ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

М А Т Е Р І А Л И
Міжнародної науково-практичної конференції
«Проблеми пожежної безпеки»
(«Fire Safety Issues»)

ХАРКІВ 2016

Шановні колеги!

Доброю традицією стало для Національного університету цивільного захисту України проведення щорічних міжнародних науково-практичних конференцій з метою обговорення нагальних проблем у сфері пожежної і техногенної безпеки. І це закономірно, адже університет має майже дев'яносторічний досвід роботи в цьому напрямі.

Освіта і наука були і залишаються важливими пріоритетами держави, що пов'язані з довгостроковими перспективами розвитку нашої країни та впливають на підвищення її конкурентоспроможності. Але новітні технології, стрімкий прогрес, впровадження експериментальних систем господарства не тільки сприяють розвитку економіки, а й несуть потенційну небезпеку. За останні десять років в Україні сталися тисячі пожеж; матеріальні втрати сягнули майже 30 млрд. гривень. Щороку в державі незмінно стається 65-70 тисяч пожеж, гине до трьох тисяч людей, знищується до 30 тисяч будівель і споруд. Втрати від пожеж помітно перевищують загальний збиток держави від інших надзвичайних ситуацій.

Така ситуація змушує по-іншому розглядати механізми безпеки, вирішувати проблемні питання, прогнозувати та пропонувати науково-практичні рекомендації. Зважаючи на це, збірка наукових праць міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки», в якій представлено тези доповідей науково-педагогічних працівників вищих навчальних закладів, науковців та спеціалістів-практиків різних країн, традиційно ставить за мету висвітлення найбільш актуальних питань профілактики пожеж і протипожежного захисту об'єктів, створення великої площини для конструктивної полеміки серед учених щодо вдосконалення системи забезпечення пожежної і техногенної безпеки.

Упевнений, що матеріали наукових праць, представлених у збірці, викличуть творчі дискусії, приведуть до апробації нових ідей та будуть корисними не тільки науковцям, але і курсантам, студентам та молодим ученим, що цікавляться питаннями пожежної безпеки.

Ректор Національного університету
цивільного захисту України
генерал-лейтенант служби цивільного захисту,
доктор наук, професор В.П.Садковий

Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки». – Х.: НУЦЗУ, 2016. – 324 с.

Організаційний комітет:

Голова

Садковий Володимир Петрович	Ректор Національного університету цивільного захисту України, генерал-лейтенант служби цивільного захисту, доктор наук з державного управління, професор

Заступник голови

Андронов Володимир Анатолійович	Проректор з наукової роботи НУЦЗ України, полковник служби цивільного захисту, доктор технічних наук, професор
Удянський Микола Миколайович	Начальник факультету пожежної безпеки НУЦЗ України, полковник служби цивільного захисту, кандидат технічних наук, доцент
Безуглов Олег Євгенович	Начальник факультету пожежної безпеки НУЦЗ України, полковник служби цивільного захисту, кандидат технічних наук, доцент
Carlström Eric	Prehospital and Disaster Medicine Center and Gothenburg University, Gothenburg, Sweden

Секретар

Афанасенко Костянтин Анатолійович	Викладач кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій НУЦЗ України, майор служби цивільного захисту

Програмний комітет:

Голова

Андронов Володимир Анатолійович	Проректор НУЦЗ України з наукової роботи, полковник служби цивільного захисту, доктор технічних наук, професор

Заступник голови

Тарасенко Олександр Андрійович	Провідний науковий співробітник відділу організації науково-дослідної роботи науково-дослідного центру НУЦЗ України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Ключка Юрій Павлович	Начальник кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій НУЦЗ України, підполковник служби цивільного захисту, доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Кириченко Оксана В'ячеславівна	Начальник кафедри пожежно-профілактичної роботи Черкаського інституту пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, полковник служби цивільного захисту, доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Тімєєв Євген Олександрович	Заступник начальника з навчальної роботи Кокшетауського технічного інституту Комітету з надзвичайних ситуацій Міністерства внутрішніх справ Республіки Казахстан, полковник внутрішньої служби
Adrian Traian G.M. Radulescu	Assist.Prof. dr. eng., Terrestrial Measurement and Cadastre Department, Civil Engineering Faculty, Technical University Cluj Napoca
Лісняк Андрій Анатолійович	Начальник кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт НУЦЗ України, полковник служби цивільного захисту, кандидат технічних наук, доцент

Технічний секретар

Афанасенко Костянтин Анатолійович	Викладач кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій НУЦЗ України, майор служби цивільного захисту

Укладачі не несуть відповідальності за зміст опублікованих матеріалів

Розглянуто на засіданні Вченої ради факультету пожежної безпеки (Протокол №1 від 19.09.2016 р.)

Беляев В.Ю.
Использование гис-технологий для нахождения оптимального маршрута доставки сил и средств при локализации природного пожара 239

Виноградов С.А., Соколов Л.М.
Аналіз небезпечних та шкідливих чинників аварійно-рятувальних робіт та їх небезпека 241

Дубінін Д.П., Лісняк А.А.
Удосконалення математичної моделі вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів для створення протипожежного бар'єру 245

Катещенок А.В.
Аналіз критеріїв збудження вибуху боєприпасів на об’єктах зберігання військових засобів ураження 247

Лісняк А.А., Дубінін Д.П.
Обґрунтування часу слідування оперативно-рятувальних підрозділів до місця пожежі в сільських населених пунктах 250

Стрілець В.М., Тригуб В.В.
Щодо виконання типових операцій ліквідації надзвичайних ситуацій в комплексах засобів індивідуального захисту 253

Сыровой В.В., Сенчихин Ю.Н. Остапов К.М.
Особенности бинарной подачи гелеобразующих составов на пожаротушение 259

Корытченко К.В., Сакун О.В., Хілько Ю.В.
Численное моделирование внутрибаллистических процессов в газодетонационной установке метания тушащих веществ 253

Хлевной О.В., Горбань В.Б., Жезло Н.В.
Обґрунтування об’ємно-планувальних рішень тематичної навчальної квест-кімнати 266

Щербак С. М., Онищенко Д. О.
Використання пожежних кран-комплектів для гасіння пожеж у висотних житлових будівлях 270

СЕКЦІЯ 7. СИЛИ ТА ЗАСОБИ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ

Васильєв С.В,. Ковальов О.О.
Пропозиції щодо можливості високопродуктивного перекачування води основним пожежним автомобілем 273

Донской Д.В. Ковалёв А.А.
Разработка инженерной машины разминирования с воздушной разгрузкой 277

Закора О.В., Фещенко А.Б.
Малогабаритна антена портативного радіолокаційного вимірювача товщини льоду 282

t_{CO} - максимальний час, при якому ймовірність настання смертельної концентрації CO дає змогу рятування життя людей;

$t_{спов}$ - час сповіщення про пожежу;

$t_{зб}$ - час збору та виїзду по сигналу тривога на пожежу;

$t_{о.р.}$ - час оперативного розгортання.

За результатами отриманими в роботі [10] максимальний час слідування оперативно-рятувального підрозділу ДСНС до місця пожежі становить 12 хвилин.

Звичайно, що для забезпечення належного рівня пожежної безпеки та вчасного виконання покладених обов'язків на оперативно-рятувальні підрозділи такий нормативний показник як радіус виїзду не може бути однаковим для міст та сільських населених пунктів. Але, якщо за цей показник прийняти за максимальний час слідування оперативно-рятувальних підрозділів, то, норматив прибуття пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику на території міст – 10 хвилин [3] дозволяє вирішувати питання рятування людей на пожежі, а от за межами міст та в населених пунктах показник в 20 хвилин [3] значно перевищує максимальний час слідування до місця пожежі. Таким чином вкрай актуальним залишається питання рятування людей на пожежах в сільських населених пунктах та за межами міст.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту України від 02 жовтня 2012 року за № 5403-VI.
2. ДБН 360-92**. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень.
3. Постанова КМУ від 27.11.2013 р. № 874. Про затвердження критеріїв утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях та переліку суб'єктів господарювання, де утворюються такі підрозділи (частини).
4. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. Наказ МНС України № 575 від 13.03.2012 р.
5. Тиунов Л.А., Кустов В.В. Токсикология окиси углерода. М.: Медицина, 1980.
6. McGrattan, K.B. and G.P. Forney. "Fire Dynamiks Simulator: User's Guide." NISTIR 6469. Gaithersburn, MD: National Institute of Standards and Technology, 2000.
7. Наукові праці Koche L., 1960; Haldane J., 1972.
8. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2015 рік.
9. Вісник Дорада «Про соціальний розвиток сільських територій» № 9, 2008 рік.
10. Провести дослідження і розробити програмне забезпечення щодо визначення сітки покриття підрозділами місцевої пожежної охорони в сільських населених пунктах. Звіт про НДР/ УкрНДІПБ МНС України. - № ДР 0106U005414 - К. – 2007.

A.A. Lisnyak, Cand. of Sc. (Eng.), Head of department, National University of Civil Protection of Ukraine

D.P. Dubinin, Cand. of Sc. (Eng.), Senior Lecturer, National University of Civil Protection of Ukraine

STUDY TIME FOLLOWING OPERATIONAL-RESCUE UNITS TO THE SITE OF FIRE IN RURAL AREAS

The work carried out fire safety analysis of rural settlements. The problems of fire safety in rural areas of operational-rescue units. The factors affecting the time following the operational and rescue units to the site of a fire in the rural areas.

В.М. Стрілець, к.т.н., с.н.с., НУЦЗУ,
В.В. Тригуб, к.т.н., доцент, НУЦЗУ

ЩОДО ВИКОНАННЯ ТИПОВИХ ОПЕРАЦІЙ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ В КОМПЛЕКСАХ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ

У загальному комплексі проблем щодо ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) в комплексах індивідуального захисту (КЗІЗ) немаловажним є питання конкретизації особливостей підготовки рятувальників до виконання найбільш складних та важливих операцій, з яких складається процес ліквідації або локалізації осередку НС, особливо в тому випадку, коли розглядаються ситуації з викидами небезпечних хімічних речовин (НХР).

Аналіз літератури показав, що на цей час для цього в більшості випадків [1, 2, 3, 4] розглядають статистичні характеристики, які характеризують розподіл часу виконання. Їх аналіз для простих операцій, які характеризуються β-розподілом часу виконання, за співвідношенням параметрів α та β дозволяє [2, 3] визначити рівень підготовленості особового складу, який розглядається. Але в [4] показано, що практично всі операції в КЗІЗ характеризуються нормальним розподілом.

В роботах [5, 6] відмічено, що зміна часу виконання окремої операції в залежності від рівня підготовленості особового складу характеризується експоненціальною залежністю і після 7-8 тренувальних спроб час виконання операції в КЗІЗ практично не зменшується [7]. Це дозволяє [8] перейти до визначення науково-обґрунтованих нормативів, які, тим не менш, відносяться до роботи в конкретному варіанті КЗІЗ.

Порівняльний аналіз того, як міняється час виконання типових операцій в залежності від застосування рятувальниками конкретних модифікаціях засобів індивідуального захисту органів дихання, розглядався в [6], але в цьому випадку не враховувались умови навколишнього середовища. В [9] наведені рекомендації по корегуванню розрахункових оцінок часу виконання окремих операцій процесу ліквідації НС з викидами НХР, але вони не враховують ні модифікацію КЗІЗ, ні рівень підготовленості рятувальників.

В той же час, в [10, 11] за результатами імітаційного моделювання процесів локалізації та ліквідації НС, які складаються з окремих операцій, показано, що відповідні багатофакторні моделі їх виконання дозволяють одночасно аналізувати і стан навколишнього середовища, і модифікацію КЗІЗ, яка використовується, і рівень підготовленості рятувальників

Виходячи з наведеного вище, поставлена задача отримання та аналізу багатофакторної моделі, яка характеризує виконання рятувальниками окремих типових операцій, з яких складається процес ліквідації надзвичайної ситуації.

Для отримання багатофакторної залежності враховувалось те, що в [12] наведені експериментальні результати виконання однієї із найбільш складних операцій процесу локалізації НС з викидом НХР методом реконденсації [13] – з'єднання рукава з системою кріплення, які підтверджують [5, 6], що час виконання цієї операції змінюється за експоненціальним законом (рис. 1), а відповідні розподіли часу виконання є нормальними (рис. 2).

Це дозволило по аналогії з [11], де показана доцільність одночасного розгляду трьох факторів (в нашому випадку, x_1 – приведеної інтенсивності ψ викиду НХР [14] як характеристики компоненти «середовище»; x_2 – підготовленості особового складу як характеристики компоненти «рятувальник»; x_3 – комбінації засобів індивідуального захисту рятувальників як характеристика компоненти «техніка»), які можуть бути нелінійними та взаємопов'язаними, перейти до отримання трифакторної квадратичної залежності (в кодованих перемінних) часу з'єднання рукава з системою кріплення у відповідності до традиційного плану 3x3x3 техніко-економічних експериментів [15].

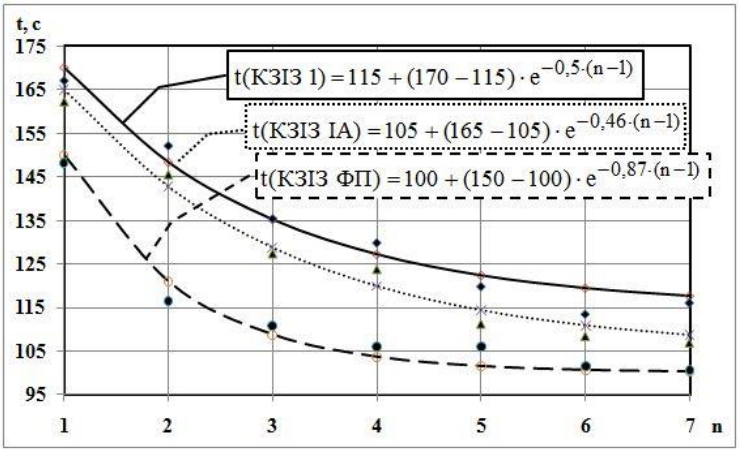

Рис.1. Залежність часу з'єднання рукава з системою кріплення від рівня підготовленості та оснащення рятувальників (n – кількість тренувальних спроб)

Як і у випадку [11], оцінка впливу обраних факторів розглядалась для ситуації, коли вони змінюються на двох рівних інтервалах. Під час визначення фактора x_1 враховується, що при $\Psi = 1\frac{кг/с}{мг/м^3}$ (x_1=-1) всі операції особовий склад повинен виконувати в комплексі засобів індивідуального захисту, який передбачає застосування ізолюючого апарата всередині ізолюючого костюма (КЗІЗ 1); при $\Psi = 0{,}1\frac{кг/с}{мг/м^3}$ (x_1=0) – обов'язкове використання ізолюючого апарата, який може бути надягнутий поверх ізолюючого костюма (КЗІЗ ІА); при $\Psi = 0{,}01\frac{кг/с}{мг/м^3}$ – рятувальники використовують ізолюючі костюми разом із фільтруючими протигазами (КЗІЗ ФП).

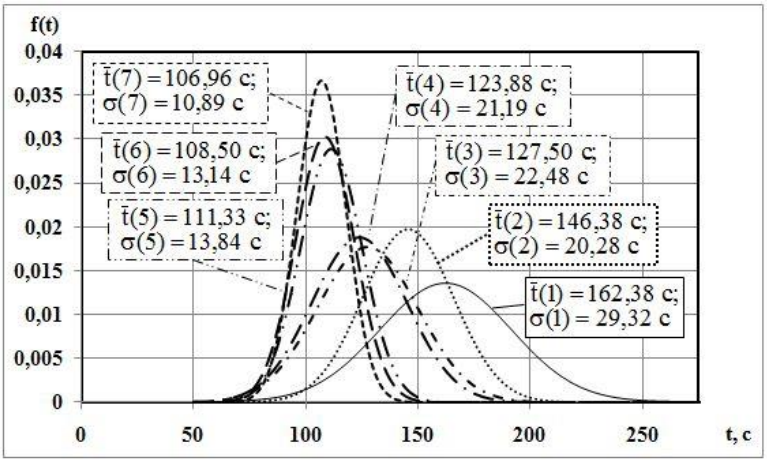

Рис.2. Розподіл часу з'єднання рукава з системою кріплення

Стосовно рівня підготовленості враховувалось [8] те, що початковий рівень практичної виучки (x_2=-1) має місце під час першого (n=1) виконання завдання, а найвищий (x_2=+1) – під час останнього (n=7); середина факторного простору (x_2=0) приймалась при n=4 для роботи в ізолюючих костюмах з ізолюючими протигазами та n=3 – з фільтруючими. Під час оцінки конкретних комплексів індивідуального захисту враховувалось [8], що найвища швидкість виконання окремих операцій має місце при роботі в КЗІЗ ФП (x_3=+1), а найнижча (x_3=-1) – в КЗІЗ 1; середина факторного простору (x_3=0) відповідає ситуації із КЗІЗ ІК, коли ізолюючий апарат знаходиться ззовні ізолюючого костюма.

З урахуванням рекомендацій [15] щодо доцільності використання в кодованих перемінних параметру, який передбачається аналізувати, час виконання операції з'єднання рукава з системою кріплення розглядається як

$$y = \frac{t - t_{min}}{t_{max} - t_{min}}, \quad (1)$$

де t – час виконання в натуральному вигляді, с; t_{max}, t_{min} – відповідно максимальний та мінімальний час з'єднання рукава з системою кріплення, с.

В результаті вище переліченого отримано модель операції, яка розглядається, у вигляді

$$\begin{aligned} y = 0{,}4001 - 0{,}0584 \cdot x_1 - 0{,}3923 \cdot x_2 - 0{,}0584 \cdot x_3 - 0{,}0037 \cdot x_1^2 + \\ + 0{,}1569 \cdot x_2^2 - 0{,}0037 \cdot x_1^2 - 0{,}0014 \cdot x_1 \cdot x_2 - \\ - 0{,}0670 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0{,}0014 \cdot x_2 \cdot x_3. \end{aligned} \quad (2)$$

Аналіз (2) дозволяє стверджувати (рис.3), що найбільш вагомим параметром, який впливає на час виконання операції, є показник підготовленості x_2, проте для уточнення особливостей роботи в різних умовах навколишнього середовища доцільно проаналізувати й те, як на час впливає вибір конкретної модифікації КЗІЗ [16].

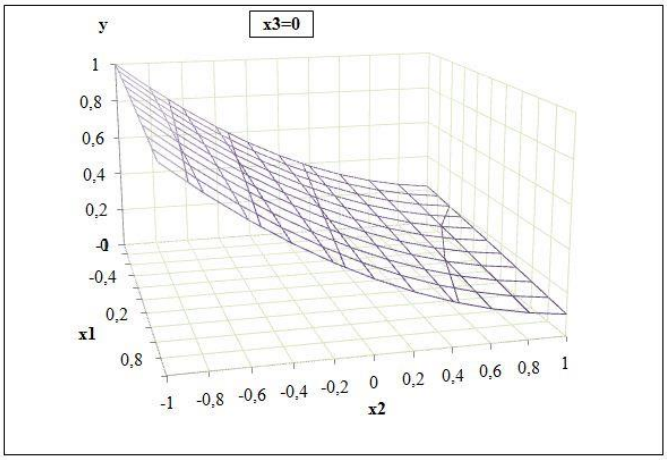

Рис.3. Залежність часу (в кодованих перемінних) від інтенсивності викиду НХР та рівня підготовленості рятувальників

Враховуючи те, що в зоні максимуму за найгіршої ситуації з викидом НХР можна працювати тільки в КЗІЗ 1, інтерпретація моделі (2) з метою ранжування факторів x_1 та x_3 проводилась шляхом аналізу однофакторних моделей (рис.4), отриманих при стабілізації інших на рівнях, які відповідають центру факторного простору та координатам екстремуму y_{max}.

Аналіз отриманих результатів (рис. 4) говорить про те, що в центрі факторного простору, а також низьких значеннях приведеної інтенсивності Ψ та високому рівні підготовленості особового складу на час виконання операції більш суттєво впливає те, наскільки рятувальники правильно обирають модифікацію КЗІЗ. Особливо це помітно на рівнях, які відповідають екстремуму y_{max}. Таким чином, знання конкретного рівня небезпеки біля місця проведення аварійно-рятувальних робіт буде значимо сприяти підвищенню ефективності ліквідації надзвичайної ситуації [16].

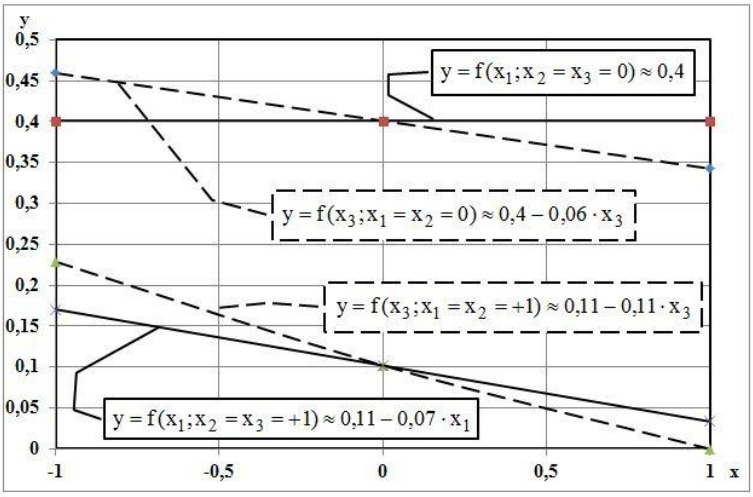

Рис.4. Однофакторні моделі залежності часу з'єднання рукава з системою кріплення (в кодованих перемінних) від інтенсивності викиду та обраного комплекту КЗІЗ в центрі факторного простору та в зоні мінімуму

Висновки:

- показана доцільність використання для багатофакторного аналізу ефективності виконання рятувальниками операцій ліквідації надзвичайних ситуацій в комплексах засобів індивідуального захисту трифакторних нелінійних квадратичних моделей;
- при існуючих комплексах засобів індивідуального захисту найбільш вагомим параметром, який впливає на час виконання операції, є практична підготовленість особового складу, показником якої є може служити кількість тренувальних спроб щодо виконання операції, що розглядається;
- підготовка рятувальників повинна включати не тільки тренування щодо виконання типової операції, але й навчання застосуванню засобів контролю небезпеки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зигель А., Вольф Дж. Модели группового поведения в системе "человек-машина" - М.: Мир, 1976. - 356 с.

2. Чуковский В.Н. Разработка методов обоснования штатной численности боевых расчетов пожарных автомобилей: дис. … кандидата техн. наук: 21.06.02 / Чучковский Вячеслав Николаевич – Харьков, 1998. – 155 с.

3. Стрілець В.М. Розкриття закономірностей виконання газодимозахисниками основних операцій / В.М. Стрілець, П.А. Ковальов, Є.А. Молодика, В.М. Іщук // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності: зб. наук. пр. – 2015. – № 11. – С. 165-172.

4. Стрелец В.М. Раскрытие закономерностей деятельности спасателей при выполнении основных операций в процессе ликвидации аварий с выбросом опасных химических веществ / В.М. Стрелец, М.В. Васильев // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – Москва. – 2013. – № 2. –С. 81-86.

5. Введение в эргономику. / Под ред.В.П.Зинченко. – М., "Сов. радио", 1974. – 351 с.

6. Ковальов П.А. Вдосконалення порівняльної оцінки апаратів на стисненому повітрі / П.А. Ковальов, В.М. Стрілець, М.В. Васильєв // Проблеми надзвичайних ситуацій - № 10 – Харків, Фоліо, 2009 – с.91-98.

7. Стрелец В.М. Разработка нормативов для оценки подготовленности спасателей к работе в комплексе средств индивидуального типа / В.М. Стрелец, М.В. Васильев, В.В. Тригуб // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2014. – № 19. – С.133-141. [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://nuczu.edu.ua/sciencear-

chive/ProblemsOfEmergencies/vol19/19.pdf

8. Васильев М.В. Определение количества тренировочных попыток, после которого можно оценивать качество выполнения задания. / М.В. Васильев, В.М. Стрелец // Техносферная безопасность – 2013. – № 1 – Екатеринбург, Уральский институт ГПС МЧС России – С. 61-64.

9. Методические рекомендации по ликвидации последствий радиационных и химических аварий / [Владимиров В.А., Лукьянченков А.Г., Павлов К.Н. и др.]; под ред. В.А. Владимирова. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС, 2004. – 340 с.

10. Стрілець В.М. Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену: моногр. / В.М. Стрілець, П.Ю. Бородич, С.В. Росоха; НУЦЗУ. – Х.: НУЦЗУ, КП «Міська друкарня», 2012. – 112 с.

11. Васильев М.В. Анализ многофакторной модели функционирования системы «спасатель – средства защиты и ликвидации аварии – чрезвычайная ситуация с выбросом опасного химического вещества». / М.В. Васильев, В.М. Стрелец, В.В. Тригуб // Проблеми надзвичайних ситуацій - № 18 – Харків, Фоліо, 2013 – С.22-33. [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Problems OfEmergencies/vol18/Pns_2013_18_6.pdf

12. Підвищення ефективності роботи рятувальників в засобах індивідуального захисту [Текст] : звіт про НДР (заключ.) / НУЦЗУ; кер. Стрілець В.М.; вик.: Бородич П.Ю. [та ін.]. – Харків, 2012. – 198 с. – ДР 011U0022447

13. Васильев М.В. Представление исходных данных для имитационного моделирования процесса ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом опасного химического вещества. / М.В. Васильев, В.М. Стрелец // Проблеми надзвичайних ситуацій - № 14 – Харків, Фоліо, 2011 – с.53-64.

14. Басманов А.Е. Выбор комплекса средств индивидуальной защиты для обеспечения работ по ликвидации непрерывно действующего источника опасного химического вещества / Басманов А.Е., Говаленков С.С., Васильев М.В. // Проблеми надзвичайних ситуацій - № 13 – Харків, Фоліо, 2011 – с.29-39.

15. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях./ Вознесенский В.А. // М.:Финансы и статистика, 1981. – 263 с.

16. Стрілець В.М. Багатофакторна оцінка виконання типових операцій ліквідації надзвичайних ситуацій в комплексах засобів індивідуального захисту / В.М. Стрілець, В.В. Тригуб // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2016. - Вип. 23. - С. 152-158. [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOf Emergencies/ vol23/Strelec.pdf

V.M. Strelec, Ph.D., Senior Researcher, National University of Civil Protection of Ukraine,
V.V. Trigub, Ph.D., Associate Professor, National University of Civil Protection of Ukraine

REGARDING THE PERFORMANCE OF TYPICAL OPERATIONS EMERGENCY RESPONSE IN THE COMPLEXES OF PPE

A sequence of obtaining and analyzing a multifactor model that characterizes the performance of separate unit operations rescuers. The possibility of obtaining practical recommendations on the results of quantifying the interconnected and nonlinear factors that influence the effectiveness of rescue operations