

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Міжнародні стандарти та рекомендована практика. Додаток 19 до Конвенції про Міжнародну цивільну авіацію. УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ПОЛ'ЮТИВ. Видання 1-е, липень 2013 р., ICAO, Canada. – 44 с.
2. Ревук, О. Г. Синтез критеріальних основ побудови ефективної системи управління охороною праці реального часу [Текст] / О.Г. Ревук, В.Д. Гулевець, Т.Н. Яворська //Збірник матеріалів II Всеукраїнської науково-практичної конференції, Київ : Держнаглядокхоронпраці, 1997.– с. 56-58
3. Гігієна та екологія: Підручник [Текст] / За редакцією В. Г. Бардова. — Вінниця: Нова Книга, 2006. – С. 259-276.
4. Сетко, А. Г. Оценка риска при мониторинге производственной среды [Текст] / В. М. Боев, Н. Н. Верещагин, Е. В. Ивженко, С. С. Макшанцев, А. Г. Сетко // Сборник трудов Федерального научного центра гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана под ред. академ. РАМН А. И. Потапова. — Н. Новгород, 2004. — С. 107—109.
5. Людський чинник в авіації. Безпека авіації [Текст] / В.П. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін.; за ред. В.П. Бабака. – Київ : Техніка, — 2004. – С. 121-141.
6. Гнеденко, Б. В. Курс теории вероятностей [Текст] / Б. В. Гнеденко. – М.: «Наука», 1988. – 446 с.
7. Бююль, А. SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей [Текст] / А. Бююль, П. Цёфель – СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2002.— 603 с.

REFERENCES

1. *Mizhnarodni standarty ta rekomendovana praktyka. Dodatok 19 do Konventsiyi pro Mizhnarodnu tsyvil'nu aviatsiyu. UPRAVLINNYA BEZPEKOYu POL'OTIV* [International standards and recommended practices. Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation. Safety Management]. ICAO, Canada, issue 1, 44 p. (in Ukrainian).
2. Revuk O.G., Hulevets' V.D. and Yavors'ka T.N. *SynteZ kryterial'nykh osnov pobudovy efektyvnoyi systemy upravlinnya okhoro-noyu pratsi real'noho chasu* [Synthesis criterion foundations of an effective safety management in real time]. *Zbirnyk materialiv II Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi* [Proceedings of II All-Ukrainian Scientific Conference]. Kyiv : Derzhnahl'yadokhoronpratsi, 1997, pp 56-58. (in Ukrainian).
3. Bardov V.H. *Hihiyena ta ekolohiya: Pidruchnyk* [Hygiene and Ecology: Textbook]. Vinnytsya : Nova Knyha, 2006, pp. 259-276. (in Ukrainian).
4. Boev V. M., Vereshchahyn N. N., Yvzhenko E. V., Makshantsev S. S. and Setko A. H. *Otsenka riska pri monitoringe pro-izvodstvennoy sredy* [Risk assessment for monitoring the working environment]. *Sbornik trudov Federal'nogo nauchnogo tsentra gihieny im. F. F. Erismana pod red. akadem. RAMN A. I. Potapova* [Collection of the Federal Scientific Center for Hygiene works them. FF Erisman ed. acad. A.I. Potapov]. Nizhniy Novgorod, 2004, pp. 107-109. (in Russian).
5. Babak V.P. *Lyuds'kyy chynnyk v aviatsiyi. Bezpeka aviatsiyi* [Human factor in aviation. Aviation safety]. Kyiv : Tekhnika, 2004, pp. 121-141. (in Ukrainian).
6. Gnedenko B. V. *Kurs teorii veroyatnostey* [The course in probability theory]. Moscow: Nauka, 1988, 446 p. (in Russian).
7. Byuyul A. *SPSS: Iskusstvo obrabotki informatsii. Analiz statisticheskikh dannykh i vosstanovlenie skrytykh zako-nomernostey* [Art information processing. Analysis of statistical data and restore hidden patterns]. Sankt-Peterburg: ООО «DiaSoftYuP», 2002, 603 p. (in Russian).

Статья поступила в редколлегию 15.09.2016

УДК 656.259.2

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ПЕРЕВИЩЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЯМИ ЗАБРУДНЕНЬ АТМОСФЕРИ ГРАНИЧНО ДОПУСТИМИХ ВЕЛИЧИН

ДЕМИДЕНКО А.С. ^{1*}, асп.

ФАЛЬКО В. В. ^{2*}, к.т.н.

ПОЛЩУК С. З. ^{3*}, д.т.н, проф.

ПОЛЩУК А.В. ⁴, к.т.н., доц.

ЗІНЧЕНКО В. Ю. ^{5*}, інж.

^{1*} Кафедра гідрометеорології та геоєкології, Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, 49010, Україна. e-mail: uta.art@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2279-2569

^{2*} Кафедра прикладної екології, Сумський державний університет, вул. Р.-Корсакова, 2, 40007, Суми, Україна, тел.+38(0542) 33-12-05, ; e-mail vera_falko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0011-0012-0013

^{3*} Кафедра опалення, вентиляції та якості повітряного середовища, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38(0562) 47-02-98, e-mail: psz@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6473-253X

^{4*} Державний вищий навчальний заклад Український державний хіміко-технологічний університет, пр.Гагаріна, 8, 49000, Дніпро, Україна, тел.+38 (0562) 47-24-64, e-mail: polalvik@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2488-8900

^{5*} Сумська торгово-промислова палата, вул.Лллінської, 7а, 40030, Суми, Україна, тел.+38(0542) 77-07-67; e-mail zvonok.60vz@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5162-214X

Анотація. Мета. Дослідження екологічного ризику від сумісної короткострокової і довгострокової дій на людину антропогенного забруднення атмосферного повітря хімічними речовинами і пилом. **Методика.** Для контролю і управління якістю атмосферного повітря, як основні нормативні показники, що визначають допустиму дію забруднення атмосферного повітря на людину, в Україні прийняті гранично допустимі концентрації атмосферних забруднень хімічного, біологічного і фізичного походження. Запобігання появи короткострокових підвищень концентрацій C_j j -х забруднювачів забезпечується дотриманням максимальних разових гранично допустимих концентрацій (ГДК_{МРj}). Запобігання несприятливого впливу на здоров'я населення при тривалому надходженні атмосферних забруднювачів з середніми концентраціями $C_{СДj}$ у організм людини забезпечується дотриманням середньодобових гранично допустимих концентрацій (ГДК_{СДj}). Тоді для населених місць повинні виконуватися умови відсутності перевищення концентраціями C_j і $C_{СДj}$ своїх ГДК_{МРj} і ГДК_{СДj}. Дотримуючись стохастичного підходу, концентрації C_j , $j = \overline{1, n}$ і $C_{СДj}$, $j = \overline{1, n}$ сумісно розглянуто як векторне випадкове поле, що у заданій точці місцевості А перетворюється в систему (вектор) випадкових концентрацій. При цьому розглянуті умови відсутності перевищень ГДК_{МРj}, ГДК_{СДj} будуть мати випадковий характер і існує ймовірність α їх не виконання. Цією ймовірністю оцінюється шуканий екологічний ризик, що визначається з використанням методів математичної статистики, теорії ймовірностей і теорії надійності технічних систем. **Результати.** Виходячи з того, що короткострокові підйоми концентрацій C_j , $j = \overline{1, n}$ n забруднювачів і тривалі надходження забруднень з середньодобовими концентраціями $C_{СДj}$, $j = \overline{1, n}$ у заданій точці місцевості представлені як система (вектор) випадкових величин, шуканий екологічний ризик α перевищення концентраціями своїх ГДК_{МРj} і ГДК_{СДj} визначено через відомий інтеграл ймовірностей з відповідними межами інтегрування. Для його обчислення потрібна розробка методів визначення щільності f розподілу концентрацій C_j , $C_{СДj}$, яка є підінтегральною функцією. Враховуючи природу і велику кількість випадкових факторів, що викликають випадкові зміни концентрацій забруднювачів, відповідно граничній теоремі теорії ймовірностей, щільності f наближено розглянута як така, що має відомий у теорії ймовірностей багатовимірний нормальний закон. Тоді для визначення щільності f достатньо знати її числові характеристики – математичні сподівання, середньоквадратичні відхилення – концентрацій і коефіцієнти кореляції між ними. Вони отримуються у результаті статистичної обробки даних вимірів на стаціонарних постах Гідромету промислових міст, що проводяться відповідно діючому в Україні нормативному документу РД 52. 04. 186-89. При великій кількості вимірів ризик α оцінюється також за частотою появи перевищень концентраціями своїх ГДК_{МРj}, ГДК_{СДj}. Для аналізу впливу концентрацій забруднювачів на ризик α виконана його декомпозиція на окремі частки: $\alpha_{МР}$ і $\alpha_{СД}$ – часткові ризики тільки від усіх концентрацій C_j , і тільки від усіх концентрацій $C_{СДj}$; $\alpha_{МРj}$ і $\alpha_{СДj}$ – часткові ризики тільки від окремої концентрації C_j і тільки від окремої концентрації $C_{СДj}$. **Наукова новизна.** На базі стохастичного підходу до оцінки якості атмосферного повітря у населених місцях вперше отримана оцінка екологічного ризику випадкових перевищень максимальними разовими і середньодобовими концентраціями забруднюючих речовин своїх гранично допустимих концентрацій (ГДК_{МРj}, ГДК_{СДj}), які прийняті в Україні як нормативні. **Практична значимість.** Оцінку екологічного ризику рекомендовано проводити на базі даних вимірів на стаціонарних постах Гідромету у промислових місцях, з метою прийняття рішень для високонадійного досягнення необхідної якості атмосферного повітря за критеріями ГДК_{МРj}, ГДК_{СДj}.

Ключові слова: атмосферне повітря, забруднення, гранично допустимі концентрації, екологічний ризик, оцінка

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПРЕВЫШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ АТМОСФЕРЫ ГРАНИЧНО ДОПУСТИМЫХ ВЕЛИЧИН

ДЕМИДЕНКО А.С. ^{1*}, асп.

ФАЛЬКО В. В. ^{2*}, к.т.н.

ПОЛИЩУК С. З. ^{3*}, д.т.н, проф.,

ПОЛИЩУК А.В. ^{4*}, к. т. н., доц.

ЗИНЧЕНКО В. Ю. ^{5*}, інж.

^{1*} Кафедра гидрометеорологии и геоэкологии, Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара пр. Гагарина, 72, г. Днепр, 49010, Украина, e-mail: uta.art@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2279-2569

^{2*} Кафедра прикладной экологии, Сумский государственный университет, ул. Р.-Корсакова, 2, 40007, Сумы, Украина, +38(0542) 33-12-05, e-mail vera_falko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-5548-3933

^{3*} Кафедра отопления, вентиляции и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail psz@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6473-253X

^{4*} Державний вищий навчальний заклад Український державний хіміко-технологічний університет, пр.Гагаріна, 8, 49000, Дніпро, Україна, тел.+38 (0562) 47-24-64, e-mail: polalvik@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2488-8900

^{5*} Сумская торгово-промышленная палата, ул. Ильинская, 7а, 40030, Сумы, Украина, тел.+38(0542) 77-07-67+38(0542) 62-58-80, e-mail zvонok.60vz@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5162-214X

Аннотация. Цель. Исследование экологического риска от совместного краткосрочного и долгосрочного действия на человека антропогенного загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами и пылью. **Методика.** Для контроля и управления качеством атмосферного воздуха в качестве основных нормативных показателей, которые определяют допустимое действие загрязнения атмосферного воздуха на человека, в Украине приняты предельно допустимые концентрации атмосферных загрязнений химического, биологического и физического происхождения. Предотвращение появления краткосрочных повышений концентраций C_j j -х загрязнителей обеспечивается соблюдением значений максимальных разовых предельно допустимых концентраций (ПДК_{МРj}). Предотвращение неприемлемого влияния на здоровье населения при длительном поступлении атмосферных загрязнителей со средними концентрациями C_{CCj} в организм человека обеспечивается соблюдением среднесуточных предельно допустимых концентраций (ПДК_{ССj}). Тогда для населенных мест должны выполняться условия отсутствия превышения концентрациями C_j и C_{CCj} своих ПДК_{МРj} и ПДК_{ССj}. Придерживаясь стохастического подхода, концентрации C_j , $j = \overline{1, n}$ и C_{CCj} , $j = \overline{1, n}$ совместно представлены в виде векторного случайного поля, которое в заданной точке А местности превращается в систему (вектор) случайных концентраций. При этом рассмотренные условия отсутствия превышений ПДК_{МРj} и ПДК_{ССj} будут иметь случайный характер и существует вероятность α их невыполнения. Этой вероятностью оценивается искомый экологический риск на основе методов математической статистики, теории вероятностей и теории надежности технических систем. **Результаты.** Исходя из того, что краткосрочные превышения концентраций C_j , $j = \overline{1, n}$ n загрязнителей и длительное поступление загрязнений со среднесуточными концентрациями C_{CCj} , $j = \overline{1, n}$ представлено в заданной точке местности как система (вектор) случайных величин, искомый экологический риск α превышения концентрациями своих ПДК_{МРj} и ПДК_{ССj} определен через известный многомерный интеграл вероятностей с соответствующими границами интегрирования. Для его вычисления необходима разработка методов определения плотности f распределения концентраций C_j , C_{CCj} , которая является подынтегральной функцией. Учитывая природные и большое число случайных факторов, которые вызывают случайные изменения концентраций загрязнителей, в соответствии с предельной теоремой теории вероятностей плотность f приблизительно представлена в виде многомерного нормального закона. Тогда для определения плотности f достаточно ее числовые характеристики – математические ожидания концентраций и коэффициенты корреляций между ними. Они получаются в результате статистической обработки данных измерений на стационарных постах Гидромета промышленных городов, которые проводятся в Украине в соответствии с нормативным документом РД 52.04.186-89. При большом числе измерений риск α оценивается также по частоте превышениями своих ПДК_{МРj}, ПДК_{ССj}. Для анализа влияния концентраций загрязнителей на риск α выполнена его декомпозиция на отдельные части: α_{MP} и α_{CC} – частные риски только от всех концентраций C_j и только от всех концентраций C_{CCj} ; α_{MPj} и α_{CCj} – частные риски только от отдельной концентрации C_j и только отдельной концентрации C_{CCj} . **Научная новизна.** На основании стохастического подхода к оценке качества атмосферного воздуха в населенных местах впервые получена оценка экологического риска случайных превышений максимально разовыми C_j , $j = \overline{1, n}$ и среднесуточными C_{CCj} концентрациями загрязняющих веществ своих предельно допустимых концентраций (ПДК_{МРj}, ПДК_{ССj}), которые приняты в Украине в качестве нормативных. **Практическая значимость.** Полученную оценку риска рекомендовано использовать на основании данных измерений, которые проводятся на стационарных постах Гидромета в промышленных городах, с целью принятия решений для высоконадежного достижения качества атмосферного воздуха по критериям ПДК_{МРj}, ПДК_{ССj}.

Ключевые слова: атмосферный воздух; загрязнение; предельно допустимые концентрации, экологический риск, оценка

ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT OF AIR POLLUTANTS ADMISSIBLE CONCENTRATION LIMITS EXCESS

DEMIDENKO A. ^{1*}, *pg.*

FALCO V. ^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.)*

POLISHCHUK S. ^{3*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

POLISHUK A. ^{3*}, *Cand. Sc. (Tech)*

ZINCHENKO V. ^{4*},

^{1*} Department of Hydrometeorology and Environmental Geoscience, Dnepropetrovsk Oles Gonchar National University, Gagarin ave., 72, Dnepro, 49010, Ukraine, e-mail: uta.art@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2279-2569

^{2*} Sumy State University, R.-Korsakova str., 2, 40007, Sumy, Ukraine, +38(0542) 33-12-05, e-mail vera_falko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-5548-3933

^{3*} Department of Heating, Ventilation and Air Protection, Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevs'kogo str., 24-a, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, e-mail psz@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6473-253X

^{4*} State higher educational establishment the Ukrainian state chemical-technological university, pr.Dzerzhinskogo, 8, Dnepropetrovsk 49000, Ukraine, phone + 38 (0562) 47-24-64, e-mail: polalvik@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2488-8900

^{5*} Sumy Regional State Administration, Nezavisimosti sq., 2, 40030, Sumy, Ukraine,

+38(0542) 62-58-80, e-mail zvonok.60vz@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5162-214X

Abstract. Purpose. Survey of ecological risks from short- and long-term effect on human of anthropogenic chemicals and dust pollution. **Methodology.** Control and management of air quality needs determination of standard indicators stating admissible effect of polluted air on human. Air pollution maximum allowable concentrations of chemical, biological and physical origin are adopted in Ukraine. Adherence to values of maximum onetime admissible concentration limits makes possible to prevent from pollutants concentrations short-time rises. Continuing intake of air pollutants with medium values unacceptably affects human health. Control of average daily admissible concentration limits adversely affects health impact. Therefore a condition when short-time raised pollutants concentrations and medium values of air pollutants exceed their maximum onetime admissible concentration limits and average daily admissible concentration limits should be met for populated areas. Under the stochastic method, short-time raised pollutants concentrations and medium values of air pollutants are introduced as vectorial random field. In the given point A of the area it is developed into the system (vector) of random concentrations. Thus, considered conditions of maximum onetime admissible concentration limits and average daily admissible concentration limits are of a random character. A probability of its inobservance is available. Based on the mathematical statistics method, probability and technical systems reliability theories, the probability assesses an ecological risk of interest. **Findings.** Under the condition short-time raised pollutants concentrations and continuing intake of air pollutants with medium values are introduced as a system (vector) of random concentrations, a considered ecological risk of maximum onetime admissible concentration limits and average daily admissible concentration limits excess is determined through an acquainted multidimensional integral of probabilities with correspondent integration limits. Elaboration of methods for short-time raised pollutants concentrations and medium values density determination, that, in fact, is an integrand, contributes to the risk calculation. Considering natural and random factors, causing pollutants concentrations random changes and in correspondence to probability limit theorem, a density is introduced approximately as multivariate normal case. Under such conditions, density determination needs just its numerical characteristics as concentrations mathematic expectations and their correlation coefficients. They could be obtained as the result of statistic data processing on HydroMet fixed monitoring stations in industrial cities, having been conducted in Ukraine in accordance to the normative document RD 52. 04. 186-89. Sufficient measurement quantity a risk is also assessed according to exceedance frequency of maximum onetime admissible concentration limits and average daily admissible concentration limits. For an analysis of pollutants concentrations effect it was decomposed into separate parts: separate risks only from all of short-time raised pollutants concentrations and only from all average daily admissible concentration limits; separate risks from a separate short-time raised pollutants concentration and an average daily admissible concentration limit. **Originality.** Applied stochastic method for air quality assessment at populated areas helped for the first time to obtain an ecological risk assessment for random excesses of maximum onetime admissible concentration limits and average daily admissible concentration limits of their maximum onetime admissible concentration limits and average daily admissible concentration limits, adopted as normative in Ukraine. **Practical value.** Applied risk assessment is recommended to use based on the measurements data from HydroMet fixed monitoring stations in industrial cities. It should be aimed at decisions taking for obtaining high air quality according to the maximum onetime admissible concentration limits and average daily admissible concentration limits.

Key words: air; pollution; admissible concentration limits; ecological risk; assessment.

Вступ

Екологічний ризик, концепція його оцінки і управління ним є новим напрямом у вирішенні проблеми екологічної безпеки територій, що прийнятий практично у всіх країнах світу [1, 2, 5, 6 – 9, 12, 13]. Це пов'язано з тим, що ризик є ймовірністю і дозволяє, як критерій, інтегрально об'єднати вплив чинників різної природи на екологічну безпеку.

Досягнення малої величини екологічного ризику високонадійно забезпечує екологічну безпеку і створює передумови для стійкого розвитку територій.

З огляду на це і дотримуючись системного статистичного підходу у монографії [11] властивість біологічної системи протистояти антропогенному впливу і зберігати у нормі свої природні функції характеризується системою (вектором) випадкових величин Y – узагальненою захищеністю біологічної системи від антропогенного впливу. Аналогічно, сумарний антропогенний вплив на біологічну систему у заданій точці A місцевості характеризується системою випадкових величин X . Тоді показник перевищення X над Y (ймовірність $\alpha = P(X > Y)$) розглянуто як ризик біологічної системи виконувати наділені природою функції при антропогенному впливі, або як екологічний ризик, що викликаний антропогенним впливом.

Такий підхід розвинений для випадку часткового антропогенного впливу на людину від забруднення

атмосферного повітря хімічними речовинами і пилом. При цьому розглянута узагальнена захищеність Y тільки для короткострокового часу дії забруднення, що відповідно діючому в Україні нормативу характеризується максимальними разовими гранично допустимими концентраціями (ГДК_{МР}). Забруднення атмосферного повітря хімічними речовинами і пилом характеризується векторним випадковим полем концентрацій забруднювачів, яке у заданій точці A місцевості перетворюється в систему (вектор) випадкових концентрацій. Для такого випадку розроблені математичні моделі і методологія оцінки часткового екологічного ризику, та намічені шляхи управління ним за допомогою вибору проектних параметрів джерел викидів [3, 4, 11].

Але сумісний екологічний ризик для короткострокової і довгострокової дії забруднення атмосфери на людину, яка розширює систему концентрацій X і систему Y допустимих концентрацій, не досліджувалася.

Мета

Метою даної роботи є дослідження екологічного ризику від сумісної короткострокової і довгострокової дії на людину антропогенного забруднення атмосферного повітря хімічними речовинами і пилом.

Методика

Відомо, що для контролю і управління якістю атмосферного повітря, як основні нормативні показники, що визначають допустиму дію забруднення атмосферного повітря на людину, в Україні прийняті гранично допустимі концентрації атмосферних забруднень хімічного, біологічного і фізичного походження.

Запобіганню появи запахів, дратівливої дії та рефлекторних реакцій у населення, а також гострого впливу атмосферних забруднень на здоров'я у період короткострокових підйомів концентрацій забезпечується дотриманням максимальних разових гранично допустимих концентрацій (ГДК_{МРj}). Запобіганню несприятливого впливу на здоров'я населення при тривалому надходженні атмосферних забруднювачів у організм забезпечується дотриманням середньодобових гранично допустимих концентрацій (ГДК_{СДj}).

Відповідно Закону України «Про охорону атмосферного повітря» гігієнічні нормативи ГДК атмосферних забруднювачів є основою регулювання якості атмосферного повітря населених місць. Досягнення цих показників дає можливість забезпечити відсутність впливу забруднення атмосфери на людину. З огляду на це, будемо розглядати їх як такі, що характеризують складову узагальненої захищеності людини *У* від короткострокового і довгострокового забруднень атмосфери небезпечними хімічними речовинами і пилом.

Тоді для населених місць повинні виконуватися умови відсутності перевищення концентраціями *j*-х забруднень своїх ГДК_{МРj} і ГДК_{СДj}, тобто повинні виконуватися умови

$$ГДК_{МРj} - C_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

$$ГДК_{СДj} - C_{СДj} \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де *C_j* – концентрація *j*-ї забруднюючої речовини (ЗР) при короткостроковій дії, *C_{СДj}* – середньодобова концентрація *j*-ї ЗР, *n* – кількість ЗР.

За діючим нормативним підходом для будь-якої ЗР не виконання відповідної із умов (1), (2) є однозначним (детермінованим) і не допускається.

Тоді, дотримуючись стохастичного підходу [11] концентрації *C_j*, *j = 1, n* і *C_{СДj}*, *j = 1, n* сумісно будемо розглядати як векторне випадкове поле, яке у заданій довільній точці місцевості *A* перетворюється в систему (вектор) випадкових концентрацій

$$(C_{j=1}, \dots, C_{j=n}, C_{СДj=1}, \dots, C_{СДj=n}). \quad (3)$$

Тоді умови (1), (2) відповідно дійсності будуть мати випадковий характер і існує ймовірність їх не виконання, якою і будемо оцінювати екологічний ризик.

Результати

Як і у [11], скористаємося тим, що в теорії надійності технічних систем такі умови називають умовами працездатності. Величини ГДК_{МРj}, ГДК_{СДj} – як узагальнена міцність або несуча здібність (для людини у нашому випадку – це нормативна природна захищеність лю-

дини від забруднення атмосфери), величини *C_{МРj}*, *C_{СДj}* – як узагальнене навантаження (для людини – навантаження від антропогенного забруднення атмосфери).

Тоді відсутність впливу забруднення атмосфери на людину необхідно визначати як ймовірність виконання усієї системою умов (1), (2)

$$P = \text{Вер} \begin{cases} ГДК_{МРj} - C_{МРj} \geq 0, \\ ГДК_{СДj} - C_{СДj} \geq 0, \quad j = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (4)$$

Вона характеризує надійність забезпечення відсутності впливу забруднення атмосфери на людину. За визначенням, ймовірність протилежного явища (тобто не виконання умов (3)) визначає екологічний ризик $\alpha = 1 - P$.

Визначення ймовірності (3) потребує розробки методів визначення багатомірної кількості розподілу концентрацій *C_{МРj}*, *C_{СДj}*, *j = 1, n*

$$f(C_{МР1}, \dots, C_{МРn}, C_{СД1}, \dots, C_{СДn}) \quad (5)$$

і розрахунку ймовірності знаходження щільності у заданій області, що визначається умовами (4) у фігурній скобці.

При визначенні розглянутого екологічного ризику багатовимірну щільність розподілу концентрацій для прогнозної (розрахункової) оцінки визначають на підставі теоретичних передумов, а дослідної на підставі статистичної обробки виміряних (дослідних) даних.

При відомій щільності *f* розподілу концентрацій сумарний екологічний ризик від короткострокового і довгострокового забруднень атмосфери буде визначатися через інтеграл ймовірностей [10]

$$\alpha = \int_{ГДК_{МР1}}^{\infty} \dots \int_{ГДК_{МРn}}^{\infty} \int_{ГДК_{СД1}}^{\infty} \dots \int_{ГДК_{СДn}}^{\infty} f dC_{МР1} \dots \dots dC_{МРn} dC_{СД1} \dots C_{СДn} \quad (6)$$

Якщо ризик (6) високий і його потрібно знизити, виникає необхідність виявити причини, що можливо досягнути на основі декомпозиції ризику α на окремі частки.

Так, при виділенні частки ризику за рахунок тільки короткострокової дії усіх ЗР, або тільки їх довгострокової дії, необхідно розглядати векторне випадкове поле відповідних концентрацій, що у розглянутій довільній точці *A* місцевості має багатовимірну щільність розподілу

$$- \text{для короткострокової дії} \\ f_{МР}(C_{МР1}, C_{МР2}, \dots, C_{МРn}), \quad (7)$$

та відповідну складову екологічного ризику

$$\alpha_{МР} = \int_{ГДК_{МР1}}^{\infty} \dots \int_{ГДК_{МРn}}^{\infty} f_{МР} dC_{МР1} dC_{МР2} \dots dC_{МРn}, \quad (8)$$

$$- \text{для довгострокової дії} \\ f_{СД}(C_{СД1}, C_{СД2}, \dots, C_{СДn}), \quad (9)$$

$$\alpha_{СД} = \int_{ГДК_{СД1}}^{\infty} \dots \int_{ГДК_{СДn}}^{\infty} f_{СД} dC_{СД1} dC_{СД2} \dots dC_{СДn} \quad (10)$$

При виділенні частки ризику за рахунок тільки окремої *j*-ї максимально разової концентрації *C_{МРj}*, або тільки *j*-ї середньодобової концентрації *C_{СДj}*,

необхідно розглядати окремі скалярні випадкові поля кожної із цих концентрацій, які мають у розглядуваній точці A місцевості одномірні щільності розподілу

$$f_{MPj}(C_{MPj}), \quad (11)$$

$$f_{CDj}(C_{CDj}), \quad (12)$$

та відповідні складові екологічного ризику

$$\alpha_{MPj} = \int_{ГДК_{MPj}}^{\infty} f_{MPj}(C_{MPj}) dC_{MPj}, \quad (13)$$

$$\alpha_{CDj} = \int_{ГДК_{CDj}}^{\infty} f_{CDj}(C_{CDj}) dC_{CDj}. \quad (14)$$

Часткові ризики (8), (10), (13), (14) дозволяють виявити за рахунок яких розглянутих концентрацій ЗР відбувається високий сумарний екологічний ризик (6) і прийняти відповідні заходи для зменшення цих концентрацій.

При дослідній оцінці екологічного ризику, розглядом якої ми тут обмежимося, величину ризиків (6), (8), (10), (13), (14) можливо отримувати також за частотою появи відповідних випадків перевищення концентрацією хоча б однієї ЗР своєї ГДК, використовуючи той факт, що така частота при рості числа дослідів збігається до відповідних ймовірностей.

Враховуючи природу і велике число випадкових факторів, що викликають випадкові зміни концентрацій ЗР, відповідно граничним теоремам теорії ймовірностей щільності розподілу f , f_{MP} , f_{CD} і $f(C_{MPj})$, $f(C_{CDj})$ можливо приблизно розглядати як такі, що мають багатовимірні і одновимірні нормальні закони [11]. Тоді для визначення щільностей розподілу достатньо визначити їх числові характеристики, а саме:

– математичні сподівання, середньоквадратичні відхилення і коефіцієнти кореляції для систем випадкових концентрацій (3), що входять у (5), а також часткових систем випадкових максимальних разових концентрацій (C_{MP1} , C_{MP2}, \dots, C_{MPn}) і середньодобових концентрацій (C_{CD1} , C_{CD2}, \dots, C_{CDn}), що входять відповідно у (8), (10);

– математичні сподівання, середньоквадратичні відхилення кожної концентрації C_{MPj} , C_{CDj} , що входять відповідно у (13), (14).

При великому числі дослідів (вимірів) ризику α , α_{MP} , α_{CD} , α_{MPj} , α_{CDj} оцінюються, як і у [10], через відповідні частоти, а саме

$$\alpha_k = \frac{m_k}{N_k}, \quad k = \overline{1,5}, \quad (15)$$

де $\alpha_1 = \alpha$, $\alpha_2 = \alpha_{MP}$, $\alpha_3 = \alpha_{CD}$, $\alpha_4 = \alpha_{MPj}$, $\alpha_5 = \alpha_{CDj}$;

m_1 – число перевищень концентраціями C_{MPj} , C_{CDj} хоча б однією ЗР своєї ГДК;

m_2 (m_3) – число перевищень концентраціями C_{MPj} (C_{CDj}) хоча б однією ЗР своєї ГДК $_{MPj}$ (ГДК $_{CDj}$);

m_4 (m_5) – число перевищень концентрацією C_{MPj} (C_{CDj}) своєї ГДК $_{MPj}$ (ГДК $_{CDj}$);

N_k — число дослідів (вимірів) для яких отримані величини m_k .

Отримані результати оцінки екологічного ризику доцільно проводити за даними вимірів на стаціонарних постах Гідромету промислових міст, що проводяться відповідно діючому в Україні нормативному документу РД 52.04.186-89 [10].

Наукова новизна і практична значимість

На базі стохастичного підходу до оцінки якості атмосферного повітря населених місцях вперше отримана оцінка екологічного ризику випадкових перевищень максимальними разовими і середньодобовими концентраціями забруднюючих речовин своїх гранично допустимих концентрацій, які прийняті в Україні як нормативні.

Досягнення при проектуванні і реконструкції підприємств малої величини такого ризику дозволить з високою надійністю забезпечити відсутність перевищень гранично допустимих концентрацій, високої якості атмосферного повітря і відсутність впливу забруднень на людину. Оцінку рекомендовано використовувати на базі даних вимірів, що проводяться на стаціонарних постах Гідромету у промислових містах.

Висновки

З використанням стохастичного підходу отримана оцінка екологічного ризику від випадкового перевищення концентраціями забруднюючих речовин максимальних разових і середньодобових гранично допустимих концентрацій. Подальші дослідження повинні бути направлені на розробку методики оцінки розглянутого екологічного ризику з використанням даних вимірів на стаціонарних постах Гідромету у промислових містах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барбашова, Н. В. Взаємозв'язок понять «екологічний ризик» та «екологічна безпека» / Н. В. Барбашова // Актуальні проблеми держави і права. – 2014. – Вип. 72 – С. 245–253.
2. Екологічна та природно-техногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків [Електронний ресурс] // Стратегічні пріоритети. – 2013. – № 2. – С. 182–184. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/spa_2013_2_28.pdf.
3. Зінченко, В. Ю. Розробка математичної моделі методу рішення задачі прогнозування оцінки екологічного ризику від групи точкових джерел / В. Ю. Зінченко, В. В. Фалько // Екологічна безпека. – 2013. – №2 (16). – С. 36–39.
4. Зінченко, В. Ю. Прогнозна оцінка екологічного ризику для людини від площадного джерела викидів при довільному напрямку вітру / В. Ю. Зінченко, В. В. Фалько, С. З. Поліщук, А. В. Полищук // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Сб. научн. тр. Вып. 76 – Днепропетровск, ПГАСА, 2014. – С. 132–136.
5. Камнева, І. О. Теоретико-методологічні основи оцінки екологічного ризику на промисловому підприємстві [Електронний ресурс] / І. О. Камнева // Електронне наукове фахове видання «Ефективна економіка» – 2015. – № 6. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4182>

6. Лисиченко, Г. В. Методология оцінювання екологічних ризиків: [монографія] / Г. В. Лисиченко, Г. А. Хміль, С. В. Барбашев. – О.: Астропринт, 2011. – 368 с.
7. Мовчан, Я. І. Оцінка екологічного ризику погіршення сучасного стану урбанізованих територій / Я. І. Мовчан, О. В. Рибалова, Д. В. Гулевець // Вост. – Европ. журн. передових технологій. – 2013. – №3/11. – С. 37–42.
8. Обиход, Г. О. Методичні підходи щодо оцінки рівня екологічної небезпеки регіонів України [Електронний ресурс] / Г. О. Обиход, Т. Л. Омеляненко // «Ефективна економіка». – 2012. – № 3. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1429>
9. Полторацкая, В. Н. Математическая модель оценки фактического экологического риска для одиночного точечного источника / В. Н. Полторацкая // Экология та ноосферология. – 2014. – Т. 25. – № 3–4. – С.91–98.
10. РД 52. 04. 186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – М., Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, 1991. – 693 с.
11. Фалько, В. В. Екологічний ризик для людини від забруднення атмосферного повітря (теоретична оцінка): [монографія] / В. В. Фалько, С. З. Поліщук, А. В. Токовенко (Артамонова). – Дніпропетровськ: Економіка, 2014. – 194 с.
12. Хазан, В. Б. Визначення екологічної безпеки на підставі дослідження системи екологічних ризиків [Електронний ресурс] / В. Б. Хазан, П. В. Хазан // Экология і природокористування. – 2013. – Вып. 16. – С. 64–70. –Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/j-pdf/ecolpr> 2013 16 10/pdf
13. Цуца, Н. М. Екологічний ризик [Електронний ресурс] / Н. М. Цуца // Квалілогія книги. – 2014. – № 2. – С. 70–73 – Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Kk> 2014 2 16.pdf

REFERENCES

1. Barbashova N.V. *Vzayemozvyazok ponyat' "ekologichnyy ryzyk" ta "ekologichna bezpeka"* [The realation of definitions “ecological risk” and “ecological safety”]. *Aktual'ni problem derzhavy i prava* [Issues of State and Law], 2014, issue 72, pp. 245-253. (in Ukrainian).
2. *Ekologichna ta pryrodno-tehnogenna bezpeka Ukrayiny: regional'nyy vymir zagroz i ryzykiv* [Ecological, natural and antropogenic safety of Ukraine: regional survey of threats and risks]. *Strategichni priority* [Strategic Priorities], 2013, issue 2, pp. 182-184. (in Ukrainian).
3. Zinchenko V.Yu. and Falko V.V. *Rozrobka matematychnoyi modeli metodu rishennya zadachi prognoznoyi otsinky ekologichnogo ryzyku vid grupy tochkovyh dzherel* [Mathematical scheme development of solving method for ecological risk prognostic assessment problem from a group of emissions point sources]. *Ekologichna bezpeka* [Ecological safety], 2013, issue 2 (16), pp. 36-39. (in Ukrainian).
4. Zinchenko V.Yu., Falko V.V., Polishchuk S.Z. and Polishchuk A.V. *Prognozna otsinka ekologichnogo ryzyku dlya lyudyny vid ploschadnogo dzherela vykydiv pry dovol'nomu napryamku vitru* [Ecological risk prognostic assessment for a human from an areal pollutants emission source under the conditions of arbitrary wind direction]. *Stroitel'stvo. Materialovedeniye. Mashinostroyeniye*. [Building. Material Engineering. Machine Building], 2014, issue 76, pp. 132-136. (in Ukrainian).
5. Kamnyeva I.O. *Teoretyko-metodologichni osnovy otsinky ekologichnogo ryzyku na promyslovomu pidpruyemstvi* [Theoretical and methodological base of ecological risk assessment at industrial enterprise]. *Efektivna ekonomika* [Effective Economy], 2015, issue 6, Rezhym dostupu: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4182>. (in Ukrainian).
6. Lysychenko H.V., Khmil' H.A. and Barbashev S.V. *Metodologiya otsinyvannya ekologichnyh ryzykiv* [Methodology of ecological risks assessment], 2011, 368 p. (in Ukrainian).
7. Movchan Ya.I., Rybalova O.V. and Huluvets' D.V. *Otsinka ekologichnogo ryzyku pogirshennya suchasnogo stanu urbanizovanyh terytoryy* [Ecological risk assessment of modern urban territories deterioration]. *Vost.-Yevrop. zhurnal peredovyh tehnologyy* [Eastern-European Bulletin of Modetn Technologies], 2013, issue 3/11, pp. 37-42. (in Ukrainian).
8. Obihod H.O. and Omelyanenko T.L., *Metodychni pidhody shchdo otsinky rivnya ekologichnoyi nebezpeky regioniv Ukrayiny* [Methodological approaches to level assessment of ecological danger in regions of Ukraine]. *Efektivna ekonomika* [Effective Economy], 2012, issue 3, Rezhym dostupu: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1429>. (in Ukrainian).
9. Poltoratskaya V.N. *Matematicheskaya model' fakticheskogo ekologicheskogo riska dlya odinichnogo tochechnogo istochnika* [Mathematical scheme of actual ecological risk for a single point source]. *Ekologiya ta noosferologiya* [Ecology and Noospherology], 2014. issue 3-4, pp. 91-98. (in Russian).
10. RD 52. 04. 186-89 *Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery*. – М., Gosudarstbennyiy komitet SSSRpo gidrometeorologiyi, 1991. – 693 p. (in Russian).
11. Falko V.V., Polishchuk S.Z. and Tokovenko (Artamonova) A.V. *Ekologichnyy ryzyk dlya lyudyny vid zabrudnennya atmosferogo povitrya (teoretychna otsinka)* [Ecological risk for a human from air pollution (theoretical assessment)], 2014, p.194. (in Ukrainian).
12. Khazan V.B. and Khazan P.V. *Vyznachennya ekologichnoyi bezpeky na pidstavi doslidzhennya systemy ekologichnyh ryzykiv* [Ecological safety determination on the base of ecological risks survey]. *Ekologiya ta pryrodokorystuvannya* [Ecology and Nature Management], 2013, issue 16, pp. 64-70, Rezhym dostupu: <http://nbuv.gov.ua/j-pdf/ecolpr> 2013 16 10/pdf. (in Ukrainian).
13. Tsutsa N.M., *Ekologichnyy ryzyk* [Ecological risk]. *Kvalilogiya knygy* [Qualilogy of a Book], 2014, issue 2, pp. 70-73, Rezhym dostupu: <http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Kk> 2014 2 16.pdf. (in Ukrainian).

Статья поступила в редколлегию 19.09.2016