я людей, які проживають або знаходяться тривалого часу від впливом транспортного шуму та оцінку подразнюючої дії шуму за допомогою соціологічних та соціально-акустичних обстежень класифіковані авторами робіт [6-9].

Коди порушення здоров'я визначалися при цьому згідно МКХ-10 (ICD – 10), що за розробкою

Всесвітньої організації охорони здоров'я є загальноприйнятою класифікацією для кодування медичних захворювань.

Так, у населення, яке має хронічний вплив шумового навантаження навколишнього середовища спостерігається:

- порушення нервової системи (нервова напруга і роздратування, порушення сну, когнитивні порушення, вегето-судинна дистонія), коди МКХ – R45.0, G47, R41, G90.8 відповідно;
- порушення системи кровообігу (підвищення кров'яного тиску, неспецифічне, без діагнозу гіпертензії, гіпертезивна хвороба серця, ішемічна хвороба серця, стенокардія, інфаркт міокарда), коди МКХ – R03.0, I11.9, I24, I25, I20, I21 відповідно;
- вушні хвороби (шум у вухах, суб'єктивний, кондуктивна і нейросенсорна втрата чутності, втрата чутності, що викликана шумом), коди МКХ – H93.1, H90, H83.3 відповідно.

Результати представлених в роботах досліджень знайшли своє втілення в ряд нормативних документів, в т.ч. міжнародних [10-12 та ін.].

Працівники по ремонту автошляхопроводів та масштабної розбудови інфраструктури на урбанізованих територіях знаходяться протягом 8-годинного робочого дня під впливом даних небезпечних факторів, тому визначення засобів захисту для гарантування їх безпечної праці є вкрай актуальним, особливо з врахуванням реалізації в даний час Проекту «Велике будівництво» в містах України.

Питання, яке має бути також розглянуто – чи знаходиться в існуючих межах нормативне значення виробничого ризику для працюючих на відкритому повітрі біля великих перехрестів та шляхопроводів.

**Аналіз останніх досліджень.** Значення виробничого ризику працюючих на відкритому повітрі

даної категорії в нормативних документах та наукових дослідженнях визначається окремо по кожному впливовому фактору.

Слід зазначити, що навіть при такому підході останніми роками спостерігається певне перевищення значень ризику.

Так, за стандартними методиками щодо визначення професійного ризику в залежності від роботи в умовах літніх значень температурних показників спостерігаються допустимі мікрокліматичні умови на стан праці, на відміну від оптимальних, згідно нормативного документу [13].

Вплив забруднення атмосферного повітря на значення ризику розглядається дослідниками, зазвичай, у взаємозв'язку з кліматичними умовами.

Так в роботі [14] було проведено математичне моделювання щодо значень дані канцерогенного та неканцерогенного ризиків для здоров'я від вторинного забруднення атмосфери викидами автомобільного транспорту в умовах сталості атмосфери. Розраховане перевищення значень ризику для здоров'я населення в цих дослідженнях для умов м. Києва склало 3-4 рази.

Дана методика може бути також застосована для працюючих автодорожньої галузі в частині хронічного впливу токсикантів внаслідок фотохімічних реакцій в атмосферному повітрі урбанізованих територій в залежності від температури, вологості та швидкості повітря на даній місцевості.

Питанню взаємозв'язку температурних умов та забруднення атмосферного повітря присвячені також роботи [15, 16], в яких на основі експериментальних та теоретичних досліджень доведено тенденцію підвищення значень виробничого ризику в умовах глобальних кліматичних змін.

Один з основних факторів впливу на безпеку працюючих - перевищення нормативного рівня шумового забруднення біля великих автомобільних розв'язок та шляхопроводів, що останнім часом спостерігається повсюдно в великих містах світу. Значення перевищень над нормативним рівнем по окремих точках фіксується як в окремих дослідженнях, так і в даних шумових карт по великих мегаполісах світу.

Так згідно даних U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, (середньозважений рівень шуму біля автотранспортних шляхопроводів протягом 2016-2018 років становив 80-89,9 дБА, що склало 3,4% перевищення нормативного значення для здоров'я населення, що перебуває в зоні дії шумового опромінення [17].

За даними джерела [18] в м. Москва рівень шумового опромінення біля авторозв'язок становить по середньодобовому значенні 79-80дБА, але за максимальним значенням вимірів (90-92дБА) відсоток перевищення нормативного значення становить 9,4%.

Побудована нещодавно шумова карта м. Пекін (Китай) зі шкалою шумового забруднення від 35дБ до 85дБ, біля основних автошляхопроводів має значення від 70 до 75 дБА [19].

Що стосується шумового рівня в містах України, то його рівень останніми роками поблизу вели-

ких автошляхопроводів зростає відповідно до зростання кількості автомобільного транспорту на дорогах.

Дослідження, які були проведені в 2017 році на центральних вулицях в м. Запоріжжя зафіксували відсоток перевищення шумового забруднення відносно нормативного рівня на 3,4% (88дБА) [20].

Аналіз зроблений в документі WHO [21] свідчить про те, що переважна більшість країн і відповідних регулюючих світових установ приймають 8-годинну зважену за часом межу опромінення для професійного шуму 85 дБА використовуючи швидкість обміну з інтенсивністю часу 3 дБ.

Щоб повністю виключити ризик будь-якої вимірної втрати слуху, викликаній шумом, у будь-якої людини, яка піддається впливу на аудіометричних частотах 0,5-6 кГц, був встановлений ліміт опромінення, що дорівнює 24-годинному еквіваленту безперервного рівня опромінення (LEQ) у 70дБА з інтенсивністю обміну часу 3 дБ.

Даний рівень має еквівалент 8-годинній експозиції LEQ 75дБА, але за умови середнього рівня шуму за решту годин доби, що не перевищує 60 дБА. При цьому зазначається, що 24-годинний LEQ ліміт 75 дБА призводить до надмірного ризику істотного погіршення слуху протягом 40 років менше ніж на 1% (тобто < 1 з 100 працівників впливу шумового опромінення на цьому рівні).

В International Standard ISO 1999:2013(E) зазначено, що загальноприйняту методику розрахунку порогу чутності від постійного шумового навантаження можна застосовувати також для працюючих на відкритому повітрі з врахуванням віку та професійного стажу [22].

Документ розроблений на основі аналізу статистичних даних та його застосування має імовірносний характер. На основі когортних досліджень у відібраних групах осіб, встановлюється абсолютний, додатковий (атрибутивний) і відносний ризику від впливу шумового забруднення від автомобільного транспорту при перебуванні працюючих протягом 8-годинного робочого дня.

В більшості європейських країн використовується на даний час Директива 2003/10/EC (2003), що визначає професійний ризик та встановлює ліміти для щоденних (протягом 8-годинного робочого дня) або щотижневих (тобто еквівалентний безперервний середній рівень шуму(дБА), що виміряний з використанням обмінного курсу 3 дБ і нормований на 8-годинний період впливу (LEX) протягом п'яти робочих днів протягом одного робочого тижня) меж опромінення для працюючих.

Цей нормативний документ не визначає ризик погіршення слуху щодо даних обмежень, однак, як і обмеження ACGIH і NIOSH, визначає пік меж впливу [23].

Прийнятими та застосованими для визначення виробничого ризику для працівників автодорожньої галузі є міжнародні нормативні документи [24-26]. В даних документах оцінку агрегованого ризику порушень серцево-судинної, нервової системи та органів слуху пропонується виконувати на основі рішення

системи рекурентних рівнянь, яка заснована на еволюційних математичних моделях розвитку впливу шумового опромінення, які засновані на динаміці спостережень цих ефектів на фоні природного старіння організму.

Аналіз літературних джерел щодо значення виробничого ризику для працюючих на відкритому повітрі дозволяє констатувати, що на сьогоднішній день сукупний вплив всіх факторів на його значення залишається недостатньо вивченим.

**Мета досліджень.** Визначення комплексного виробничого ризику за допомогою системної моделі для працюючих на відкритому повітрі при реконструкції автотранспортних шляхопроводів з урахуванням метеорологічних факторів, забруднення атмосферного повітря та хронічного впливу шуму від автотранспортних засобів

### Виклад основного матеріалу

Методи, що використовувалися в роботі включали методи обробки даних моніторингових досліджень за забрудненням атмосферного повітря та кліматичних даних місцевості.

Натурні дослідження для вимірювання шумового та забруднення для умов м. Києва були здійснені колиброваним шумоміром «Асистент».

Значення виробничого ризику для безпеки працюючих за різними небезпечними впливовими факторами визначалося за діючими національними та міжнародними нормативними документами [13, 26, 27].

Системну модель оцінки та класифікації виробничого ризику для даної категорії працюючих побудовано на основі комплексного синергетичного підходу, що є ієрархічною дворівневою і передбачає виконання двох основних операцій: формування множини альтернатив факторів впливу та порівняння,

вибір варіантів впливу на значення виробничого ризику.

На першому рівні ієрархії запропонована модель містить три самостійні підсистеми, що включають:

вплив метеорологічних показників атмосферного повітря (перша підсистема), значення шумового впливу (друга підсистема), хронічний вплив на працюючих перевищення показників забруднення повітря (третя підсистема).

Системна модель передбачає реалізацію аналізу та оцінку окремих процесів, елементів у підсистемах. Кожна підсистема характеризується своїм набором критеріїв та показників  $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ ;  $g_1, g_2, g_3, \dots, g_4$ ;  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ .

При реалізації першої підсистеми ієрархічної моделі можна використовувати ТНС-індекс (індекс теплового навантаження на навколишнє середовище) щодо інтегральної оцінки теплового навантаження середовища на робочих місцях для відкритих територій у теплу пору року.

Зазвичай індекс ТНС визначається за допомогою експертної оцінки.

Але при умовах попередньої оцінки виробничого ризику для працюючих з метою прийняття управлінських рішень на рівні організації можна скористатися величиною відносного відхилення від оптимальних значень температури, вологості та швидкості вітру.

За умов визначеного класу умов праці (III) та загальних енерговитрат більше 290 Вт, виділяємо такі класи ризиків згідно табл. 1. Значення виробничого ризику від сукупної дії шумового забруднення від автотранспортних засобів, які перебувають в цей час на автошляхопроводі визначається згідно нормативному документу [25].

Таблиця 1 – Категорія виробничого ризику в залежності від класу умов праці

Категорія професійного ризику	Клас умов праці згідно «Гігієнічної класифікації» [14]	Індекс ТНС для категорії робіт на відкритому майданчику для III категорії робіт
19,0-1 Низький (I)	Оптимальні умови праці	17,0 - 18,9
Допустимий(II)	Допустимі умови праці	19,0 - 21,8
Значний (III)	Шкідливі умови праці	21,9 – 27,9
Небезпечний (VI)	Небезпечні, екстремальні умови праці	Більше 27,9

На прикладі окремих показників забруднення атмосферного повітря урбанізованих територій за даними окремих стаціонарних постів спостережень в м. Києві та побудованих залежностей між основними компонентами забруднення та середньомісячними температурними умовами в м. Києві за даними спостережень Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б.Срезневського в розрізі 2013-2020 років спостережень, розроблена шкала класифікацій між кількісними показниками виробничого ризику та показниками забруднення атмосферного повітря.

Класи ризиків від забруднення атмосферного повітря представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Класи ризиків від забруднення атмосферного повітря

Категорія виробничого ризику	Межі виробничого ризику	Клас показників виробничого ризику
низький	< 1,0	I
допустимий (середній)	1,0-0	II
значний	10 - 100	III
небезпечний	>100	IV

Координуючий алгоритм прийняття рішень по всім підсистемам враховує значення виробничого ризику згідно формули

$$R' = \sum ai \cdot R'i, \quad (1)$$

де  $i = 1, 2, 3$ , а значення  $R'$  і  $R'i$  відповідно значення унітарного виробничого ризику від всіх впливових факторів на безпеку працюючих і значення виробничого ризику по кожному з блоку показників;  $ai$  – ваговий коефіцієнт впливу кожного фактору, що розглядається.

Значення вагових коефіцієнтів впливу від окремих факторів зовнішнього середовища при формуванні комплексного виробничого ризику визначалася на основі кореляційних залежностей між такими факторами на виробничому майданчику як температура атмосферного повітря, швидкість вітру та вологість повітря, шумове забруднення виробничого майданчика та хімічний вплив забруднення повітря.

Матриця ранжування включає роки аналізу статистичних спостережень та в якості критеріїв прийнято квадрат похибки поліноміальної залежності:

$$R' = f(X_1, X_2, X_3) \quad (2)$$

Вагові коефіцієнти визначалися згідно формули:

$$\lambda_i = r_i / \sum r_i$$

де  $i = 1, 2, 3$ ;

$$\sum R^2(X_1) = r_1, \sum R^2(X_2) = r_2, \sum R^2(X_3) = r_3. \quad (3)$$

Отримані вагові коефіцієнти основних факторів, які впливають на формування виробничого

ризик при інших рівних умовах для м. Києва дорівнюють відповідно:

$\lambda_1 = 0,36$  (метеофактори навколишнього середовища – температура, вологість, швидкість повітря);

$\lambda_2 = 0,2$  (постійне шумове забруднення від автотранспортних засобів);

$\lambda_3 = 0,44$  (забруднення атмосферного повітря).

Підсумкова класифікація виробничого ризику для працюючих на відкритому повітрі представлена в табл. 3.

Значення загального сукупного виробничого ризику, що було розраховано за запропонованою в роботі методикою представлено для двох рівнів шумового навантаження – середньо вимірних значень та максимальних вимірів для працюючих на відкритому повітрі 50-річних з 30-літнім професійним стажем.

Значення виробничого ризику в межах окремих підсистем для умов м. Києва представлено на діаграмі на рис. 1 – 3.

Рівень виробничого ризику за окремими напрямками впливу на здоров'я працюючого від шумового навантаження (ризик захворювання органів слуху, ризик захворювання серцево-судинної системи, ризик захворювання нервової системи) знаходяться в межах низького ( $R < 0,05$ ) та помірного ( $0,35 > R > 0,05$ ).

Але що стосується значення сукупного агрегованого ризику, то його значення незалежно від віку працюючого знаходиться в межах середнього (помірного) ризику, а у випадку працюючих за віком більше 50 років ризик кваліфікується, як високий.

Таблиця 3 – Класифікація сукупного виробничого ризику для категорії працюючих на відкритому повітрі

Категорії виробничого ризику	Значення ризику	Характеристика ризику
Низький	1,0 - 1,5	Не потребує проведення заходів по зниженню професійного ризику
Допустимий	1,6 - 2,0	Проведення заходів по захисту уразливих осіб
Шкідливий, в залежності від категорії умов праці	2,1 - 3,0	Потрібні заходи зі зниження ризику та встановлення термінів з їх зниження ( від визначених термінів до негайного зниження)
Небезпечний	3,1 - 4,0	Роботи проводяться за спеціальним регламентом

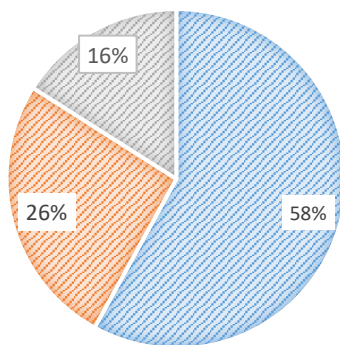


Рис. 1. Значень виробничого ризику в залежностях від ТНС-індексу на шляхопроводах м.Києва.  
58% - низький ризик; 26% - значний ризик;  
16% - допустимий ризик;

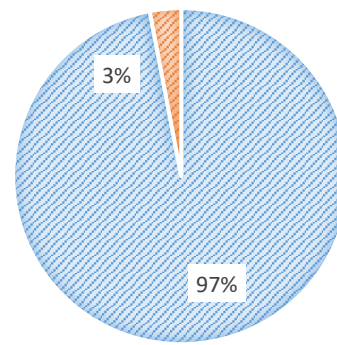
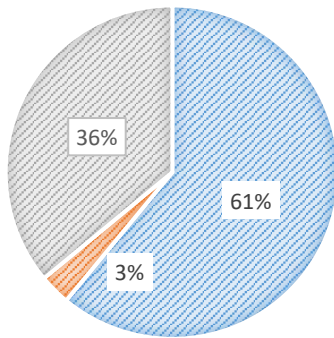


Рис. 2. Середнє значення розрахунку шумового забруднення;  
97% - шкідливий;  
3% - допустимий



**Рис. 3.** Розподіл для максимальних перехрестів та максимальних значеннях. 61% - небезпечний; 36% - шкідливий; 3% - помірний

Але що стосується значення сукупного агрегованого ризику, то його значення незалежно від віку працюючого знаходиться в межах середнього (помірного) ризику, а у випадку працюючих за віком більше 50 років ризик кваліфікується, як високий.

В даному випадку рекомендовано застосування заходів для організації постійного моніторингу шумового забруднення; заходи по зниженню шумового навантаження слід розробляти з врахуванням середньострокової та короткострокової перспективи (1-3 роки), а також щорічний перегляд значень виробничого ризику.

Що стосується третьої підсистеми щодо впливу забруднення атмосферного повітря на виробничий ризик, то її аналіз слід розглядати в розрізі конкретного місяця, оскільки значення ризику безпосередньо пов'язано із температурними факторами місцевості при сталих метеоумовах і певному значенні вологості. Статистична залежність між показниками вологості і температури при цьому має коефіцієнт кореляції, який дорівнює 0,9. Згідно проведених розрахунків, можна бачити, що для трьох самих спекотних місяців 2020 року виробничий ризик кваліфікувався як шкідливий. Значення вторинних забруднювачів (ми для прикладу розглядали неканцерогенний ризик від формальдегіду, як основного токсичного забруднювача повітря від автотранспортних засобів внаслідок фотохімічних перетворень в повітрі) перевищувало в ці місяці гранично допустимі концентрації в повітрі до 5-6 разів.

Згідно даних розрахунку можна зробити висновок, що для всіх великих автомобільних перехрестів в м. Києві, не спостерігається низького значення професійного ризику для працюючих по ремонту автошляхопроводів. Для всіх автошляхопроводів в місті, крім

розв'язки Проспект Перемоги - М. Василенко (м. Берестейська) при умові прийняття в розрахунках середнього значення вимірюного (або розрахованого) значення постійного шумового навантаження від автотранспортних засобів спостерігається допустимий (середній) рівень виробничого ризику для цієї категорії працюючих (в межах 1,6-2,0) та потребує від роботодавця проведення заходів по захисту уразливих осіб.

Що стосується максимальних вимірів постійного шумового навантаження, то на таких розв'язках, як:

вул. Богатирська - вул. Лугова - проспект Маршала Тимошенка,

вул. Електротехнічна - вул. Братиславська, вул. Щербаківського - вул. Стеценка; - вул. Маршала Гречка, вул. Шусева - вул. ОлениТеліги; - вул. Мельникова, проспект Броварський - вул. Братиславська (м. Чернігівська),

проспект Перемоги (м. Святошин), Бульвар Дружби Народів - Наддніпрянське шосе

та інших (всього 63 %) виробничий ризик знаходиться в межах допустимого. На 37% автомобільних перехрестях, які розглядалися в даному розділі, виробничий ризик кваліфікувався, як шкідливий зі значеннями в межах 2,1 – 3,0. Таке значення ризику потребує від роботодавця застосування заходів зі зниження ризику та встановлення термінів з їх зниження.

## Висновки

В даній статті представлено розроблену авторами методологію оцінки та прогнозування прийнятності виробничого ризику для працівників, що працюють на відкритому повітрі на урбанізованих територіях на основі системного підходу. При побудові моделі використовувався підхід який передбачає врахування всіх впливових факторів в умовах глобальних кліматичних змін. Модель складається з двох рівнів ієрархії та апробована прикладі великих автотранспортних розв'язок м. Києва для даних 2020 року, як одного з самих спекотних років за всю історію спостережень в місті. Проведені дослідження показали необхідність при визначенні виробничого ризику при виконанні дорожніх робіт врахування шумового забруднення від автотранспортних засобів на автошляхопроводі, хімічного забруднення повітря від викидів автотранспорту, підвищених температур в спекотні місяці року. Отримані результати дозволять удосконалити систему управління виробничими ризиками в питаннях проектування, будівництва та реконструкції урбанізованих територій та коректно визначати заходи щодо безпеки працівників.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Liao, T., Jiang, W., Ouyang, Z. et al. (2021). Evaluation of the health risk of air pollution in major Chinese cities using a risk-based, multi-pollutant air quality health index during 2014–2018. *Air Qual Atmos Health*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11869-021-01042-6>.
- Polishchuk S, Dotsenko L., Demidenko A. Estimation of the influence of meteorological factors on the state of atmospheric air pollution in the city of Dnipropetrovsk (on the example of formaldehyde). *Construction, materials science, machine building: Starodubsky Readings*, С. 266-270. 2015.
- Сіпаков Р., Волошкіна О., Березницька Ю., Клімова І. (2018). Оцінка ризику для здоров'я населення від викидів автомобільного транспорту у м. Києві. *Науково-технічний журнал «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування»*, №1(17), С. 14-20.

4. Conticini E., Frediani B., Caro D. Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy? Environmental Pollution, Volume 261p. 2020 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114465>.
5. Haralabidis A., Dimakopoulou K., Vigna-Taglianti F., Giampaolo M., Borgini A., Dudley M.-L., Pershagen G., Bluhm G., Houthuijs D., Babisch W., Velonakis M., Katsouyanni K., Jarap L. Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports. European Heart Journal, 2008 DOI: <https://kod-zdorovia.com.ua/article/29.html>.
6. Prasher, Environmental Noise and Health: The Latest Evidence – 2002 DOI: <https://www.noiseandhealth.org/article.asp?issn=1463-1741;year=2009;volume=11;issue=44;spage=151;epage=155;aulast=Prasher>
7. Haines M., Brentnall S., Stansfeld S., Klineberg E. Qualitative responses of children to environmental noise. Noise & Health, vol. 5, № 19, 19-30. 2003
8. Фридман К., Лим Т., Шусталов С. Концептуальная модель оценки и управления риском здоровью населения от транспортных загрязнений Гигиена и санитария. № 3. 20 - 25. 2021
9. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise - Declaration by the Commission in the Conciliation Committee on the Directive relating to the assessment and management of environmental noise DOI: <https://inlnk.ru/9P447k>
10. Planning Policy Guidance 24: Planning and Noise (PPG 24). London, 3. DOI: <https://inlnk.ru/BpBBN1> 1994.
11. ГОСТ Р ИСО 1999-2017 «Акустика. Оценка потери слуха вследствие позднейшего шума», (2018) DOI: <https://docs.cntd.ru/document/1200157242?marker=7E20KD>
12. ГН 3.3.5-8-6.6.1. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу (ГН 3.3.5-8-6.6.1 2002.), затверджено Наказом МОЗ України №528 (2001)
13. Sipakov R., Voloshkina O., Varavin D., Ampilova Y., Krivomaz T., Berezniiska J. Pollution of atmospheric air above the city highways. Journal, vol. 2, no. 4, 01–08. 2018.
14. Ковальова А., Кравченко М., Клімова І. Вплив підвищеної температури та забруднення атмосферного повітря міського середовища внаслідок кліматичних змін на здоров'я працівників соціальної. Вісник придніпровської державної академії будівництва і архітектури №2 (271-272). С.104-110. 2020.
15. Sciencewicki J. et al. Air Pollution and Respiratory Viral Infection. Inhalation Toxicology 19(14). P. 1135-1146. 2007.
16. 17.U.S.Department of Transportation. Bureau of Transportation Statistics. National Transport Noise Map 2020. DOI: <https://www.bts.gov/newsroom/under-quarter-population-exposed-office-type-transportation-noise>.
17. Семутникова Е. Шум мегаполиса. «ЭКО-Журнал». 2009. Веб-сайт.URL: [https://mosecom.mos.ru/wp-content/uploads/2018/02/City\\_noise.pdf](https://mosecom.mos.ru/wp-content/uploads/2018/02/City_noise.pdf)
18. Первая карта шума Пекина похожа на абстрактную картину. Газета "ЖЭНЬМИНЬ ЖИБАО" (2009) Воспроизведено с <http://russian.people.com.cn/31516/6765727.html>
19. 20 Kuris, O., Matyashcheva, K., Bielokon, G. Kozhemyakin Y. (2017) The research of motor transport influence on city noises safety of stable urbanized territories development. Безпека життєдіяльності. P. 183-188.
20. Neitzel R., Fligor B. (2017). Determination of risk of noise-induced hearing loss due to recreational sound: review WHO, 25. [https://www.who.int/pbd/deafness/Monograph\\_on\\_determination\\_of\\_risk\\_of\\_HL\\_due\\_to\\_exposure\\_to\\_recreational\\_sounds.pdf](https://www.who.int/pbd/deafness/Monograph_on_determination_of_risk_of_HL_due_to_exposure_to_recreational_sounds.pdf)
21. International Standart ISO 1999:2013(E) Acoustics — Estimation of noise-induced hearing loss. DOI: <https://www.iso.org/ru/standard/45103.html>
22. Директива 2003/10/EC – Шум (2006). Веб-сайт. URL: <https://www.cejn.com/guides-support/standards--legislations/safety-standards/directive-200310ec---noise/>
23. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise - Declaration by the Commission in the Conciliation Committee on the Directive relating to the assessment and management of environmental noise.
24. Planning Policy Guidance 24: Planning and Noise (PPG 24). London, 3 (1994).
25. Онищенко Г., Аксенова О, Гуськов А., Черненко С. (2012). Методические рекомендации МР 2.1.10.0059-12. Оценка риска для здоровья населения от воздействия транспортного шума, Москва, 40.
26. Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря», затверджено Наказом МОЗ України 13.04.2007 №184, К.- 40с.
27. О.С.Волошкіна, А.В. Ковальова, Системи управління, навігації та зв'язку: фах. журн. / засн. Національний університет Полтавська політехніка ім.Ю.Кондратюка. Полтава, 2021 – щоквартальне видання –3(65) С 118-122.

Received (Надійшла) 23.12.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 02.03.2022

#### Assessment and classification of occupational risk for safety of workers during the reconstruction of roads on the example of Kyiv

A. Kovalova

**Abstract.** The paper identifies a complex production risk using a system model for outdoor workers air pollution and chronic noise from vehicles. The methodology of the system approach to definition of professional risk on the basis of hierarchical two-level system mathematical model which considers all laws of influence of the basic dangerous factors is offered. A qualification scale has been proposed to assess occupational risk to the health of workers. It is determined that the value of risk to the health of workers when performing road works can not be obtained on the basis of existing regulations, take into account the risk of constant noise load from vehicles on overpasses, which is further exacerbated by temperature effects in the warmer months of the year. A systematic mathematical model for estimating and classifying the value of industrial risk for workers in the open air has been developed, which takes into account all the patterns of influence of the main dangerous factors of urban pollution and tested it for the conditions of Kyiv. The results of the work are relevant for improving the safety management of workers when performing road works due to the comprehensive consideration of all harmful factors in the assessment of industrial risk.

**Keywords:** industrial risk, automobile overpasses, system model, heat load index, influence of noise pollution, air substance.

О. В. Панова<sup>1</sup>, В. Ф. Фролов<sup>1</sup>, Л. О. Левченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

<sup>2</sup> Національний технічний університет України "КПІ імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна

## МОНІТОРИНГ НИЗЬКОЧАСТОТНОГО ЗВУКОВОГО ТА ІНФРАЗВУКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВИРОБНИЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ ТА ЗАСОБИ ЙОГО ЗНИЖЕННЯ

**Анотація.** Проведено моніторинг низькочастотного звуку та інфразвуку на території міста у октавних смугах частот. Показано, що рівні цього чинника перевищують гранично допустимі значення у автомобільному та міському електричному транспорті. Ненормативні значення інфразвуку спостерігаються поблизу залізничного полотна. Виконано аналіз можливих підходів до зниження рівнів низькочастотного звуку та інфразвуку принаймні усередині будівель. Показано переваги та недоліки резонансних та мембранних панелей для поглинання низькочастотних пружних хвиль. Наведено розрахунковий апарат для визначення поглинальних властивостей конструкцій. Доведено, що для ефективного захисту конструкції повинно налаштуватися на мінімальні пікові частоти, що забезпечує поглинання хвиль вищих кратних ним частот. Запропоновано двошарову конструкцію, налаштовану на дві найбільш критичні звуки та інфразвукові частоти. Додаткове заповнення проміжку між ними та проміжку між конструкцією та поверхнею монтажу (стіна, стеля) стандартним шумопоглинальним матеріалом дозволяє підвищити загальний шумозахист. Надано розрахунок перфорованої шумозахисної панелі, яка застосовується у разі одного суттєвого піку у низькочастотній або інфразвуковій області. Така панель є ефективною, починаючи з частот 100–150 Гц. Запропоновано можливість одночасного зниження рівнів електромагнітних полів. Це досягається за рахунок додавання у проміжний шумопоглинальний матеріал металовмісної субстанції. Це може забезпечуватися застосуванням дрібнодисперсного концентрату залізної руди, який добре імплантується у будь-який матеріал і має низьку вартість. Показана можливість покриття жорстких елементів звукозахисної конструкції спеціальною фарбою для екранування електромагнітних полів широкого частотного діапазону. Це забезпечить захист людей від двох найбільш критичних техногенних фізичних чинників.

**Ключові слова:** звук, інфразвук, резонансна частота, панель, звукопоглинальний апарат.

### Вступ

На сьогоднішній день захисту людей від впливу шуму у виробничих та побутових умовах приділяється багато уваги. Параметри та засоби захисту від акустичних впливів регламентуються загальними будівельними нормами захисту територій, будинків і споруд від шуму, зокрема, проектування засобів звукопоглинання та екранування. Рівні шуму, ультразвуку та інфразвуку у виробничих умовах регламентуються санітарними нормами [1]. Але більшість досліджень щодо визначення фактичних рівнів шумового навантаження стосуються частотних смуг звуку до яких найбільш чутливе людське вухо – 6-8 кГц. Відповідно, засоби захисту також розробляються найбільшою ефективністю на таких частотах. При цьому низькочастотному шуму – 20-500 Гц майже не приділяється уваги. Це ж стосується інфразвукових частот, які не сприймаються органами чуттів, але шкідливі для людського організму. В той же час спостерігається тенденція підвищення амплітудних значень низькочастотних звукових та інфразвукових хвиль у довкіллі та виробничому середовищі. Але найефективніші захисні конструкції, наприклад, у смугах 31,5 та 63 Гц забезпечують індекси зниження шуму 5-15 дБ, що у багатьох випадках є недостатнім. Значною мірою це пояснюється браком достовірних систематизованих даних щодо низькочастотного акустичного фону у відкритому просторі та у виробничому середовищі, а також амплітуд інфразвукових коливань. Наявність таких даних надасть можливість визначити підходи та розробити засоби, захисту від цих фізичних впливів.

**Огляд літературних джерел.** Більшість досліджень щодо зниження впливу на людей низькочастотного звуку та інфразвуку стосуються профілактичних заходів, тобто за рахунок застосування біологічно

активних речовин. Розгляд засобів захисту звичайно або межується констатацією проблеми [2], або моніторингом звукового та інфразвукового навантаження та довкілля або виробниче середовище [3]. У наведених роботах надано багато фактичного матеріалу (натурні вимірювання) та їх методики, але не наведено ефективності засобів або принципів їх розроблення.

У статті [4] представлено засіб захисту від впливу інфразвуку, але це звичайна панель Бекеші без будь-яких змін. Її недоліком є налаштування на резонансну частоту. В той же час коливання зі значними амплітудами можуть спостерігатися на кількох частотах, що є типовим для виробничих умов. Засоби захисту у цьому випадку повинні бути дещо іншими, або просто широкосмуговими. Для розроблення таких засобів необхідно мати достовірні дані щодо низькочастотного звуку та інфразвуку з боку діючого обладнання, транспортних засобів, електротехнічних об'єктів тощо.

**Метою роботи** є визначення джерел низькочастотного звуку та інфразвуку критичних амплітуд та розроблення засад проектування засобів захисту від їх впливу.

### Викладення основного матеріалу

Дослідження виконувалися із застосуванням натурних вимірювань. Вимірювання здійснювалися за допомогою каліброваного шумоміра Октава 110А у режимах «Звук» та «Інфразвук». У процесі досліджень оцінювалася критичність низькочастотного звуку та інфразвуку, генерованого різними джерелами та найбільш вагомі частоти (амплітудні значення). На першому етапі вимірювалися фонові рівні низькочастотного звуку та інфразвуку на території міста на великих відстанях від потенційних джерел шуму (табл. 1). Вимірювання до частоти 16 Гц здійснювалися за шкалою «Лін», 25 Гц і вище – «А». На наступ-