

Д.В. Тарадуда, к.т.н., заст. нач. каф. (ORCID 0000-0001-9167-0058)

М.О. Демент, к.пед.н., доц. каф. (ORCID 0000-0003-4975-384X)

І.М. Неклонський, к.військ.н., доц. каф. (ORCID 0000-0002-5561-4945)

Д.О. Медведєва, здобувач вищої освіти (ORCID 0000-0003-1597-1857)

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ПІДХІД ДО КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ БЕЗПЕКИ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Розроблено підхід до кількісної оцінки стану безпеки потенційно небезпечних об'єктів, який враховує надійності технічних систем об'єкта контролю, вплив суб'єкта (людський фактор) та вплив зовнішніх факторів безпеки на потенційно небезпечний об'єкт. В результаті проведених досліджень вирішені наступні завдання: визначено природу основних негативних впливів факторів безпеки на функціонування потенційно небезпечного об'єкту; запропоновано кількісну оцінку факторів безпеки різної природи на функціонування потенційно небезпечного об'єкту (блок показників технічної надійності, блок показників впливу суб'єкта, блок показників безпеки зовнішнього впливу); запропоновано підхід до визначення необхідності здійснення управлінських заходів з підвищення рівня безпеки потенційно небезпечного об'єкта; проведено практичне застосування запропонованого підходу на конкретному об'єкті. Запропонований підхід до кількісної оцінки стану безпеки потенційно небезпечних об'єктів становить практичну цінність з погляду трьох сторін. Для державних органів нагляду – як предмет аналізу фактичного стану безпеки об'єкта контролю, результати якого є підґрунтям для прийняття рішень щодо застосування відповідних санкцій. Для страхових компаній – як предмет визначення можливості виникнення надзвичайних ситуацій на об'єкті, що розглядається, та підґрунтя для визначення розмірів вартості страхових полісів та виплат при відшкодуванні матеріальних збитків. Для керівника організації практичну цінність результати дослідження становлять як предмет допомоги в прийнятті управлінських рішень, пов'язаних із розробкою стратегії безпеки на об'єкті контролю. Подальші дослідження планується присвятити розробці механізмів управління техногенною безпекою потенційно небезпечних об'єктів на основі даних, отриманих за допомогою застосування запропонованого підходу до кількісної оцінки стану безпеки.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, моніторинг безпеки, оцінка ризику, потенційно небезпечний об'єкт.

1. Вступ

У світі щорічно виникають тисячі складних надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, унаслідок яких гине велика кількість людей, а матеріальні збитки сягають мільярдів доларів. В Україні ж ситуація

ускладнюється тим, що у зв'язку з небезпечними соціальними та військовими явищами, аварії та катастрофи, які виникають на потенційно небезпечних об'єктах (далі ПНО), можуть мати терористичний характер.

Особливе місце серед ПНО України посідають радіаційно небезпечні об'єкти та хімічно небезпечні об'єкти (далі РНО та ХНО відповідно). До типових РНО належать атомні електростанції (далі АЕС), підприємства з виготовлення та переробки ядерного палива, пункти поховання радіоактивних відходів, науково-дослідні та проектні організації, які працюють з ядерними реакторами, ядерні енергетичні установки на об'єктах транспорту. До типових ХНО належать хімічні заводи, підприємства харчової промисловості, нафтогазової промисловості та ін. Такі об'єкти становлять особливу небезпеку для людей і навколишнього природного середовища (це зумовлено наявністю великої кількості хімічно небезпечних чи радіоактивних речовин та масштабами наслідків від можливих надзвичайних ситуацій [1-3]), тому потребують комплексного підходу до оцінки стану їх безпеки.

Тому актуальною проблемою є забезпечення безпеки ПНО та попередження надзвичайних ситуацій на них.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Забезпечення безпеки ПНО в першу чергу полягає в проведенні попередньої оцінки їх стану з погляду безпеки, тому в роботі проаналізовано літературні джерела, в яких розглядаються питання саме оцінки небезпеки ПНО.

Найпоширенішим методом оцінки небезпеки є розробка формалізованих моделей розвитку подій – використання методу «дерева відмов». Методика застосування даного методу оцінки ризику пророблена в сучасній науково-технічній літературі й нормативній документації [4, 5]. Разом з тим реалізація методу вимагає значних витрат засобів і часу. Крім того, отримані результати важко перевірити й важко врахувати стани часткової відмови елементів, оскільки при використанні методу, як правило, вважають, що система перебуває або в справному стані, або в стані відмови. Істотні труднощі виникають і при одержанні в загальному випадку аналітичного рішення для дерев, що містять резервні вузли й відновлювані вузли, не говорячи вже про ті значні зусилля, які потрібні для врахування всіх видів множинних відмов.

Ще одним методом оцінки небезпеки є метод «дерева подій» [6], за допомогою якого можна простежити набір обставин (не тільки відмов системи, але й зовнішніх впливів на неї), що призводять до аварії (послідовність аварії або сценарій). На відміну від структурних схем і дерев відмов дерева подій мають більш повний фізичний зміст. Якщо основною перевагою «дерева відмов» є врахування причинно-наслідкового зв'язку між відмовами елементів, то «дерева подій» дають картину фізичних процесів, що приводять елементи й систему до критичних станів. Аналіз дерева подій може дати відповідь на питання: «які аварійні ситуації можуть виникнути?» та «які ймовірності цих подій?». Відповіді можуть бути отримані за допомогою аналізу потенційних сценаріїв аварії. Послідовності потенційних подій визначаються починаючи з

вихідної події й наступного аналізу інших подій, аж до того моменту, коли аварія або відбувається, або попереджається. Повну картину ризику від промислового об'єкта дає аналіз всіх можливих наслідків.

В Сполучених Штатах Америки та Японії наряду з вищеназваним застосовуються також і метод МQRНА (Methodology of Quantitative Process Hazard Analysis) описані у [7, 8]. Недоліки цих методів пов'язані зі складністю їхнього застосування для аналізу комбінацій подій, що найчастіше і являються причиною надзвичайної ситуації.

До методів оцінки ризиків, що дозволяють вирішувати імовірнісні проблеми, зводячи їх до завдань теорії ймовірностей і математичного аналізу, рішення яких, у першу чергу, можна одержати аналітично або чисельно, можна віднести метод Монте-Карло (методом статистичного моделювання) [9]. Метод дозволяє вирішувати імовірнісні проблеми статистичними засобами (за допомогою випадкових чисел). Суттєвим недоліком методу є те, що підвищення точності розрахунку на один порядок приводить до збільшення розрахунку на два порядки. Інша особливість методу – його застосування, як правило, тим ефективніше, чим вище обчислювальні можливості комп'ютера.

У роботі [10] пропонується удосконалити процедуру кількісної оцінки ризику шляхом поділу об'єктів на групи за їх розмірами, формою та структурними особливостями, а потім визначення сценарію виникнення та розвитку надзвичайних ситуацій разом з їх частотою. Такий підхід є ефективним при визначенні імовірності виникнення надзвичайних ситуацій, але при цьому не можливо обґрунтовано стверджувати, що при визначеній імовірності виникнення надзвичайних ситуацій рівень небезпеки є прийнятним, тобто не визначається діапазон варіювання імовірності, необхідний для забезпечення достатнього рівня безпеки. Застосування даного підходу не враховує зовнішні впливи на об'єкт контролю та можливість негативного впливу людини.

Метод потенційних відхилень [11] (застосовується для аналізу небезпеки й аварійності технічних систем). Як недолік даного методу можна відмітити досить суб'єктивну процедуру вибору ключових слів для характеристики відхилень. Також даний метод не враховує негативні фактори зовнішнього впливу на технічну систему та вплив людини, розглядаючи лише небезпеки технічного характеру, що виникають при експлуатації в середині системи.

В Україні для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки (далі ОПН) була розроблена Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки ОПН [12]. Проте, ця методика має ряд недоліків:

- можливість застосування її у повному обсязі лише для ОПН першого класу та частково для об'єктів другого класу;
- не приділяється увага визначенню зовнішніх чинників ініціювання аварії таких, як імовірність виникнення аварії на сусідньому об'єкті;
- процес аналізу небезпек, описаний в методиці, не враховує можливий негативний вплив людини на безпечну експлуатацію об'єкта контролю;
- відсутні математичні вирази для визначення необхідних показників.

Як недолік даної методики також можна відмітити те, що застосування методів представлених в ній потребує серйозного програмного забезпечення, високо підготовлених спеціалістів та значних затрат часу.

В Україні також розроблена Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів. Дана Методика спрямована на визначення фактичного стану безпеки ПНО, однак її застосування унеможлиблює: визначення імовірності виникнення надзвичайних ситуацій; розробку прогнозу виникнення аварій, що розглядається; процедуру управління безпекою об'єкта контролю.

У роботах [13, 14] автори звертають увагу на проблему визначення імовірності виникнення аварії на об'єкті при оцінці потенційної небезпеки. Втім застосування такого моделювання призводить до суттєвих неточностей отриманих оцінок, до того ж такий підхід дає лише якісну оцінку стану безпеки об'єкта, не враховує негативний вплив сусідніх об'єктів та не дає можливості управління безпекою об'єкта.

У Росії для визначення небезпеки, яку становлять ПНО застосовують «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов». Але проведення такої методики потребує значних затрат ресурсів та часу. Також як недолік можна відмітити те, що процес аналізу небезпек, описаний в методиці, не враховує можливий негативний вплив людини на безпечну експлуатацію об'єкта контролю.

Таким чином, не вирішеною частиною проблеми є відсутність чітко сформульованої та ефективної комплексної процедури оцінки стану безпеки потенційно небезпечних об'єктів, яка б враховувала надійність технічних систем та фактори, які здійснюють основний негативний вплив на такі об'єкти, а також їх взаємозв'язки.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є розробка нового підходу до кількісної оцінки стану безпеки потенційно небезпечних об'єктів для можливості прийняття управлінських рішень з попередження надзвичайних ситуацій.

Досягнення поставленої мети потребують вирішення наступні завдань:

– теоретично обґрунтувати підхід до кількісної оцінки стану безпеки потенційно небезпечних об'єктів із урахуванням природи основних негативних впливів факторів небезпеки на функціонування об'єкта та взаємозв'язків між ними;

– перевірити працездатність запропонованого підходу до кількісної оцінки стану безпеки потенційно небезпечних об'єктів на прикладі хімічно небезпечного об'єкта.

4. Теоретичне обґрунтування підходу до кількісної оцінки стану безпеки потенційно небезпечних об'єктів

Оцінка стану безпеки об'єкта контролю полягає у визначенні його потенційної небезпеки. З цією метою необхідно визначити основний негативний вплив факторів небезпеки різної природи на функціонування об'єкта контролю.

Для визначення числових значень показників небезпеки основних елементів, з яких складається ПНО пропонуємо застосовувати показники небезпеки, які в загальному вигляді можна представити в таких блоках:

– блок показників технічної надійності p_n^I (ймовірності відмови технологічного обладнання в результаті зношеності виробничих фондів, ймовірності відмови технічних засобів контролю параметрів технологічного процесу та систем попередження виникнення аварій та інші показники, які включають особливості технологічного процесу);

– блок показників впливу суб'єкта p_n^{II} (кількісна оцінка можливості допущення помилок обслуговуючим персоналом, що призводить до виникнення аварій на ПНО);

– блок показників небезпеки зовнішнього впливу p_n^{III} (ймовірність виникнення аварії на об'єктах енергетики та водопостачання, що можуть негативно вплинути на штатне протікання технологічного процесу; виникнення НС у результаті каскадного розвитку аварії на сусідньому об'єкті, що є актуальним, ураховуючи велику щільність забудови та техногенну перевантаженість великих міст; кількісна оцінка можливості виникнення інших зовнішніх факторів природного та техногенного характеру, що чинять негативний вплив на безпеку об'єкта контролю).

Для визначення показників небезпеки основних елементів ПНО за «технічною надійністю» пропонується дослідити взаємовпливи їх відмов та застосувати теорію ймовірності щодо логічних схем.

Так за формулою (1) визначимо показники небезпеки p_n основних елементів ПНО за «технічною надійністю», окрім трубопроводів.

$$p_n^I = 1 - \prod_{i=1}^a e^{-\frac{\tau}{\lambda_i}} = 1 - e^{-\sum_{i=1}^a \frac{1}{\lambda_i} \cdot \tau}, \quad (1)$$

де a – кількість основних компонентів відповідного елемента ПНО; λ_i – наробіток на відмову i -го компонента відповідного елемента ПНО [год]; τ – час роботи (експлуатації) відповідного елемента ПНО [год].

За формулою (2) визначено показники небезпеки p_n трубопроводів ПНО за «технічною надійністю».

$$p_n^I = 1 - e^{-\eta_n \cdot \tau}, \quad (2)$$

де η_n – щільність відмов n -го трубопровода [відм./од. довж×рік], τ – час експлуатації трубопровода [год].

Показники небезпеки n -го елемента ПНО при здійсненні «впливу суб'єктом» визначено за формулою (3) залежно від його чутливості до дії факторів небезпеки (помилки персоналу, пов'язані з відсутністю досвіду; помилки персоналу, пов'язані з професійним «вигоранням»; помилки персоналу, пов'язані

з недосконалістю режиму праці) і етапу трудової діяльності, на якому знаходиться оператор установки.

$$p_n^{\text{II}} = \frac{\sum_{i=1}^c \alpha_j}{c}, \quad (3)$$

де c – кількість факторів небезпеки, до дії яких чутливий n -ий елемент ПНО та які впливають на оператора на відповідному етапі його трудової діяльності; α_j – показник чутливості персоналу до дії j -го фактора небезпеки.

$$\alpha_j = \varphi_k \cdot \frac{\sum_{i=1}^z \alpha_{j_{\text{norm.max}}}^n}{z} \cdot e, \quad (4)$$

де z – кількість психогенних чинників j -го фактора небезпеки; φ_k – коефіцієнт зміни чутливості; $\alpha_{j_{\text{norm.max}}}^n$ – нормовані максимальні значення чутливості до дії психогенного чинника; e – інтенсивність виникнення помилок оператора.

Оцінку небезпеки при дії небезпечних факторів «зовнішнього впливу» на ПНО проведено шляхом застосування методів експертних оцінок та законів розподілу випадкових величин.

Показники небезпеки n -го елемента ПНО при дії «зовнішнього впливу» визначимо за формулою:

$$p_n^{\text{III}} = \sum_{j=1}^c \bar{w}_n^j \cdot (1 - e^{-\eta_j \cdot \tau}), \quad (5)$$

де c – кількість факторів небезпеки, які діють на n -ий елемент ПНО (знеструмлення в результаті зовнішнього впливу; припинення водопостачання до системи охолодження в результаті зовнішнього впливу; розгерметизація елементів установки в результаті зовнішнього впливу; терористичний акт); τ – час експлуатації елементів ПНО; η_j – щільність подій, які провокують виникнення j -го фактора небезпеки; \bar{w}_n^j – середнє значення коефіцієнта дії j -го фактора небезпеки на n -ий елемент визначається за формулою:

$$\bar{w}_n^j = \frac{\sum_{i=1}^c w_n^{i,j}}{c}, \quad (6)$$

де c – кількість експертів; $w_n^{i,j}$ – коефіцієнт дії j -го фактора небезпеки на n -ий елемент, який визначив i -ий експерт.

Інтегровані показники небезпеки P_n основних елементів ПНО визначимо за допомогою залежності:

$$P_n = \sqrt{\left(\overline{p}_n^{-I}\right)^2 + \left(\overline{p}_n^{-II}\right)^2 + \left(\overline{p}_n^{-III}\right)^2}, \quad (7)$$

де \overline{p}_n^{-I} , \overline{p}_n^{-II} , \overline{p}_n^{-III} – нормовані значення показників небезпеки елементів ПНО при дії факторів небезпеки різної природи:

$$\overline{p}_n^{-m} = \frac{p_n^m}{p_n^I + p_n^{II} + p_n^{III}}, \quad (8)$$

де m – показник природи фактора небезпеки (I – за «технічною надійністю», II – при «впливові суб'єкта», III – при «зовнішньому впливові»).

Визначення необхідності здійснення управлінських заходів з підвищення рівня безпеки ПНО полягає в порівнянні фактичних інтегрованих показників небезпеки його елементів P_n , отриманих за допомогою запропонованого підходу, із аналогічними показниками $P_n^{\text{стат}}$, які отримані статистичним шляхом за допомогою аналізу аварій та аварійних ситуацій, що виникали на ПНО. Якщо виконується рівність $P_n \leq P_n^{\text{стат}}$, то безпека відповідного елемента знаходиться на рівні, достатньому для безаварійної експлуатації об'єкта контролю, якщо ж рівність не виконується, то рівень безпеки відповідного елемента необхідно підвищувати.

5. Практичне застосування підходу до кількісної оцінки стану безпеки потенційно небезпечних об'єктів на прикладі хімічно небезпечного об'єкта

Застосування підходу до кількісної оцінки стану безпеки ПНО проведемо на прикладі ТОВ «Салтівський м'ясокомбінат», який знаходиться в густозаселеному районі міста за адресою: м. Харків, вул. Краснодарська, 171б. Основним джерелом небезпеки на об'єкті є аміачна холодильна установка (АХУ). Тому оцінка стану безпеки об'єкта полягатиме в оцінці безпеки саме АХУ.

Термін експлуатації АХУ, що експлуатується на об'єкті дослідження не перевищував 10 років. До її основних елементів належать: В – випаровувач, К – конденсатор, ХК – холодильна камера, КМ-1 – компресорна машина першого ступеня, КМ-2 – компресорна машина другого ступеня, ЛР – лінійний ресивер, Н – насос для перекачування холодильного агента, ПЄ – проміжна ємність, РК – регулюючий клапан, РП – розподільчий пристрій, ЦР – циркуляційний ресивер, ПП – продуктопроводи.

Визначення рівня безпеки (моніторинг потенційної небезпеки) основних елементів АХУ на досліджуваному об'єкті проводилося за допомогою програмно-технічного комплексу моніторингу та управління безпекою потенційно небезпечних об'єктів (ПТК) [15].

Хронологія проведення дослідження: виконується підключення систем об'єкта до ПТК; дослідник інсталує протокол автоматичної перевірки

працездатності оперативного рівня функціонування системи; після отримання позитивного результату він інсталує протокол автоматизованого моніторингу оперативної обстановки на об'єкті контролю; після отримання позитивного результату дослідник переходить до проведення моніторингу потенційної небезпеки об'єкта контролю на стратегічному рівні; за допомогою персонального комп'ютера дослідник вводить вихідні данні про об'єкт контролю (термін експлуатації АХУ, стаж роботи оператора, регіон розміщення об'єкта, щільності подій, які провокують виникнення факторів небезпеки); за допомогою пакета прикладних програм на основі теоретичних досліджень, дослідник визначає показники небезпеки елементів АХУ, які характеризують рівень безпеки об'єкта контролю.

У результаті проведення дослідження визначені фактичні показники небезпеки досліджуваного об'єкта за «технічною надійністю», «впливом суб'єкта» та «зовнішнім впливом», значення яких графічно відображені на відповідно рис. 1-3.

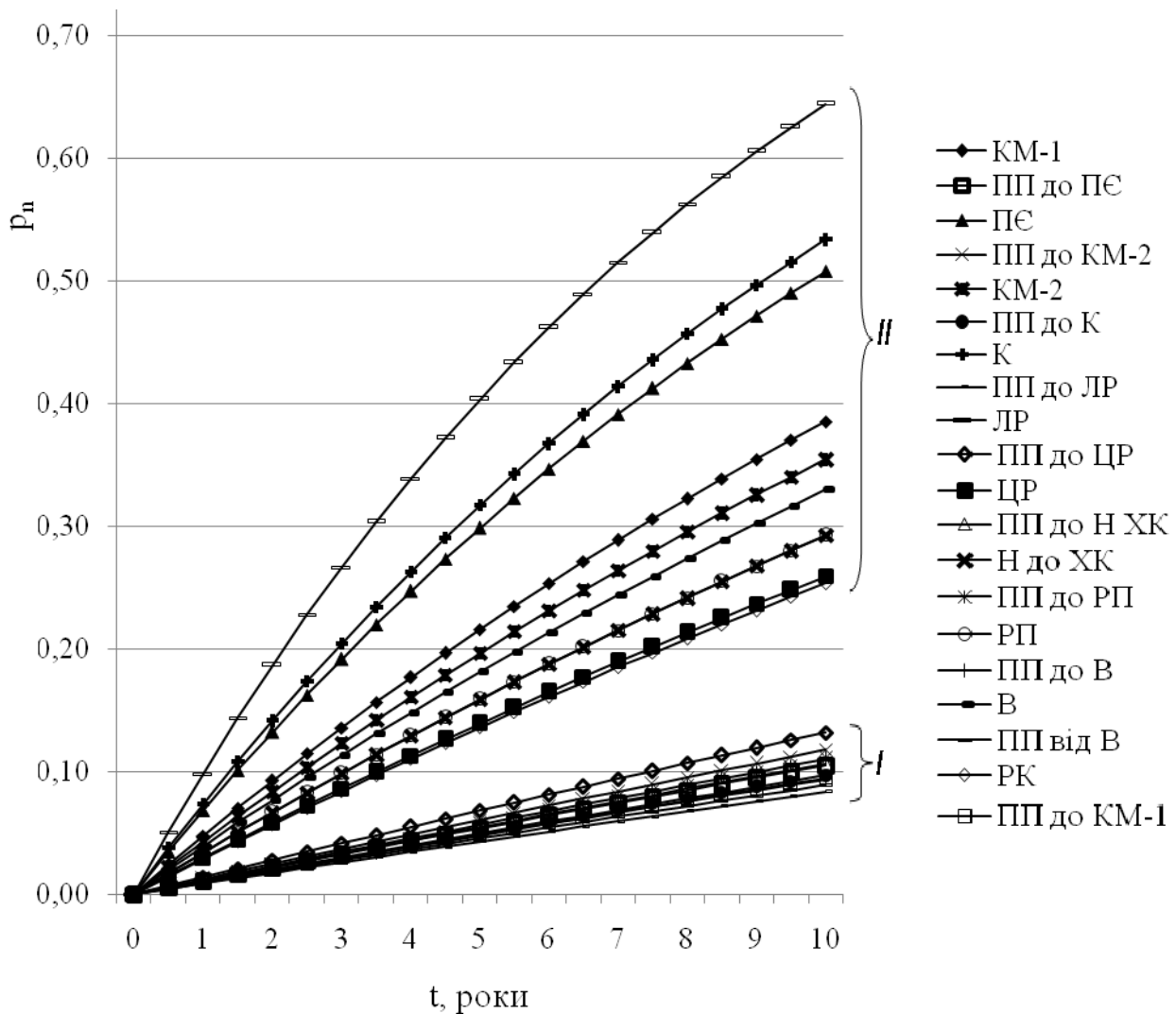


Рис. 1. Динаміка зміни показників небезпеки об'єкта за «технічною надійністю»

Виходячи з аналізу результатів дослідження, основні елементи об'єкта дослідження за «технічною надійністю» можна поділити на 2 групи, графічне зображення яких наведено на рис. 1. До першої групи елементів входять трубопроводи (набір ліній графіка I). Як видно з графіка, за час експлуатації протягом 10 років зміна їх показників небезпеки незначна, це говорить про збереження ними високої надійності протягом тривалого часу. До другої групи елементів (набір ліній графіка II) входять такі елементи установки, як компресор, конденсатор, ресивери, насосне обладнання тощо.

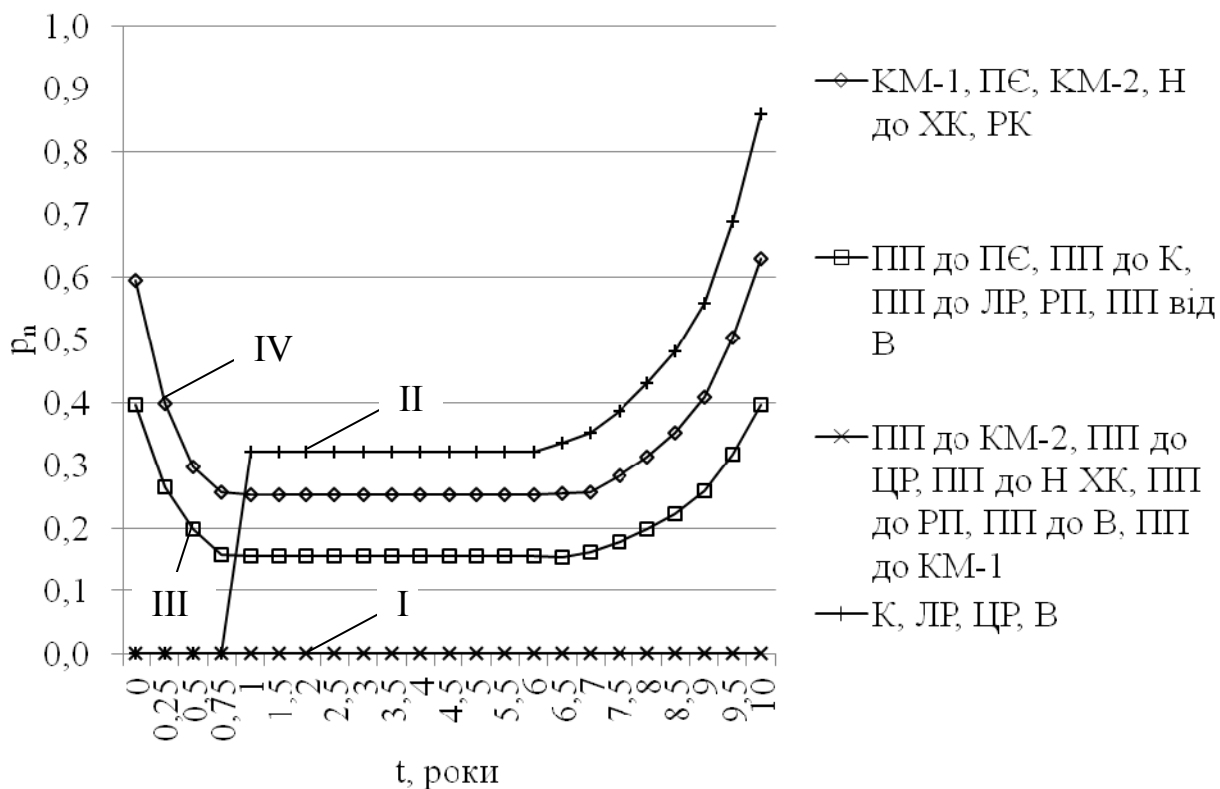


Рис. 2. Динаміка зміни показників небезпеки об'єкта при здійсненні «впливу суб'єктом»

За чутливістю до впливу факторів небезпеки при здійсненні «впливу суб'єктом» основні елементи об'єкта дослідження можна поділити на 4 групи, графічне зображення яких наведено на рис. 2, а саме: нечутливі до дії факторів небезпеки (лінія графіка I); ті, що постійно збільшують чутливість (лінія графіка II); з перемінно-низькою чутливістю (лінія графіка III); з перемінно-високою чутливістю (лінія графіка IV).

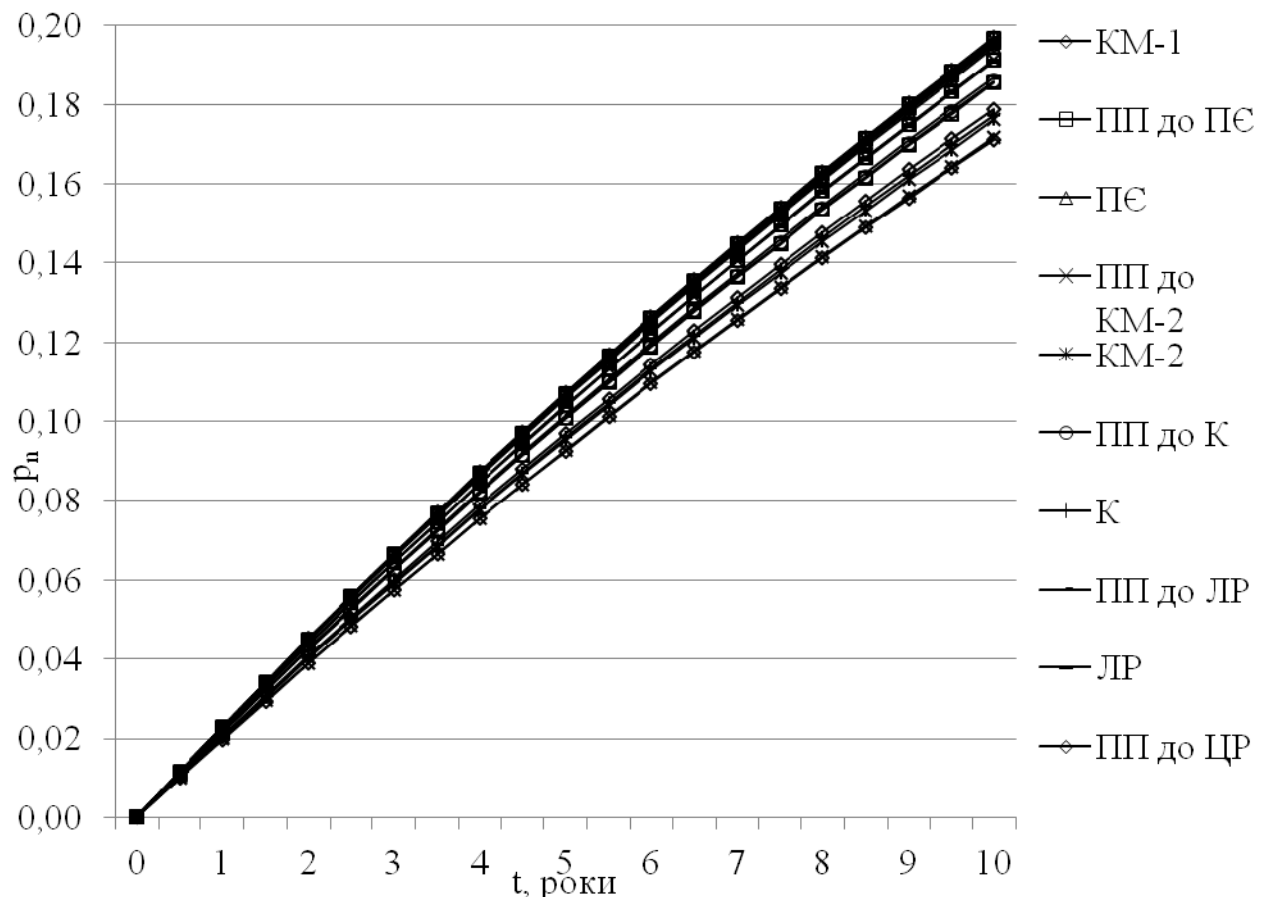


Рис. 3. Динаміка зміни показників небезпеки об'єкта при дії факторів небезпеки «зовнішнього впливу»

Динаміка зміни показників небезпеки основних елементів об'єкта дослідження при дії факторів небезпеки «зовнішнього впливу» показує, що їх значення майже однаково змінюється за час експлуатації АХУ, не зважаючи на вид елемента (продуктопровід чи агрегат).

6. Обговорення результатів кількісної оцінки стану безпеки потенційно небезпечних об'єктів

З рис. 1. видно, що показники небезпеки ТОВ «Салтівський м'ясокомбінат» за «технічною надійністю» за перші 10 років знаходиться у діапазоні варіювання від 0 до 0,7. Значення показників небезпеки елементів групи II різко зменшується вже в перші 3 роки експлуатації. Це говорить про те, що через більш складну конструкцію та вищу інтенсивність зношення ніж у елементів групи I протягом відносно короткого проміжку часу, їх надійність різко падає.

Як видно з рис. 2. група елементів об'єкта дослідження I є не чутливою до впливу факторів небезпеки при здійсненні «впливу суб'єктом», значення їх показників небезпеки знаходиться на відмітці 0. Динаміка зміни значень показників небезпеки групи елементів об'єкта дослідження II в обраному інтервалі часу варіює в діапазоні від 0 до 0,85 та показує найвищу чутливість до дії факторів небезпеки цієї природи. Значення показників небезпеки групи елементів об'єкта дослідження III та IV за перший рік експлуатації зменшуються в діапазонах від 0,4 до 0,15 та від 0,6 до 0,25 відповідно, у період

від 1 до 6,5 років їх значення залишаються не змінними, а після зазначеного періоду набувають тенденції до збільшення.

З рис. 3. видно, що показники безпеки ТОВ «Салтівський м'ясокомбінат» при дії факторів безпеки «зовнішнього впливу» за перші 10 років знаходиться у діапазоні варіювання від 0 до 0,2. Це говорить про низьку чутливість об'єкта контролю в цей період до дії зазначених факторів безпеки.

Таким чином, в роботі зроблено спробу виправити загальні недоліки більшості концепцій моніторингу ПНО, а саме відсутність системності та комплексного підходу. Адже в дослідженні враховано той факт, що небезпечні фактори, які здійснюють основний негативний вплив на ПНО, знаходяться в тісному взаємозв'язку один з одним, у ході цієї взаємодії виникає результуючий комплекс загроз, який не є простою їх сукупністю. Виходячи з цього, забезпечити ефективну протидію існуючим та потенційним факторам безпеки можна тільки враховуючи особливості кожного з них, а також специфіку їх виникнення, що і пропонується в даній роботі.

Запропонований підхід до кількісної оцінки стану безпеки ПНО становить практичну цінність з погляду трьох сторін: керівника об'єкту, так як він зацікавлений у безаварійній роботі об'єкта протягом якомога тривалішого часу; державних органів нагляду, до функціональних обов'язків яких входять перевірки стану безпеки таких об'єктів та страхових компаній для розробки ефективних бізнес-проектів. Для державних органів нагляду підхід становить цінність як предмет аналізу фактичного стану безпеки об'єкта контролю, результати якого є підґрунтям для прийняття рішень щодо застосування відповідних санкцій. Для страхових компаній – як предмет визначення можливості виникнення надзвичайних ситуацій на об'єкті, що розглядається, та підґрунтя для визначення розмірів вартості страхових полісів та виплат при відшкодуванні матеріальних збитків. Для керівника організації практичну цінність результати дослідження становлять як предмет допомоги в прийнятті управлінських рішень, пов'язаних із розробкою стратегії безпеки на об'єкті контролю.

7. Висновки

1. Теоретично обґрунтовано підхід до кількісної оцінки стану безпеки ПНО, який враховує надійності технічних систем об'єкта контролю, вплив суб'єкта (людський фактор) та вплив зовнішніх факторів безпеки на ПНО. Підхід включає: визначення природи основних негативних впливів факторів безпеки на функціонування ПНО, таких як блок показників технічної надійності r_n^I , блок показників впливу суб'єкта r_n^{II} та блок показників безпеки зовнішнього впливу R_n^{III} ; кількісну оцінку факторів безпеки різної природи на функціонування ПНО на основі інтегрованих показників безпеки P_n ; аналіз необхідності здійснення управлінських заходів з підвищення рівня безпеки ПНО, який полягає у порівнянні фактичних інтегрованих показників безпеки його елементів P_n , отриманих за допомогою запропонованого підходу, із аналогічними

показниками $R_n^{\text{стат}}$, які отримані статистичним шляхом за допомогою аналізу аварій та аварійних ситуацій, що виникали на ПНО.

2. Переверено працездатність запропонованого підходу до кількісної оцінки стану безпеки потенційно небезпечних об'єктів на прикладі хімічно небезпечного об'єкта, а саме ТОВ «Салтівський м'ясокомбінат». Основним джерелом небезпеки на об'єкті є АХУ, тому оцінка стану безпеки об'єкта полягала в оцінці безпеки саме АХУ, термін експлуатації якої не перевищував 10 років. Визначення рівня безпеки (моніторинг потенційної небезпеки) на досліджуваному об'єкті проводилося за допомогою ПТК моніторингу та управління безпекою ПНО. Моніторинг показав, що показники небезпеки об'єкта за весь час експлуатації знаходиться у діапазоні варіювання: за технічною надійністю – від 0 до 0,7; при здійсненні «впливу суб'єктом» – від 0 до 0,85; при дії факторів небезпеки «зовнішнього впливу» – від 0 до 0,2. Отримані дані дозволили перевірити адекватність теоретичних досліджень щодо кількісної оцінки стану безпеки ПНО.

Подальші дослідження планується присвятити розробці механізмів управління техногенною безпекою ПНО на основі даних, отриманих за допомогою застосування запропонованого підходу до кількісної оцінки стану безпеки.

Література

1. Тарадуда Д. В., Демент М. О. Підхід до кількісної оцінки небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з терористичними актами на радіаційно небезпечних об'єктах. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків, 2016. Вип. 24. С. 126-132.

2. Popov O., Yatsyshyn A. Mathematical tools to assess soil contamination by deposition of technogenic emissions. Soil Science Working for a Living. Cham. Springer. 2017. P. 127-137.

3. Попов О. О., Яцишин А. В., Ковач В. О., Артемчук В. О., Тарадуда Д. В., Собина В. О., Соколов Д. Л., Демент М. О., Яцишин Т. М., Матвєєва І. В. Аналіз можливих причин виникнення надзвичайних ситуацій на АЕС з метою мінімізації ризику їх виникнення. Ядерна та радіаційна безпека. Київ, 2019. Вип. 1. – С. 75-80.

4. Behringer B., Lehser M., Rothkugel S. Towards Feature-Oriented Fault Tree Analysis. Vasteras: IEEE 38th International Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW), 2014. P. 522-527.

5. Danhua W., Jingui P. An optimization to automatic Fault Tree Analysis and Failure Mode and Effect Analysis approaches for processes. Qinhuangdao: International Conference on Computer Design and Applications (ICCCA), 2010. Vol.3. P. 153-157.

6. Gleirscher M. Hazard Analysis for Technical Systems Development. Software Quality. Increasing Value in Software and Systems Development. 2013. Vol. 133. P. 104-124.

7. Nakagawa M., Kawasaki Y. The New Methodology of Quantitative Process Hazard Analysis (MQPHA). In: PSAM 5 – Proceedings of the 5th International

Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management. Universal Academy Press, Inc., Tokyo, 2010. Vol. 1. P. 307-313.

8. Galante E., Bordalo D., Nobrega M. Risk Assessment Methodology: Quantitative HazOp. Journal of Safety Engineering. 2014. 3(2). P. 31-36.

9. Chiacchio F., Compagno L., D'Urso D., Manno G., Trapani N. Dynamic Fault Trees Resolution: A Conscious Trade-Off Between Analytical And Simulative Approaches. Reliability Engineering & System Safety. 2011. Vol. 96, № 11. P. 1515-1526.

10. Van der Voort M. M., Klein A. J. J., de Maaijer M., van den Berg A. C., van Deursen J. D., Versoot N. H. A quantitative risk assessment tool for the external safety of industrial plants with a dust explosion hazard. Loss Prev. Process Ind. 2017. № 4-6. P. 375-386.

11. Тарадуда Д. В., Палюх В. В., Шевченко Р. І. Аналіз методологічної бази з оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків, 2012. Вип. 16. С. 138-148.

12. Тарадуда Д. В., Шевченко Р. І. Аналіз існуючої методологічної бази з оцінки небезпеки потенційно-небезпечних об'єктів [Електронний ресурс] / Національний університет цивільного захисту України. – Електрон. дан. – 2019. – Режим доступу : http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Conferences/ProblemsOfTechnogenicAndNaturalSecurity/Taraduda_Shevchenko.pdf.

13. Фалеев М. И., Измалков В. И. Методические аспекты оценки ущерба при авариях на критически важных и потенциально опасных объектах. Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2013. 1(4). С. 4-12.

14. Лейн А. Ф. Сравнительная оценка опасности и уровня риска для населения при авариях на химических, взрывопожароопасных и энергетических объектах : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.02., 05.26.03. Москва, 2005. 155 с.

15. Тарадуда Д. В., Соколов Д. Л., Федоров О. С. Розробка програмно-технічного комплексу моніторингу та управління безпекою потенційно небезпечних об'єктів. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків, 2017. Вип. 26. С. 143-152

D. Taraduda, Ph.D., Deputy Head of the Department

M. Dement, Ph.D., Associate Professor of the Department

I. Neklonskyi, Ph.D., Associate Professor of the Department

D. Medvedeva, Applicant for Higher Education

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

APPROACH TO THE QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE SAFETY POTENTIALLY HAZARDOUS OBJECTS

Has been developed to quantify the safety status of potentially dangerous objects, taking into account the reliability of the technical systems of the control object, the influence of the subject (human factor) and the influence of external hazard factors on the potentially dangerous object. As a result of the research, the

following tasks were solved: the nature of the main negative impacts of hazard factors on the functioning of a potentially dangerous object was determined; a quantitative assessment of hazard factors of various nature on the functioning of a potentially hazardous object is proposed (a block of indicators of technical reliability, a block of indicators of the impact of the subject, a block of indicators of the danger of external exposure); an approach to determining the need for management measures to improve the security level of a potentially dangerous object is proposed; practical application of the proposed approach at a specific object. The proposed approach to the quantitative assessment of the safety status of potentially hazardous objects is of practical value from the point of view of three parties. For state supervisory authorities – as the subject of analysis of the actual state of danger of the control object, the results of which are the basis for decision-making on the application of the relevant sanctions. For insurance companies – as the subject of determining the possibility of emergencies at the object and the basis for determining the size of the cost of insurance policies and payments for compensation for material damage. For the object manager, the practical results of the study are the subject of assistance in making managerial decisions related to the development of a security strategy at the object under control. Further research is planned to devote to the development of mechanisms for managing the technogenic safety of potentially hazardous objects based on data obtained using the proposed approach to quantifying the state of safety.

Keywords: emergency, security monitoring, risk assessment, potentially hazardous object.

References

1. Taraduda, D. V., Dement, M. O. (2016). Pidxid do kil'kisnoyi ocinky` nebezpeky` vy`ny`knennya nadzvy`chajny`x sy`tuacij, pov'yazany`x z terory`sty`chny`my` aktamy` na radiacijno nebezpechny`x ob'yektax'. Problemy` nadzvy`chajny`x sy`tuacij, 24, 126-132.
2. Popov, O., Yatsyshyn, A. (2017). Mathematical tools to assess soil contamination by deposition of technogenic emissions. Soil Science Working for a Living. Cham. Springer. 127-137.
3. Popov, O. O., Yacy`shy`n, A. V., Kovach, V. O., Artemchuk, V. O., Taraduda, D. V., Soby`na, V. O., Sokolov, D. L., Dement, M. O., Yacy`shy`n, T. M., Matvyeyeva, I. V. (2019). Analiz mozhly`vy`x pry`chy`n vy`ny`knennya nadzvy`chajny`x sy`tuacij na AES z metoyu minimizaciyi ry`zy`ku yix vy`ny`knennya. Yaderna ta radiacijna bezpeka, 1, 75-80.
4. Behringer, B., Lehser, M., Rothkugel, S. (2014). Towards Feature-Oriented Fault Tree Analysis. Vasteras: IEEE 38th International Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW), 522-527.
5. Danhua, W., Jingui, P. (2010). An optimization to automatic Fault Tree Analysis and Failure Mode and Effect Analysis approaches for processes. Qinhuangdao: International Conference on Computer Design and Applications (ICCD), 3, 153-157.
6. Gleirscher M. (2013). Hazard Analysis for Technical Systems Development. Software Quality. Increasing Value in Software and Systems Development, 133, 104-124.

7. Nakagawa, M., Kawasaki, Y. The New Methodology of Quantitative Process Hazard Analysis (MQPHA). Proceedings of the 5th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management, 1, 307-313.
8. Galante, E., Bordalo, D., Nobrega, M. (2014). Risk Assessment Methodology: Quantitative HazOp. Journal of Safety Engineering, 3(2), 31-36.
9. Chiacchio, F., Compagno, L., D'Urso, D., Manno, G., Trapani, N. (2011). Dynamic Fault Trees Resolution: A Conscious Trade-Off Between Analytical And Simulative Approaches. Reliability Engineering & System Safety, 96, # 11, 1515-1526.
10. Van der Voort, M. M., Klein, A. J. J., de Maaijer, M., van den Berg, A. C., van Deursen, J. D., Versoot, N. H. (2017). A quantitative risk assessment tool for the external safety of industrial plants with a dust explosion hazard. Loss Prev. Process Ind., 4-6, 375-386.
11. Taraduda, D. V., Palyux, V. V., Shevchenko, R. I. (2012). Analiz metodologichnoyi bazy` z ocinky` ry`zy`ku vy`ny`knennya avariyi na potencijno nebezpechny`x ob'yektax. Problemy` nadzvy`chajny`x sy`tuacij, 16, 138-148.
12. Taraduda, D. V., Shevchenko, R. I. (2019). Nacional`ny`j universy`tet cy`vil`nogo zaxy`stu Ukrayiny`, «Analiz isnuyuchoyi metodologichnoyi bazy` z ocinky` nebezpeky` potencijno-nebezpechny`x ob'yektiv», available at : http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Conferences/ProblemsOfTechnogenicAndNaturalSecurity/Taraduda_Shevchenko.pdf (accessed 2019).
13. Faleev, M. I., Izmailkov, V. I. (2013). Metodicheskie aspekty ocenki ushherba pri avarijah na kriticheski vazhnyh i potencial'no opasnyh obektah. Strategija grazhdanskoj zashhity: problemy i issledovaniya, 1(4), 4-12.
14. Lein, A. F. (2005). Sravnitel`naya ocenka opasnosti i urovnya riska dlya naseleniya pri avariyakh na khimicheskikh, vzry`vopozharoopasny`kh i e`nergeticheskikh ob`ektakh [Comparative assessment of danger and level of risk for the population in case of accidents at chemical, explosive and energy objects]. Candidate's thesis. Moskva [in Russian].
15. Taraduda, D. V., Sokolov, D. L., Fedorov, O. S. (2017). Rozrobka programno-texnichnogo kompleksu monitory`ngu ta upravlinnya bezpekoyu potencijno nebezpechny`x ob'yektiv. Problemy` nadzvy`chajny`x sy`tuacij, 26, 143-152.

Надійшла до редколегії:

Прийнята до друку:

Тарадуда Дмитро Віталійович
Кандидат технічних наук
Кафедра організації та технічного забезпечення аварійно-рятувальних робіт
Національний університет цивільного захисту України
м. Харків, вул. Баварська, 7, 61039
E-mail: taraduda_dv@ukr.net
Контактний тел.: 0967608880
Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 21
Кількість статей у міжнародних базах даних – 7
ORCID: [http:// orcid.org/0000-0001-9167-0058](http://orcid.org/0000-0001-9167-0058)

Тарадуда Дмитрий Витальевич
Кандидат технических наук
Кафедра организации и технического обеспечения аварийно-спасательных работ
Национальный университет гражданской защиты Украины
ул. Баварская, 7, г. Харьков, Украина, 61023
E-mail: taraduda_dv@ukr.net
Контактный тел.: 0967608880
Количество статей в общегосударственных базах данных – 21
Количество статей в международных базах данных – 7
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9167-0058>

Taraduda Dmytro
PhD
Department of organization and technical support of emergency rescue works
National University of Civil Defence of Ukraine
Bavarska street, 7, Kharkiv, Ukraine, 61039
E-mail: taraduda_dv@ukr.net
Contact tel.: 0967608880
The number of articles in the national database – 21
The number of articles in international databases – 7
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9167-0058>

Демент Максим Олександрович
Кандидат педагогічних наук
Кафедра організації та технічного забезпечення аварійно-рятувальних робіт
Національний університет цивільного захисту України
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023
E-mail: dement@nuczu.edu.ua
Контактний тел.: 093-816-07-90
Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 16
Кількість статей у міжнародних базах даних – 2
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4975-384X>

Демент Максим Александрович
Кандидат педагогических наук
Кафедра организации и технического обеспечения аварийно-спасательных работ
Национальный университет гражданской защиты Украины
ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023
E-mail: dement@nuczu.edu.ua
Контактный тел.: 093-816-07-90
Количество статей в общегосударственных базах данных – 16
Количество статей в международных базах данных – 2
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4975-384X>

Dement Maksym
PhD
Department of logistics and technical support of rescue operations
National University of Civil Protection of Ukraine
Chernyshevskya str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61023
E-mail: dement@nuczu.edu.ua
Contact tel.: 093-816-07-90
The number of articles in the national database – 16
The number of articles in international databases – 2
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4975-384X>

Неклонський Ігор Михайлович
кандидат військових наук,
Кафедра організації та технічного забезпечення аварійно-рятувальних робіт
Національний університет цивільного захисту України,
вул. Чернишевська, 94, Харків, Україна, 61023
E-mail: neklonsky@nuczu.edu.ua
Контактний тел.: 067-57-976-55
Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 68
Кількість статей у міжнародних базах даних – 5
Номер ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5561-4945>

Неклонський Ігорь Михайлович
кандидат военных наук,
Кафедра организации и технического обеспечения аварийно-спасательных работ
Национальный университет гражданской защиты Украины,
ул. Чернышевская, 94, Харьков, Украина, 61023
E-mail: neklonsky@nuczu.edu.ua
Контактный тел.: 067-57-976-55
Количество статей в общегосударственных базах данных – 68
Количество статей в международных базах данных – 5
Номер ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5561-4945>

Neklonskyi Ihor
Candidate of Military Sciences (PhD),
Department of organization and technical support of emergency rescue works
National University of Civil Defence of Ukraine,
Chernyshevskya str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61023
E-mail: neklonsky@nuczu.edu.ua
Contact tel.: 067-57-976-55
The number of articles in the national database – 68
The number of articles in international databases – 5
Number ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5561-4945>

Медведева Діана Олександрівна
Національний університет цивільного захисту України
м. Харків, вул. Баварська, 7, 61039
E-mail: medvedevad@ukr.net
Контактний тел.: 0952098038
Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 0
Кількість статей у міжнародних базах даних – 0
ORCID: [http:// orcid.org/0000-0003-1597-1857](http://orcid.org/0000-0003-1597-1857)

Медведева Диана Александровна
Национальный университет гражданской защиты Украины
ул. Баварская, 7, г. Харьков, Украина, 61023
E-mail: medvedevad@ukr.net
Контактный тел.: 0952098038
Количество статей в общегосударственных базах данных – 0
Количество статей в международных базах данных – 0
ORCID: [http:// orcid.org/0000-0003-1597-1857](http://orcid.org/0000-0003-1597-1857)

Medvedeva Diana Olexandrivna
National University of Civil Defence of Ukraine
Bavarska street, 7, Kharkiv, Ukraine, 61039
E-mail: medvedevad@ukr.net
Contact tel.: 0952098038
The number of articles in the national database – 0
The number of articles in international databases – 0
ORCID: [http:// orcid.org/0000-0003-1597-1857](http://orcid.org/0000-0003-1597-1857)