

В.В. Стрілець, Р.І. Шевченко

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ФОРМУВАННЯ ПОЧАТКОВИХ ТА ГРАНИЧНИХ УМОВ ТЕРМІЧНОЇ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ОСЕРЕДКУ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ, ПОВ'ЯЗАНОЇ З УРАЖЕННЯМ ХІМІЧНО-НЕБЕЗПЕЧНИМИ РЕЧОВИНАМИ

В роботі розглянута гіпотеза щодо можливості оперативного застосування дворівневого захисного пристрою термічної локалізації осередку надзвичайних ситуацій пов'язаної з імпульсним ураженням хімічно-небезпечними речовинами. Відповідно до гіпотези визначені підходи до формування математичного апарату, який складається з математичної моделі попередження надзвичайної ситуації подібного характеру, керуючого алгоритму та методики з їх практичного застосування. З метою реалізації зазначеного підходу в роботі проаналізовано сучасний стан питання формування математичного апарату, визначені наявні недоліки існуючих моделей. З метою усунення останніх проведено аналіз впливу характерних умов технічного та оперативного характеру на ефективність локалізації надзвичайної ситуації пов'язаної із загрозою імпульсного викиду хімічно-небезпечних речовин. В ході дослідження доведено, що формування рекомендацій щодо скорочення часу локалізації наслідків надзвичайних ситуацій, пов'язаних із загрозою імпульсного викиду хімічно-небезпечних речовин за допомогою дворівневого захисного пристрою вимагає отримання багатофакторної математичної моделі попередження надзвичайної ситуації з урахуванням початкових та граничних умов її поширення. Заключним етапом було визначені початкові та граничні умови багатофакторної математичної моделі яка описує поведінку процесу попередження надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: термічна деструкція, надзвичайна ситуація, хімічно-небезпечні речовини, захисний пристрій.

Актуальність проблеми

На сьогодні існуюча система гуманітарного розмінування забезпечує виконання піротехнічними підрозділами всього комплексу завдань та заходів, пов'язаних із вибухонебезпечними предметами першої категорії (ліквідація відбувається після знешкодження на місці виявлення в заздалегідь визначених місцях), проте питання ліквідації предметів імпульсного ураження хімічно-небезпечними речовинами на штальт іприту, зарину тощо, що містяться як у окремих вибухонебезпечних предметах, так і в предметах без вибухово-ініціюючої частини. Особливо гостро це питання стоїть у подіях, що пов'язані з можливими терористичними актами в місцях забезпечення життєдіяльності територій та об'єктів, а також на об'єктах з масовим перебуванням людей.

Стан речей ускладнюється відсутністю на сьогодні в спеціалізованих підрозділах ДСНС України, які залучаються до проведення заходів з гуманітарного розмінування, по-перше, спеціалізованого устаткування, по-друге, єдиних методологічних підходів з проведення відповідних оперативних заходів які повинні базуватися на математичному моделюванні із залученням

високоєфективних розрахункових комп'ютерних систем.

Від так коло питань, які стосуються формування адекватного, достовірного та високоалгоритмічного математичного апарату є актуальною проблемою у сфері національної безпеки держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання математичного моделювання оперативних дій, пов'язаних з локалізацією предметів імпульсного ураження хімічно-небезпечними речовинами, розглядають з двох різних позицій. По-перше, з точки зору аналізу існуючих алгоритмів бойової роботи особового складу піротехнічного підрозділу [1]. По-друге, з точки зору можливого ураження піротехніків [2], або пересічних громадян, що випадково потрапляють у зону можливого хімічного ураження [3].

Питання роботи із спеціалізованими захисними пристроями оперативної термічної деструкції хімічно-небезпечних речовин на сьогодні не розглядаються. Втім використання вибухових речовин [4] у всьому світі при проведенні терористичних актів відродило інтерес як до

дослідження механізмів самих вибухів, так і до вивчення способів запобігання або пом'якшення шкоди від застосування вибухових речовин у взаємодії з елементами, що містять небезпечні хімічні речовини [5]. Емпіричний шлях вирішення задач в цій області [6] підтвердив, що в цій галузі існує низка проблем, насамперед, пов'язаних з відсутністю високоалгоритмічного математичного апарату. Теоретичні дослідження в області захисту від вибуху можуть бути розділені на дві області [7]. По-перше, це розуміння того, як поширюються навантаження від вибухових і ударних хвиль. В більшості випадків аналізується їх проходження через середовище, що має різний фізичний склад [8]. Також здійснюється й аналіз таких навантажень під час проходження через різноманітні геометричні форми [9]. І, по-друге, вивчення пом'якшувачих механізмів для мінімізації збитку від удару і вибухового навантаження [10-12]. Проте, в цих випадках особливості математичного моделювання, які пов'язані з поведінкою та можливим негативним впливом небезпечних хімічних речовин залишилися поза уваги.

Таким чином існуючі оперативні процедури дій рятувальників в умовах попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних з імпульсним характером викидання небезпечних хімічних речовин, вимагають адаптації існуючих керуючих алгоритмів з урахуванням закономірностей виконання типових операцій особовим складом піротехнічного підрозділу, які отримані в результаті комп'ютерного моделювання на базі високоалгоритмічного математичного апарату.

Мета та завдання дослідження

Метою роботи є формування початкових та граничних умов математичної моделі локалізації надзвичайної ситуації за допомогою дворівневого захисного пристрою куполоподібної форми у разі примусової термічної деструкції пристрою імпульсного ураження хімічно-небезпечних речовинами (ПЛУХНР).

Для забезпечення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розробити інформаційну модель процесу локалізації наслідків термічної деструкції ПЛУХНР за допомогою дворівневого захисного пристрою;
2. Дослідити вплив умов технічного та оперативного характеру на ефективність локалізації надзвичайної ситуації пов'язаної із загрозою імпульсного викиду хімічно-небезпечних речовин;
3. Визначити початкові та граничні умови процесу термічної деструкції в умовах використання захисного пристрою.

Виклад основного матеріалу

Виходячи з гіпотези, що за допомогою дворівневого захисного пристрою куполоподібної форми з системою забезпечення примусової термічної деструкції ПЛУХНР, яка здатна циклічно провести попередню дегазацію небезпечного об'єму ХНР, можливо попередити надзвичайну ситуацію, яка пов'язана з імпульсним викидом ХНР на об'єкті з масовим перебуванням людей, відповідна схема фізичної моделі локалізації наслідків спрацювання (або деструкції) ПЛУХНР має вигляд, який наведено на рис.1.

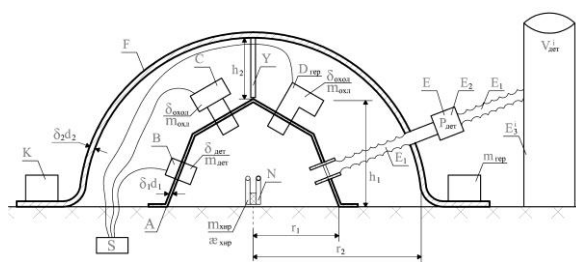


Рис. 1. Схема інформаційної моделі процесу локалізації наслідків термічної деструкції ПЛУХНР за допомогою дворівневого захисного пристрою.

На рис. 1. маємо наступні визначення: N - ПЛУХНР масою $m_{хнр}$ та інтегральним коефіцієнтом ураження $\alpha_{хнр}$; A - 1 рівень куполоподібного захисного пристрою товщинної (d_1), та щільність δ_1 ; F - 2 рівень куполоподібного пристрою з товщинною (d_2), та щільністю матеріалу δ_2 ; B - контейнер деструктора масою ($m_{дестр}$) та щільністю матеріалу деструктора ($\delta_{дестр}$); C - контейнер з окислювачем масою ($m_{ок}$) та щільністю окислювача ($\delta_{ок}$); D - контейнер охолоджувача масою ($m_{охл}$) та щільністю охолоджувача ($\delta_{охл}$); Y - T - образний термічно-стійкий шпиль довжиною (h_2); K - пасивне навантаження із забезпечення герметичності 2-го рівня куполоподібного пристрою масою ($m_{гер}$); S - управляючий блок автоматичної системи деструкції ПЛУХНР та система шлейфів з'єднання з елементами активації контейнерів деструкції (B), окислювача (C) та охолоджувача (D); E - система примусової вентиляції у складі E_1 - гофрових з'єднань; E_2 - компресору з потужністю ($\delta_{дест}$); E_3^i - набору змінних герметичних резервуарів загальним об'ємом $\sum_{i=1}^m V_{дест}^i$ який визначається з умови (1):

$$\sum_{i=1}^m V_{дест}^i > V_{дест}^{\alpha_{хнр}}(m_{хнр}; \alpha_{хнр}), \quad (1)$$

де $V_{дест}^{\alpha_{хнр}}(m_{хнр}; \alpha_{хнр})$ - об'єм прогнозованої кількості продуктів деструкції хімічно-небезпечної речовини масою ($m_{хнр}$) та інтегральним коефіцієнтом ураження $\alpha_{хнр}$; h_1 та r_1 - геометричні

розміри куполоподібного захисного пристрою 1 рівня; r_2 – геометричний розмір площі локалізації продуктів деструкції ПУХНР.

Відповідно, умовою ефективності застосування захисного пристрою є одночасне виконання рівнянь системи (2):

$$\begin{cases} q_1, (T_{дестр}, t_l, K_{гер}) = 0 \\ q_2, (T_{дестр}, t_l, K_{гер}) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

В граничних умовах (3):

$$\begin{cases} q_3, (T_{дестр}, t_l, K_{гер}) \leq q_3^{об.р}(t_l) \\ q_4, (T_{дестр}, t_l, K_{гер}) < \pi r_2^2 \ll q_4^{об.р}(t_l) \end{cases} \quad (3)$$

де q_1, q_2, q_3, q_4 – відповідно наслідки НС за умови ініціюючого джерела у вигляді ПУХНР, а саме q_1 – кількість жертв, q_2 – кількість постраждалих, q_3 – кількість осіб з порушенням умов життєдіяльності, q_4 – площа попередження НС; $T_{дестр}$ – температура деструкції ХНР, яка міститься у ПУХНР, $t_{дестр}$ – час деструкції ХНР, яка міститься у ПУХНР, $K_{гер}$ – коефіцієнт герметичності 2-го рівня куполоподібного захисного пристрою; $q_3^{об.р}(t_l)$ – кількісна характеристика показників наслідків q_3 , а саме максимально допустима кількість осіб з порушенням умов життєдіяльності, що відповідає НС об’єктового рівня поширення за час t_l – ліквідації НС, який визначається за рівнянням (2.4):

$$t_l = t_{снов} + t_{прибут} + t_{експерт} + t_{розгорт} + t_{дест} + t_{експерт}^{//} \quad (4)$$

де $t_{снов}$ – час, що минув з моменту виявлення до моменту прийняття виклику аварійно-рятувальною службою, $t_{прибут}$ – час прибуття спеціалізованого підрозділу аварійно-рятувальної служби, $t_{експерт}^{/}$ – час експертної оцінки визначення складу ПУХНР та орієнтовних параметрів ($m_{хнр}$; $\alpha_{хнр}$) ХНР, $t_{розгорт}$ – час розгортання у бойове положення 2-х рівневого куполоподібного захисного пристрою за типовою схемою, яка наведена на рис 1. (початок розгортання можливо проводити в межах проведення експертної оцінки), $t_{дест}$ – час деструкції ХНР в складі ПУХНР; $t_{експерт}^{//}$ – час проведення експертизи на наявність у повітрі ХНР з причин розгерметизації захисного пристрою під час процесу деструкції, $q_4^{об.р}(t_l)$ – кількісна характеристика показників q_4 , а саме максимально допустима площа поширення НС даного характеру у межах об’єкту з масовим перебуванням людей.

Діапазони варіації вхідних параметрів, а саме ($T_{дестр}, t_l, K_{гер}$) залежить від умов (табл.1), як оперативного так і технічного характеру.

Аналіз табл.1. показує, що попередження НС пов’язаних із загрозою імпульсного викиду хімічно-небезпечних речовин вимагає розробки відповідної оперативно-технічної методики, реалізація якої повинна забезпечити недопущення розвитку надзвичайної події до рівня НС за наслідками, як-то кількість жертв та кількість постраждалих (2) в граничних умовах локалізації НС (3).

Таблиця 1

Вплив умов технічного та оперативного характеру на ефективність локалізації надзвичайної ситуації пов’язаної із загрозою імпульсного викиду хімічно-небезпечних речовин

Вид впливу	Параметр		
	$T_{дестр}$	t_l	$K_{гер}$
Технічні умови	Маса ПУХНР ($m_{хнр}$), інтегровані й коефіцієнт ураження $\alpha_{хнр}$ термохімічні властивості деструктора, окислювача	$t_{експерт}^{/}$ (4) $t_{дест}$ (4) $t_{експерт}^{//}$ (4)	Співвідношення теплового балансу в об’єктах першого та другого рівнів захисного пристрою
Оперативні умови	Якість проведення експертизи з визначення мінімальної необхідної кількості деструктора, окислювача	$t_{прибут}$ (4) Стан фізичної готовності особового складу до робіт в захисному обладнанні з виконання $t_{розгорт}$ (4) $t_{дест}$ (4) $t_{експерт}^{/}$ (4) $t_{експерт}^{//}$ (4)	Кількість особового складу та нормативне додаткове навантаження в умовах захисного обладнання

Визначення рекомендацій щодо скорочення часу локалізації наслідків НС пов'язаних із загрозою імпульсного викиду хімічно-небезпечних речовин за допомогою 2-о рівневого захисного пристрою вимагає отримання математичної моделі попередження НС з урахуванням початкових та граничних умов її поширення.

Вся маса оперативних-технічних засобів повинна бути доставлена до осередку можливої НС в засобах індивідуального захисту, комплектація, яких визначається виходячи з висновків попередньої експертизи ($t'_{експерт}$)

$$m = m_{зах} + m_{гер} + m_{охол} + m_{дест} + m_{окисл}, \quad (5)$$

де $m_{зах}$ – є двохкомпонентним складником, а саме $m_{зах}^I$ - маси металевого куполу (А) термічної деструкції ПУХНР та $m_{зах}^{II}$ – маси $m_{зах}^{IIj}$ шарів (j) герметичної полімерної тканини (F) та $m_{вен}$ елементів вентиляції (E_1), (E_2), (E_3) (6):

$$m_{зах} = m_{зах}^I + \sum_{i=1}^j m_{зах}^{IIj} + m_{вен}; \quad (6)$$

$m_{вен}$ – маса елементів додаткового навантаження (K), що забезпечує виконання граничних умов деструкції ХНР та є відображенням властивостей ($\alpha_{хнр}$, $\delta_{ок}$, $\delta_{дестр}$) та маси експертної оцінки ХНР $m_{хнр}$ (7):

$$\begin{cases} m_{окисл}^{розр} = f_{хнр}(\alpha_{хнр}, \delta_{ок}, \delta_{дестр}, m_{хнр}) \\ m_{дестр}^{розр} = f_{хнр}(\alpha_{хнр}, \delta_{ок}, \delta_{дестр}, m_{хнр}) \end{cases} \quad (7)$$

В той же час фактична маса $m_{окисл}^{фак}$, $m_{дестр}^{фак}$ є величинами детермінованими та обмеженими об'ємом контейнерів відповідно ($m_{кон.окисл}^к$) ($m_{кон.дестр}^к$) від так маємо умову (8):

$$\begin{cases} m_{окисл}^{фак} = \sum_{K=1}^{\varphi_1} m_{кон.окисл}^к \geq m_{окисл}^{розр} \\ m_{дестр}^{фак} = \sum_{K=1}^{\varphi_2} m_{кон.дестр}^к \geq m_{окисл}^{розр} \end{cases} \quad (8)$$

де φ_1 – кількість контейнерів [1...3]; φ_2 – кількість контейнерів деструктора [1...5]; $m_{охолод}$ - маса охолоджувача розрахунково визначається з умови збереження теплового балансу в межах об'єму I та II рівнів захисного пристрою в межах не порушення герметичності першим шаром полімерної тканини у разі теплового навантаження під час деструкції ПУХНР (9):

$$\frac{T^{II}}{T_{дестр}} = K^T < K_{гар}^T, \quad (9)$$

де T^{II} - середня температура в об'ємі II рівня захисного пристрою; K^T - коефіцієнт температурного відношення I та II рівнів; $K_{гар}^T$ - мінімально допустимий коефіцієнт порушення умов герметичності 1-го шару покриття.

Від так з урахуванням рівняння (9) розрахункова маса охолоджувача $m_{охол}^{розр}$ визначається як відповідне відображення за виразом (10):

$$m_{охол}^{розр} = f_{хнр}(K^T, \delta_{охол}). \quad (10)$$

Фактична необхідна маса $m_{охол}^{фак}$, є також величиною детермінованою, яка обмежується об'ємом відповідного контейнеру $m_{кон.охол}^к$, від так маємо умову (11):

$$m_{охол}^{фак} = \sum_{K=1}^{\varphi_3} m_{кон.охол}^к \geq m_{охол}^{розр}, \quad (11)$$

де φ_3 - кількість контейнерів охолоджувача в межах діапазону [1..3].

Інші технічні умови та умови оперативного характеру (табл. 1.) є умовами граничного типу, що доповнюють граничні умови (3) визначають діапазон існування кінцевого рішення математичної моделі, яка формується у вигляді сукупності рішень окремих задач системи рівнянь (2).

Висновки

В роботі вирішена актуальна задача формування початкових та граничних умов математичної моделі локалізації надзвичайної ситуації за допомогою дворівневого захисного пристрою куполоподібної форми у разі примусової термічної деструкції пристрою імпульсного ураження хімічно-небезпечних речовинами.

1. Розроблена інформаційну модель процесу локалізації наслідків термічної деструкції ПУХНР за допомогою дворівневого захисного пристрою. Схема визначає всі компоненти захисного пристрою термічної деструкції, їх геометричні та функціональні умови розміщення;

2. Із умов оперативного застосування захисного пристрою досліджено вплив умов технічного та оперативного характеру на ефективність локалізації надзвичайної ситуації пов'язаної із загрозою імпульсного викиду хімічно-небезпечних речовин;

3. Визначені початкові та граничні умови математичної моделі термічної локалізації осередку надзвичайної ситуації, яка пов'язана з імпульсним ураженням хімічно-небезпечними речовинами.

Виходячи з цього, подальші дослідження повинні бути спрямовані на формування математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій пов'язаних із загрозою імпульсного викиду

хімічно-небезпечних речовин та відповідної методики на її основі, яка забезпечить скорочення часу локалізації наслідків надзвичайної події без зміни рівня безпеки цивільних осіб та особового складу аварійно-рятувального підрозділу за допомогою мобільного 2-о рівневого захисного.

References

1. Xiao, T., Horberry, T., Cliff, D. (2015) Analysing mine emergency management needs: a cognitive work analysis approach. *International Journal of Emergency Management (IJEM)*, 11, 191–208.
2. Toan Dang Qua. (2015) Train-the-Trainer Trauma Care Program in Vietnam. *Journal of Conventional Weapons Destruction*, 19, 12–24.
3. Smith, A. (2017) An APT Demining Machine. *Journal of Conventional Weapons Destruction*, 21, 187–192.
4. Hadjadj, A., Sado, O. (2013) Shock and blast wave mitigation. *Shock Waves*, 23, 1–4.
5. Tyas, A., Rigby, S. E., Clarke, S. D. (2014) Preface on special edition on blast load characterization. *Int J ProtStruct*, 7, 302–304.
6. Blakeman, S. T., Gibbs, A. R., Jeyasingham, J. (2008) A study of mine resistant ambush protected (MRAP) vehicle as a model for rapid defence acquisitions. *MBA Professional Report Monterey Naval School*, 9, 312–324.
7. Sherkar, P., Whittaker, A. S., Aref, A. J. (2010) Modeling the effects of detonations of high explosives to inform blast-resistant design. *Technical Report MCEER-10-0009*, 19, 112–122.
8. Armor Thane Reduces the Impact from Bombs and Bullets. (n.d.) Retrieved from <https://www.armorthane.com/protective-coating-applications/blast-mitigation-protection.htm>
9. Togashi, E., Baum, J. D., Mestreau, E., Löhner, R., Sunshine, D. (2010) Numerical simulation of long duration blast wave evolution in confined facilities. *Shock Waves*, 20, 409–424.

10. Snyman, I. M., Mostert, F. J., Olivier, M. (2013) Measuring pressure in a confined space. *27th international symposium on ballistics*, 22–26.
11. Changgen Feng, Baoming Li. (2018) Defence Technology. *1st International Conference on Defence Technology*, 14, 357–642.
12. Toan, Dang Quang (2015) Train-the-Trainer Trauma Care Program in Vietnam. *Journal of Conventional Weapons Destruction*, 19, 57–64.

Рецензент: д.т.н., професор, головний науковий співробітник наукового відділу з проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки науково-дослідного центру О.Є. Басманов, Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

Автор: СТРИЛЕЦЬ Валерій Вікторович
науковий співробітник наукового відділу проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – vstrelec@yandex.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1913-7878>

Автор: ШЕВЧЕНКО Роман Іванович
доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник наукового відділу проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки
Національний університет цивільного захисту України
E mail – shevchenko605@i.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9634-6943>

FORMATION OF BEGINNING AND BORDER CONDITIONS OF THERMAL LOCALIZATION OF THE EMERGENCY SITUATION ASSOCIATED WITH CHEMICAL-DAMAGES

V. Strelets, R. Shevchenko

National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

The urgent problem of formation of initial and boundary conditions of mathematical model of emergency localization with the help of a two-level dome-shaped protective device in case of forced thermal destruction of the device of impulse damage of chemical-dangerous substances is solved in the work.

The solution to this problem was based on the hypothesis of the possibility of rapid application of a two-level protective device for the thermal localization of a cell of emergencies related to the impulse lesion of chemically dangerous substances. According to the hypothesis, approaches to the formation of a mathematical apparatus, which consists of a mathematical model of prevention of an emergency of a similar nature, the control algorithm and methods for their practical application, are determined. In order to implement this approach, the paper analyzes the current state of formation of the mathematical apparatus, identifies the existing shortcomings of the existing models. In order to eliminate the latter, the impact of characteristic technical and operational conditions on the effectiveness of localization of emergency situation related to the threat of impulse emission of chemical hazardous substances was analyzed. In the course of the research it was proved that the formation of recommendations for reducing the time of localization of the consequences of emergencies related to the threat of impulse release of chemical-dangerous substances by means of a two-level protective device requires obtaining a multifactor mathematical model of emergency prevention taking into account its initial and boundary conditions. The final step was to determine the initial and boundary conditions of a multifactor mathematical model that describes the behavior of the emergency prevention process.

Based on this, further research should be aimed at developing a mathematical model of emergency prevention related to the threat of impulse release of chemical-dangerous substances and appropriate methodology based on it, which will reduce the time of localization of the consequences of an emergency without changing the level of safety of civilians and personal the composition of the emergency rescue unit with the help of a mobile protective device.

Keywords: thermal destruction, emergency, chemical hazardous substances, protective device