

УДК 621.3

С. В. Говаленков, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0001-5610-814X)

С. С. Говаленков, к.т.н., нач. від. (ORCID 0000-0002-1894-1971)

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ЕКСПРЕС-ОЦІНКА РІВНЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН В ПОВІТРІ

Об'єктом дослідження є надзвичайні ситуації на хімічно небезпечних об'єктах, пов'язані з викидом небезпечних хімічних речовин в повітря. Вирішується проблема забезпечення керівника ліквідації надзвичайної ситуації експрес-оцінками рівня концентрації небезпечної хімічної речовини, оперативного і максимально точного визначення зон ураження та їх розмірів для безпечного перебування в них особового складу. В роботі запропоновано використання апаратно-програмного комплексу для прогнозування рівня концентрації небезпечної речовини в повітрі, визначення зон безпечного розташування сил і засобів, прийняття рішення про використання необхідних засобів індивідуального захисту. Отримані результати дозволяють керівнику ліквідації надзвичайної ситуації оцінити необхідну кількість сил і засобів ще в процесі слідування до місця виклику. Особливістю отриманих результатів є застосування стохастичних математичних моделей при побудові апаратно-програмного комплексу та його використання для експрес-оцінки рівня концентрації небезпечної речовини в повітрі. Це дозволило отримати конкретні рекомендації щодо порядку визначення раціональної тактичної схеми застосування сил і засобів аварійно-рятувальних підрозділів та їх безпеки, а під час дії воєнного стану – організації взаємодії з іншими структурними підрозділами держави. Такий підхід до рішення є більш інформативним та скорочує час прийняття оптимального рішення у порівнянні з існуючими підходами, моделі та методики яких потребують значної кількості вхідних параметрів, значного часу на їх вимірювання. Сферою та умовами практичного використання отриманих результатів є застосування експрес-оцінок рівня концентрації небезпечних хімічних речовин для прогнозування границь безпечних зон для особового складу задіяних підрозділів при надзвичайних ситуаціях, пов'язаних з викидом цих речовин на основі розробленого апаратно-програмного комплексу.

Ключові слова: експрес-оцінка рівня концентрації небезпечної хімічної речовини, апаратно-програмний комплекс

1. Вступ

У всіх країнах світу, в тому числі в Україні, проводяться інтенсивні дослідження по розробці та здійсненню широкого комплексу мір з метою ліквідації техногенних аварій, в тому числі на хімічно небезпечних об'єктах (ХНО). Ця проблема стала ще більш актуальною в результаті агресії росії проти України та нанесенню бомбових та ракетних ударів по об'єктах критичної інфраструктури України протягом всього останнього року, в результаті чого виникли сотні пожеж і вибухів, що спричинило загибель та поранення великої кількості людей.

Завдання по охороні таких об'єктів у воєнний час виконуються особовим складом підрозділів ЗСУ, МВС, ДСНС. Вони також беруть участь у ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (НС) на об'єктах, що охороняються.

Озброєння та екіпіровка особового складу груп визначаються рішенням командира військової частини (підрозділу). В усіх випадках особовий склад групи евакуації забезпечується засобами захисту органів дихання відповідного типу. Військовослужбовці, залучені для надання допомоги та рятування потерпілих, забезпечуються ізолюючими протигазами.

У разі виникнення НС на об'єкті, що охороняється спеціальними підрозділами, пов'язаної з викидом небезпечних хімічних речовин (НХР) організується оповіщення, хімічне спостереження, забезпечення особового складу протигазами, [civil security. DOI: 10.52363/2524-0226-2023-37-10](https://doi.org/10.52363/2524-0226-2023-37-10)

а у разі необхідності й індивідуальними засобами захисту шкіри [1].

В таких умовах перед командиром відповідного підрозділу постає питання оперативного і максимально точного визначення зон ураження та їх розмірів для безпечного перебування в них особового складу в наявних за типами засобах захисту органів дихання.

Дії підрозділів, варт в умовах викиду НХР, визначаються обстановкою, що склалася, і повинні бути спрямовані на виконання поставленого завдання та забезпечення безпеки особового складу, а також надання допомоги адміністрації об'єкта в ліквідації наслідків НС.

Прогнозування зон (районів) хімічного зараження, збір та обробка даних хімічної розвідки здійснюється у штабах відповідних підрозділів розрахунково-аналітичними групами, в окремо дислокованих підрозділах – командирами (штабами) [2].

Таким чином, наявні методи розрахунку розмірів зон ураження при вибухах та викидах НХР не дозволяють визначати їх оперативно та з необхідною точністю, що ускладнює прийняття командиром підрозділу якісного рішення для ліквідації наслідків НС та забезпечення безпеки особового складу.

Таким чином, забезпечення достовірного та оперативного визначення розмірів зон ураження при вибухах та викидах НХР є актуальною проблемою.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В Європейському Союзі прийнята Директива 2012/18/ЄС Європейського парламенту та Ради Європи від 4.07.2012 року про контроль за загрозами значних небезпек, пов'язаних з НХР (Севезо III) [3].

В Україні це питання регламентується розпорядженнями Кабінету Міністрів України від 22.01.2014 року № 37-р «Про схвалення Концепції управління ризиками виникнення НС техногенного та природного характеру» [4]. Концепція визначає, що відповідно до основних принципів міжнародного права у сфері хімічної безпеки та поводження з хімічними речовинами проблема підвищення рівня хімічної безпеки може бути розв'язана шляхом створення та сприяння функціонування системи забезпечення хімічної безпеки, запровадження безперервної оцінки ризику заподіяння шкоди життю і здоров'ю людей у процесі поводження з хімічними речовинами, підвищення рівня науково-технічного забезпечення вирішення питань що до хімічної безпеки в умовах воєнного стану.

У Сполучених Штатах Америки НС, яка має поширення на площі певного територіального округу визначають як НС місцевого рівня, а для її локалізації та ліквідації створюються місцеві комітети по плануванню НС [5]. Але в таких планах не використовуються методи прогнозування розвитку аварії. Найчастіше на території округів виникають саме НС, які ліквідуються із залученням місцевих аварійно-рятувальних підрозділів (АРП). Якщо сил і засобів АРП буде недостатньо, то місцеві комітети звертаються за допомогою до федеральних органів влади. Аналогічним чином побудована система реагування на НС у Великій Британії та Україні [6, 7], де до ліквідації НС залучаються місцеві АРП із залученням органів місцевого самоврядування. При цьому, керівник ліквідації не забезпечений автоматизованими системами підтримки прийняття рішення.

Необхідно додати, що важливим показником, який відображає рівень оперативної готовності АРП є час реагування, який включає в себе час, витрачений на: диспетчеризацію, збір, виїзд сил і засобів (СіЗ), прямування до місця виклику,

оперативне розгортання на місці виклику, локалізацію та ліквідацію наслідків НС, але ці розрахунки, як правило, відображені тільки для одного варіанту розвитку НС [8]. Подолання таких труднощів можливо шляхом використання сучасних інформаційних технологій. В США основні принципи реагування на НС, а також структури, які здійснюють керування реагуванням, визначено в документі «Національна система реагування» [9]. Організацію та порядок реагування на НС у США регламентують стандарти американської Національної Асоціації Протипожежного Захисту. Регламент порядку дій, вимоги щодо підготовки пожежних рятувальників, вимоги до засобів індивідуального захисту та обладнання визначаються в [10]. Для керівника ліквідації НС важливо заздалегідь знати які спеціальні засоби індивідуального захисту треба використовувати і в яких межах зони ураження. Згідно визначених у [11] стандартів, здійснюється організація та проведення пошуково-рятувальних робіт підрозділами АРП, регламентують часові нормативи реагування на НС (диспетчеризація, час прямування, час оперативного розгортання) та критерії утворення для професійних підрозділів АРП у відповідному населеному пункті. Однак, такі критерії не пропонують способів скорочення часу евакуації людей з небезпечних зон. Стандартом [12] визначені організаційні вимоги проведення аварійно-рятувальних робіт (АРР) під час ліквідації НС, а також вимоги щодо безпеки праці пожежних-рятувальників. Проте розрахунок межі зон безпечного розміщення сил і засобів не виконується в оперативному режимі.

В [13, 14] для визначення необхідного раціонального видового та кількісного складу СіЗ АРП можуть використовуватися системи для підтримки прийняття рішень, наведено специфіку та рівні прийняття рішень, які стосуються локалізації та ліквідації НС. Для визначення необхідної кількості рятувальників та оперативних відділень, необхідних для відправлення до місця виклику використовується марківська модель. Така модель враховує очікувану інтенсивність надходження викликів, ймовірний рівень складності виклику та чисельність оперативних відділень у підрозділах АРП. Але ці розрахунки, як правило, відображені тільки для одного варіанту розвитку НС, тому доцільно використовувати апаратно-програмні комплекси в якості отримання експрес-оцінки рівня концентрації НХР.

У роботі [15] відзначено, що модель реагування на НС в США та Канаді стала основою для створення подібних моделей в інших країнах світу, але проведені дослідження довели суттєві похибки такого підходу, тому останнім часом науковці багатьох країн, у тому числі України, проводять дослідження по запровадженню стохастичних моделей для досліджень по запобіганню виникнення НС.

Таким чином, в розвинутих країнах світу, таких як США, Канада, Японія, у країнах Євросоюзу ефективність реагування на надзвичайні ситуації досягається як за допомогою спеціальних технічних засобів, так і застосуванням різних методів прогнозування таких ситуацій. Це стосується і надзвичайних ситуацій, пов'язаних з викидом НХР.

В Україні питанням, що розглядаються, присвячено також велику кількість публікацій. Наприклад в роботі [16] вказано, що серед техногенних загроз найбільшу небезпеку для території та населення України становлять радіаційна, хімічна, пожежна та вибухова небезпеки. Застосуванню стохастичних математичних моделей для прогнозування безпечного перебування людей при аваріях, пов'язаних з викидом НХР уваги не приділено. Визначенню розмірів зон безпечного перебування людини при аваріях на хімічно небезпечних об'єктах присвячені роботи Созніка О. П. і Захаренко О. В. [17], а прогнозуванню основних параме-

трів аварій, пов'язаних з викидом хімічних речовин присвячені роботи Прохача Є. Ю. [18]. Автори не розглядали можливість використання сучасних інформаційних технологій для рішення поставлених задач. Особливості захисту особового складу при ліквідації аварій, пов'язаних з викидом НХР присвячені роботи Стрільця В. М. [19]. Математичному моделюванню та методам локалізації надзвичайних ситуацій, обумовлених викидом НХР присвячено цикл праць Басманова О. Є., наприклад [20]. Однак, як показав детальний аналіз цих та інших робіт, неможливо отримати конкретні рекомендації щодо порядку визначення раціональної тактичної схеми застосування сил і засобів підрозділів МВС та ДСНС та їх безпеки, а під час дії воєнного стану і взаємодії з підрозділами ЗСУ.

Слід відзначити, що існуючі підходи, моделі та методики потребують значної кількості вхідних параметрів, значного часу на їх вимірювання в ході проведення розвідки спеціальними підрозділами та спеціальної техніки й обладнання, що в умовах обмеженого часу та небезпек від бойових дій є неприпустимим.

Таким чином, важливою та невирішеною частиною розглянутої проблеми є недосконалість апаратно-програмної реалізації методів визначення концентрації небезпечних хімічних речовин в зоні надзвичайної ситуації.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є використання експрес-оцінок рівня концентрації небезпечних хімічних речовин для прогнозування границь безпечних зон для особового складу задіяних підрозділів при надзвичайних ситуаціях, пов'язаних з викидом цих речовин на основі розробленого апаратно-програмного комплексу, що реалізує математичні моделі попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій, обумовлених техногенними викидами в атмосферу небезпечних хімічних речовин.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– дослідити можливість застосування апаратно-програмного комплексу для експрес-оцінок концентрації небезпечної речовини в повітрі та його використання для визначення необхідних засобів індивідуального захисту особового складу;

– розробити схему використання апаратно-програмного комплексу для отримання експрес-оцінок концентрації небезпечних хімічних речовин в зоні надзвичайної ситуації.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження є процес попередження НС, які пов'язані з викидом небезпечних хімічних речовин. Предметом дослідження обрано варіант реалізації процесу попередження НС, які пов'язані з викидом небезпечних хімічних речовин. Робоча гіпотеза полягала в тому, що варіант реалізації полягає у використанні сучасних комп'ютерних технологій для оцінки концентрації небезпечної хімічної речовини в атмосфері та її зміни у часі. Для перевірки цієї гіпотези запропоновано використання розробленого апаратно-програмного комплексу та його схему, що реалізує математичні моделі попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій, обумовлених техногенними викидами в атмосферу небезпечних хімічних речовин.

В основі методів дослідження поєднуються аналітичні та чисельні методи, моделювання поширення первинної і вторинної хмари небезпечної хімічної речовини проводилося на підставі теорії турбулентної дифузії з використанням апарату теорії ймовірностей і теорії випадкових процесів. Побудовані в роботі моделі

поширення розповсюдження небезпечної хімічної речовини в атмосфері були реалізовані у вигляді апаратно-програмного комплексу, призначеного для роботи в 32-розрядних операційних системах Windows (Win 7, Win 10, XP, Vista). Для його розробки використовувалося середовище програмування Delphi XE6.

5. Застосування апаратно-програмного комплексу для експрес-оцінок концентрації небезпечної речовини в повітрі

Надзвичайні ситуації, які пов'язані з викидом НХР мають наступні основні небезпеки:

- токсична дія на людину через органи дихання, слизову оболонку та шкіру;
- виникнення вибухонебезпечної суміші НХР з повітрям (для горючих речовин).

Тому, з одержанням відомостей про виникнення НС з викидом НХР командир військової частини (підрозділу) оцінює обстановку, приймає рішення, видає розпорядження та організує [2]:

1. Сповіднення особового складу військової частини (підрозділу).
2. Прогнозування, розвідку, збір та аналіз даних хімічної обстановки.
3. Видачу особовому складу варт та підрозділів засобів індивідуального захисту та організація хімічної розвідки.
4. Переміщення командних пунктів, резервів військових частин, варт, особового складу у сховища.
5. Виведення особового складу, вільного від служби, з осередку ураження.
6. Заміну уражених чатових, відновлення боєздатності варт (підрозділів).
7. Зміну способів служби чатовими відповідно до видів зараження, внесення, за погодженням з адміністрацією об'єкта, що охороняється, змін у пропускний режим, випуск та евакуацію через КПП співробітників об'єкта.
8. Виділення особового складу, згідно з планом взаємодії, у підпорядкування адміністрації або ОВС для оточення місця аварії та надання допомоги потерпілим співробітникам об'єкта.

В умовах НС, перед командиром військової частини (підрозділу) постає задача визначення безпечних зон та їх розмірів для перебування в них особового складу. Ці задачі доцільно вирішувати на основі прогнозування розподілу концентрації НХР у повітрі.

Існуючі методики не враховують можливість випадкових змін концентрації НХР, яка може бути викликана, наприклад, випадковими пульсаціями напряму і швидкості вітру. Не існує також і оцінок похибки прогнозування концентрації ОХВ в повітрі. Для усунення цих недоліків може слугувати стохастична модель розподілу концентрації НХР в повітрі [21].

Критерієм безпечного перебування людини в засобах захисту в зоні надзвичайної ситуації, пов'язаної з викидом хімічних речовин, є виконання співвідношення:

$$K_3 \geq K_{\text{тн}}, \quad (1)$$

де K_3 – коефіцієнт захисту, що забезпечується даним засобом захисту; $K_{\text{тн}}$ – коефіцієнт токсичної небезпеки середовища:

$$K_{\text{тн}} = \frac{q_{\text{факт}}}{q_{\text{ГДК}}},$$

де $q_{\text{факт}}$ – фактична концентрація НХР в повітрі; $q_{\text{ГДК}}$ – гранично допустима концентрація хімічної речовини.

У табл. 1 приведені гранично допустимі концентрації для деяких хімічних речовин, що використовуються в промисловості.

Коефіцієнт захисту K_3 є однією з основних характеристик засобів індивідуального захисту органів дихання і позначає кратність пониження концентрації НХР, що знаходиться в повітрі робочої зони, що забезпечується даним засобом захисту. Коефіцієнти захисту деяких засобів індивідуального захисту органів дихання, що використовуються при ліквідації надзвичайних ситуацій, наведені в табл. 2 [19]. Використання даних (табл. 1, 2) дозволяє на підставі оцінки середньої концентрації НХР в повітрі визначити зони безпечного перебування людей і необхідні для цього засоби захисту.

Табл. 1. Гранично допустимі концентрації в робочій зоні

| Речовина | ГДК в робочій зоні, мг/м ³ |
|------------------|---------------------------------------|
| Аміак | 20,0 |
| Діоксид азоту | 2,0 |
| Діоксид сірки | 10,0 |
| Метан | 7000,0 |
| Оксид вуглецю | 20,0 |
| Сірчана кислота | 1,0 |
| Фтороводень | 0,05 |
| Хлор | 1,0 |
| Хлористий водень | 5,0 |

Табл. 2. Коефіцієнти захисту для засобів індивідуального захисту органів дихання

| Засіб індивідуального захисту | Коефіцієнт захисту K_3 |
|--|--------------------------------|
| Регенеративний дихальний апарат (РДА) | $28,5 \cdot 10^3$ |
| Апарат на стислому повітрі (АСП) зі шлемом-маскою | $329,7 \cdot 10^3$ |
| Апарат на стислому повітрі (АСП) з маскою з підпором повітря | $468,7 \cdot 10^3$ |
| Респіратор РУ-60Му з фільтрами А, Б, Г, КД | 15 |
| Пневмо-полумаска ППМ-1 | $5 \cdot 10^3$ (для аерозолів) |

З проведеного в [21] аналізу надзвичайних ситуацій, пов'язаних з викидом НХР слідує, що такі аварії здатні завдати загрозу життю і здоров'ю людей, а також великих економічних збитків. Це вимагає від керівника ліквідації НС вжити швидких і ефективних заходів по її локалізації і ліквідації, але існуючі методики не надають керівнику такої можливості.

Підвищити ефективність дій аварійно-рятувальних підрозділів можна як за допомогою спеціальних технічних засобів, так і застосуванням різних методів прогнозування НС, які використовують математичні моделі.

Запропоновані в [21] моделі були покладені в основу апаратно-програмного комплексу, призначеного для оперативної підтримки процесу прийняття рішення керівником ліквідації НС у бойовій обстановці або в ході штабних навчань. Математична модель попередження НС, обумовлених техногенним викидом в атмосферу НХР, являє собою систему з трьох аналітичних залежностей, перша з яких дозволяє розрахувати максимально можливі межі небезпечних зон при нескінченному у часі розповсюдження НХР в атмосфері в результаті техногенного викиду; друга дозволяє розрахувати (уточнити) межі небезпечних зон після закінчення, кінцевого у часі, довготривалого викиду; третя дозволяє розрахувати (уточнити)

зміни меж небезпечних зон, утворених у разі короткотривалого викиду.

Алгоритм використання апаратно-програмного комплексу дозволяє в оперативному режимі оцінювати концентрацію небезпечної речовини в атмосфері та її зміни у часі, розраховувати зони безпечного розміщення сил і засобів, приймати рішення по використанню спеціальних засобів індивідуального захисту.

Графічне представлення зон концентрацій в районі аварії дозволяє керівнику ліквідації НС оперативно визначити засоби індивідуального захисту особового складу задіяному в локалізації надзвичайної ситуації, вибрати місця під'їзду і розміщення пожежних автомобілів, постів газової безпеки. Апаратно-програмний комплекс дозволяє в першому наближенні побудувати план локалізації аварії, розрахувавши необхідну кількість сил і засобів для створення водяної завіси, що обмежує зону хімічного зараження.

Таким чином, застосування апаратно-програмного комплексу дозволяє отримати конкретні рекомендації щодо порядку визначення раціональної тактичної схеми застосування сил і засобів аварійно-рятувальних підрозділів та їх безпеки, а під час дії воєнного стану – організації взаємодії з іншими структурними підрозділами держави. Такий підхід до рішення є більш інформативним та скорочує час прийняття оптимального рішення у порівнянні з існуючими підходами, моделі та методики яких потребують значної кількості вхідних параметрів, значного часу на їх вимірювання. Сферою та умовами практичного використання отриманих результатів є застосування експрес-оцінок рівня концентрації НХР для прогнозування границь безпечних зон для особового складу задіяних підрозділів при надзвичайних ситуаціях, пов'язаних з викидом цих речовин.

6. Розробка схеми використання апаратно-програмного комплексу

Побудовані в роботі [21] моделі розповсюдження НХР в атмосфері реалізовані у вигляді апаратно-програмного комплексу, призначеного для роботи в 32-розрядних операційних системах Windows (Win 7, Win 10, XP, Vista). Структурно комплекс складається з наступних підсистем (рис. 1):

- бази даних нормативних документів, що включає знаки небезпеки речовин, кольорові й умовні позначення при транспортуванні НХР, ідентифікаційних номерів небезпеки;

- оперативної бази даних, що включає алгоритми дій керівника ліквідації аварії в типових ситуаціях, а також аварійні картки;

- підсистеми моделювання, призначеної для оперативного розрахунку необхідної кількості сил і засобів для локалізації аварії;

- підсистеми тестування, призначеної для проведення штабних навчань;

- підсистеми вводу-виведенню, що забезпечує введення початкових даних і виведення результатів на екран, принтер, в файл.

База даних нормативних документів дозволяє керівнику ліквідації НС оперативно отримати інформацію про властивості хімічних речовин в зоні НС, його небезпеці для особового складу АРП, прийняти рішення про необхідні засоби захисту (рис. 2, 3). У базі даних зберігаються алгоритми дій керівника ліквідації НС (рис. 4) які дозволяють відпрацьовувати типові ситуації і дії АРП в ході штабних навчань.

Картки аварійних ситуацій містять відомості про пожежо- і вибухонебезпеку речовини, її фізичні властивості, небезпеку для людини, засоби індивідуального захисту, техніку безпеки при ліквідації надзвичайної ситуації. Картка аварійної ситуації може бути виведена на друк або в текстовий редактор Microsoft Word (рис. 5).

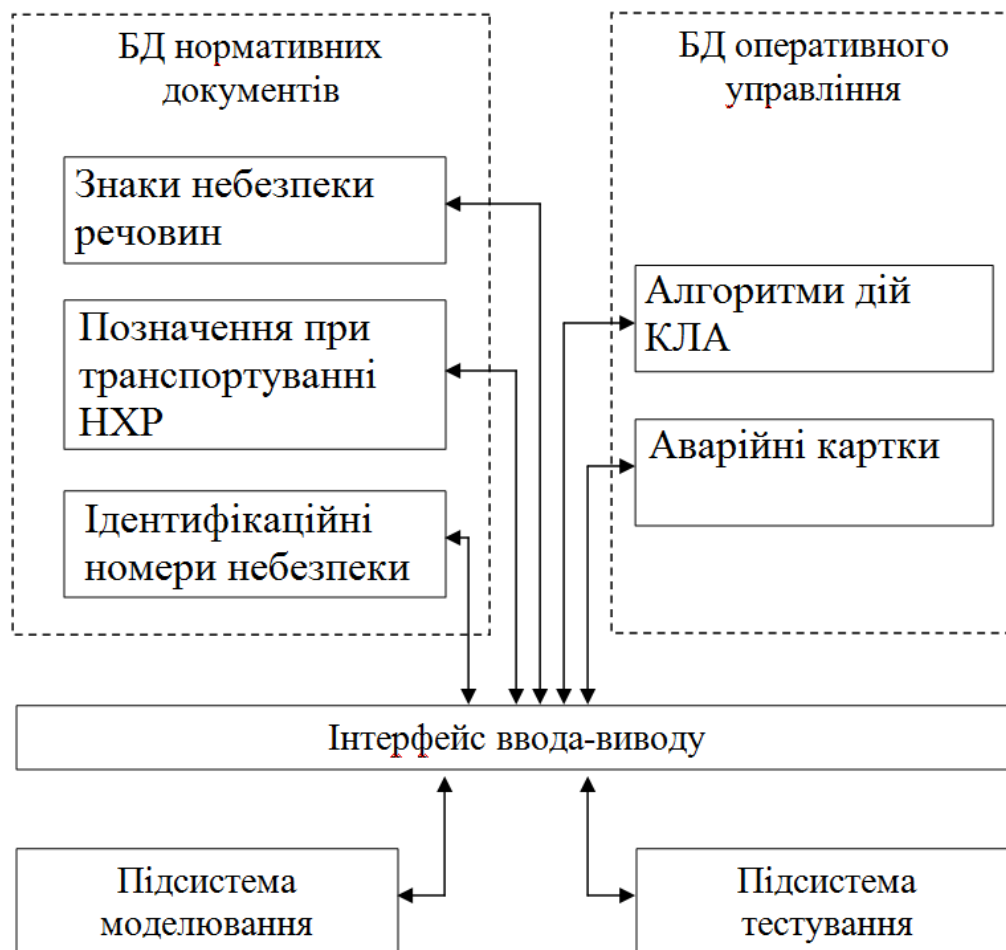


Рис. 1. Структурна схема апаратно-програмного комплексу

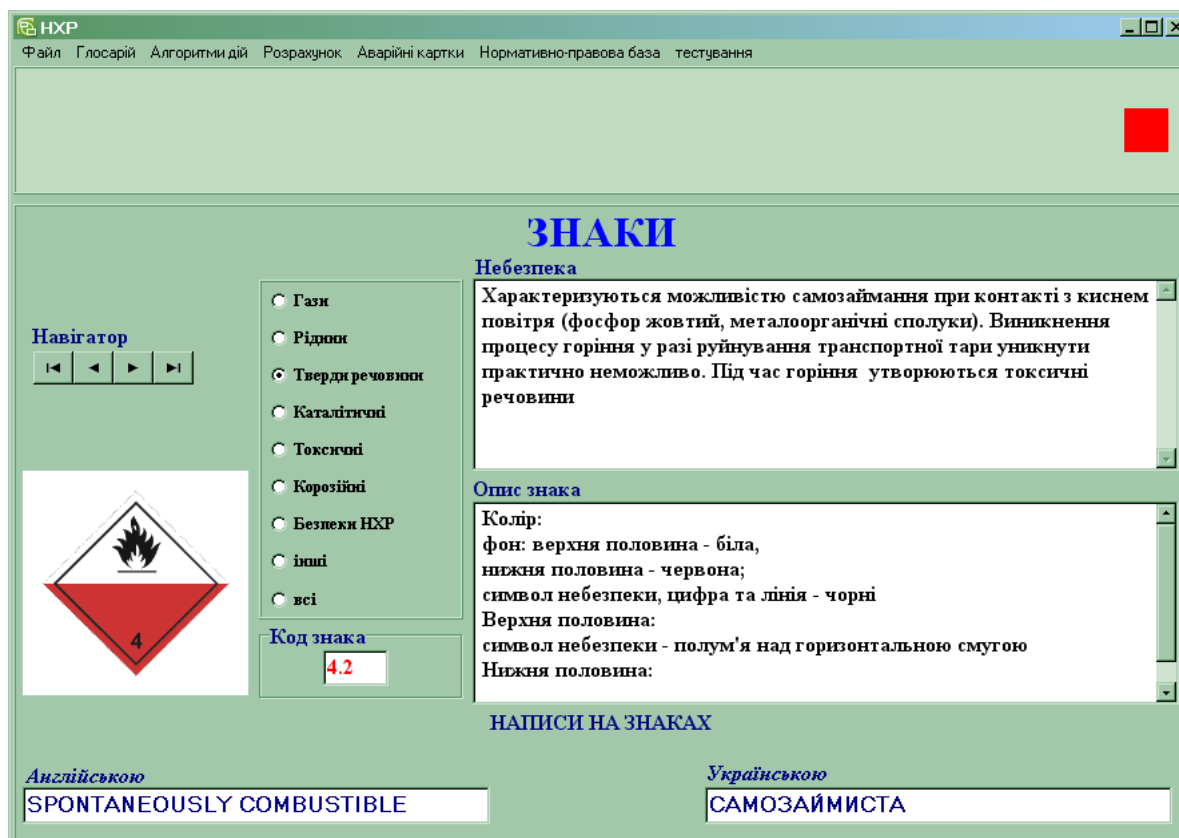


Рис. 2. База даних нормативних документів: знаки небезпеки речовин

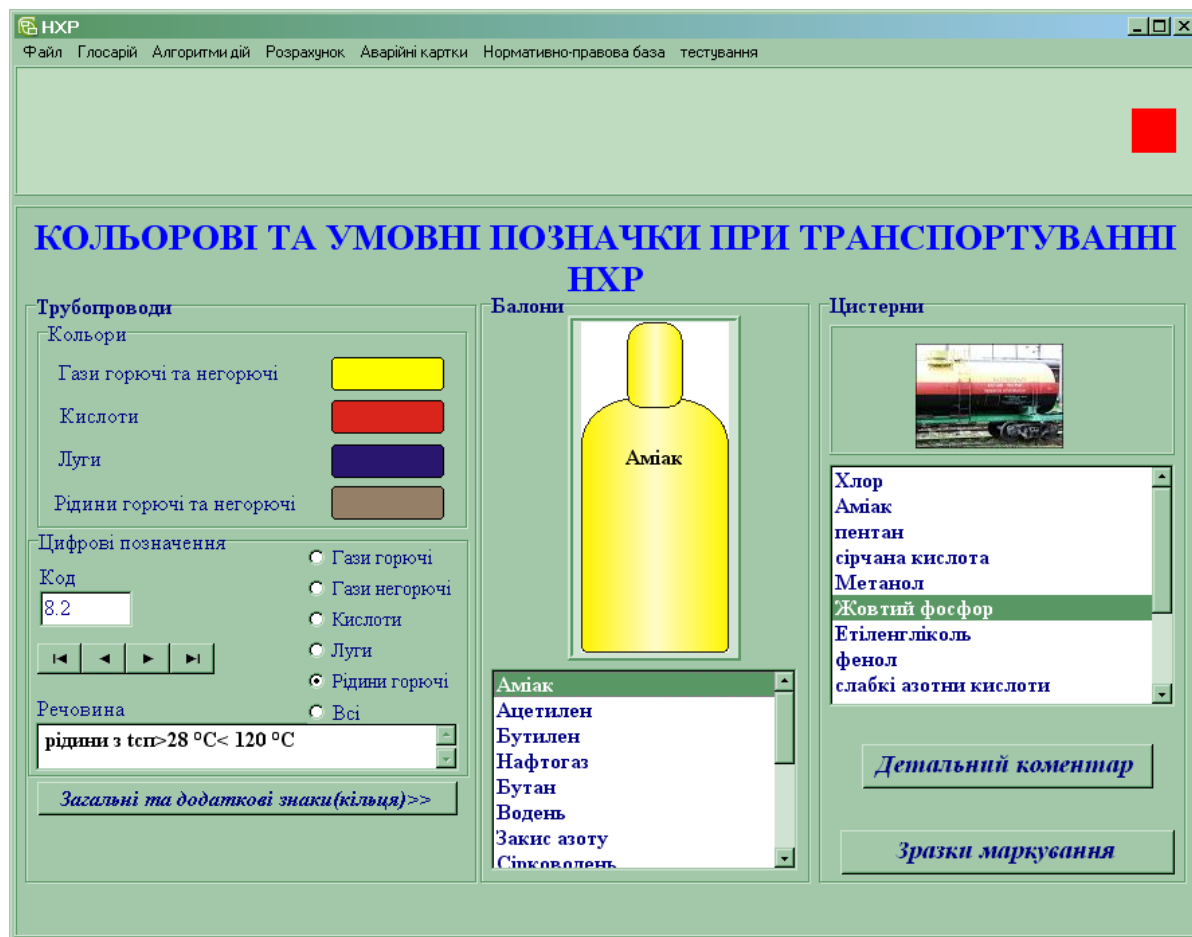


Рис. 3. База даних нормативних документів: кольорові й умовні позначення при транспортуванні небезпечних хімічних речовин

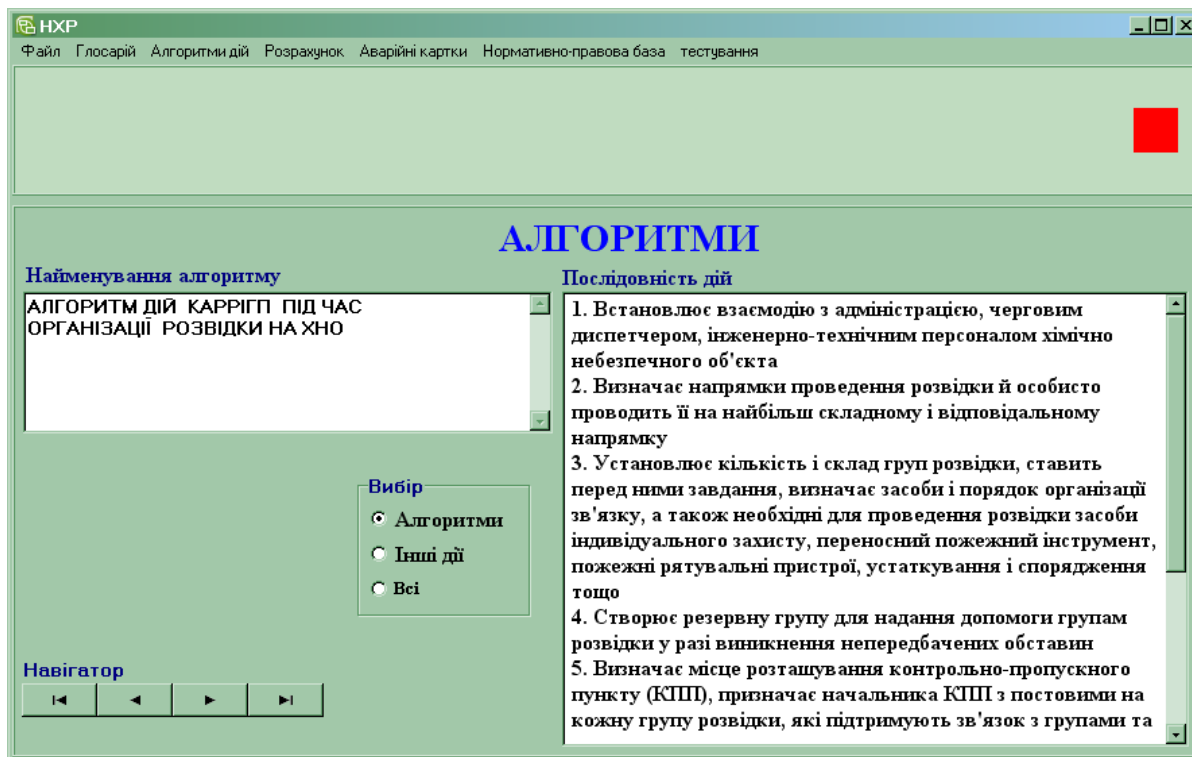


Рис. 4. База даних оперативного управління: алгоритми дій керівника ліквідації надзвичайної ситуації

Побудовані в [21] моделі поширення НХР в повітрі реалізовані у вигляді підсистеми моделювання надзвичайної ситуації. Програмний комплекс дозволяє в оперативному режимі оцінити концентрації небезпечної речовини в повітрі та їх зміну з часом, визначити зони безпечного розташування сил і засобів, прийняти рішення про використання необхідних засобів індивідуального захисту (рис. 6). Для цього в таблиці параметрів (2) на рис. 6 вказується речовина, інтенсивність її викиду, параметри швидкості вітру та ін. Панель команд (1) дозволяє провести розрахунки, зберегти параметри НС у файл або відкрити вже створений файл. Результати розрахунків можуть бути представлені як в табличному, так і графічному виді за допомогою елементів управління (3).

| Номер ООН | Найменування НХР | Супівна токсичність | Номер ООН | Найменування НХР | Супівна токсичність |
|--|---|---------------------|-----------|------------------|---------------------|
| 1005 | Амфак зріджений | 4 | | | |
| ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ВИДИ НЕБЕЗПЕКИ | | | | | |
| Основні властивості | Безколоворний газ з ризиком запалом. Легше повітря, розчиняється в воді. Переовориться у зріджену стану під тиском. При виході в атмосферу димить. | | | | |
| Пожежна і вибухова небезпека | Горючий газ. Горить при наявності постійного джерела вогню. Пари утворюють з повітрям вибухонебезпечні суміші. В порожній ємності викликають вибухонебезпечні суміші. Небезпечний при вдиху. | | | | |
| Небезпека для людини | При високих концентраціях можливий смертельний кінець. Викликає сильний кашель, удушся. Пари діють сильно дратуючі на слизові оболонки і покрови шкіри, викликають сльозотечу. Зтиження з шкірою викликає обмороження. При виході забруднює водоїли. Серцебиття, порушення частоти пульсу, "пришпили", нежить, кашель, важке дихання, дере в горлі, почервоніння і свербіжча шкіри, нит в очях, сльозотеча. | | | | |
| ЗАСОБИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ | | | | | |
| Ізолюючий протяз. Респіратор РПГ-67Д. Ізолюючий костюм типу Яа, гумові чоботи і рукавички. Філь-групоучий протяз марки КД. | | | | | |
| НЕОБХІДНІ ДІЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ | | | | | |
| Загального характеру | Вивести сторонніх із небезпечної зони. Триматися з навітряної сторони. Ізолювати небезпечну зону і не допускати сторонніх. В зону аварії входить тільки в захисному костюмі і дихальному апараті. Дотримуватись заходів пожежної безпеки. Не палити. Потерпілим надати першу долкарняну допомогу. Відправити людей із осередку ураження на медичне обстеження. | | | | |

Рис. 5. База даних оперативного управління: аварійні картки

Графічне представлення зон концентрацій в районі аварії (4) дозволяє керівнику ліквідації аварії оперативно визначити засоби індивідуального захисту особового складу (5), задіяному в ліквідації і локалізації НС, вибрати місця під'їзду і розміщення пожежних автомобілів, постів газової безпеки. Додатково до графічного представлення концентрацій НХР (4) панель (6) дозволяє визначити значення концентрації в заданій точці.

Програмний комплекс дозволяє в першому наближенні побудувати план локалізації аварії, розрахувавши необхідну кількість сил і засобів для створення водної завіси, що обмежує зону хімічного зараження (рис. 7).

Підсистема тестування призначена для навчання, підготовки і перевірки знань особового складу ДСНС. В ході такого тестування відповідній особі (керівнику ліквідації аварії) пропонується в діалоговому режимі обрати один з варіантів дій в ході ліквідації НС. Установка програмного комплексу на комп'ютер здійснюється за допомогою установника Install Shield і Microsoft Installer, що не вимагає від користувача спеціальних знань.

Таким чином, для отримання командиром підрозділу експрес-оцінок концентрації НХР в зоні НС, оперативного і максимально точного визначення зон ура-

ження та їх розмірів для безпечного перебування в них особового складу, запропоновано використання розробленого апаратно-програмного комплексу, що реалізує математичні моделі попередження та ліквідації НС, обумовлених техногенними викидами в атмосферу небезпечних хімічних речовин.

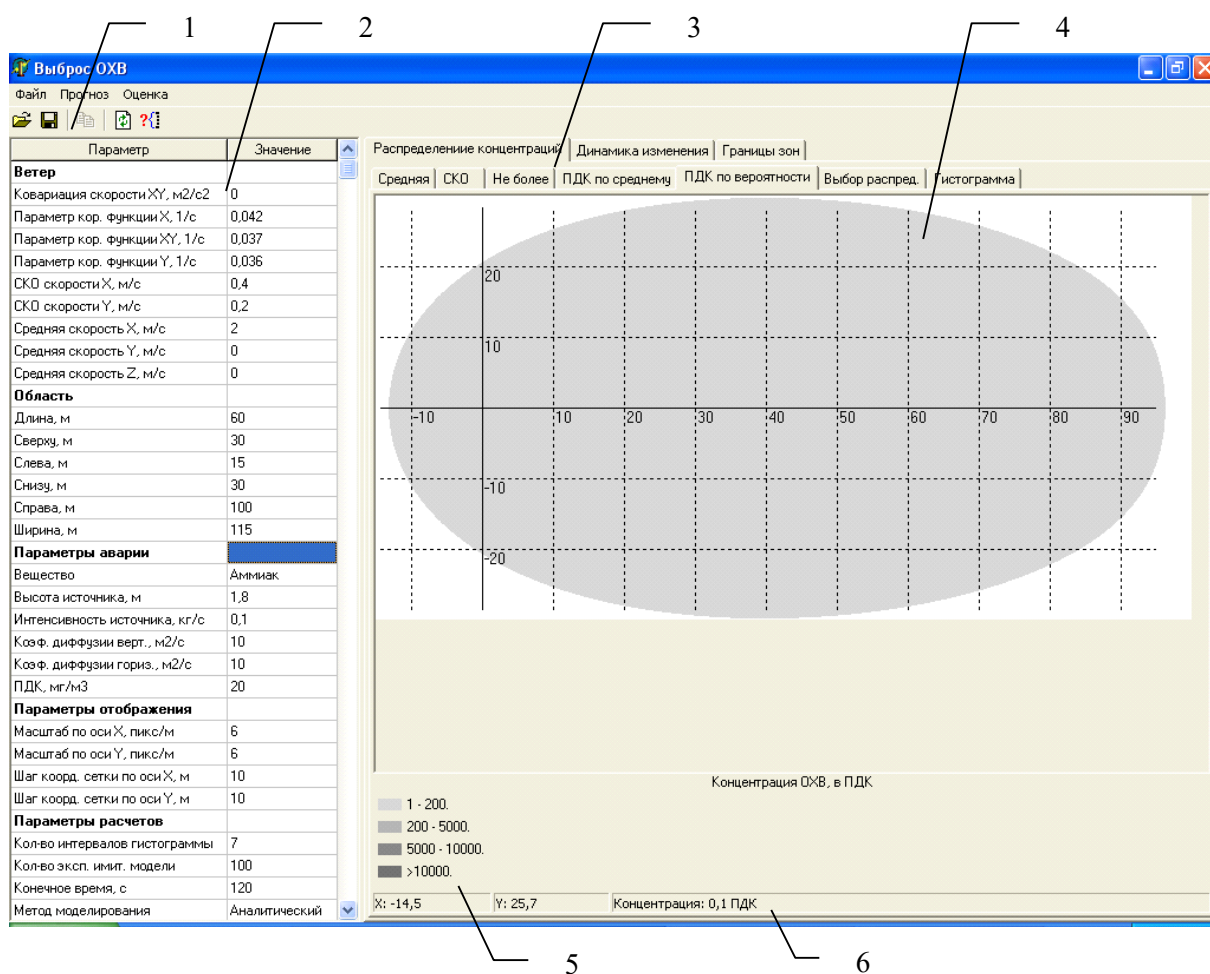


Рис. 6. Моделювання розсіювання газоподібної НХР: 1 – панель команд; 2 – параметри надзвичайної ситуації і параметри розрахунків; 3 – елементи управління для табличного і графічного відображення результатів розрахунків; 4 – графічне відображення зон в районі аварії; 5 – відповідність між концентрацією речовини і її колірним представленням; 6 – концентрація речовини в поточній точці

Практичне використання розробленого програмного комплексу підрозділами ДСНС здійснюється наступним чином. Програмний комплекс встановлений:

- стаціонарно у чергового радіотелефоніста в пожежно-рятувальній частині;
- у начальника караулу на ноутбуку в машині.

При цьому їх бази даних нормативних документів і оперативного управління синхронізовані (рис. 1, рис. 8). Модифікація баз даних нормативних документів і оперативного управління проводиться з робочого місця радіотелефоніста (чи іншого, сполученого з ним локальною мережею). Синхронізація здійснюється шляхом копіювання бази даних з робочого місця радіотелефоніста на ноутбук начальника караулу при внесенні змін до відповідних баз даних. Це означає, що на момент отримання сигналу про виникнення НС бази даних у радіотелефоніста і начальника караулу ідентичні.

НХР
 Файл Глосарій Алгоритми дій Розрахунок Аварійні картки Нормативно-правова база тестування

**РОЗРАХУНОК СИЛ І ЗАСОБІВ ДЛЯ ОБМЕЖЕННЯ ЗОНИ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ШЛЯХОМ
 ВОДЯНОЇ ЗАВІСИ**

| | | | |
|--|----------------------------------|--|---|
| Вихідні дані | | Результати розрахунку | |
| Розчинність НХР, г | <input type="text" value="2"/> | Витрата води для осадження НХР, л/с | <input type="text" value="14,00"/> |
| Кількість НХР, т | <input type="text" value="2"/> | Витрата води для завіси, л/с | <input type="text" value="50,00"/> Можливості мережі водопостачання не відповідають вимогам |
| Час випаровування, год. | <input type="text" value="2"/> | Необхідна кількість стволів, шт. | <input type="text" value="2"/> |
| Витрата води з одного пожежного ствола з насадкою-розпилювачем, л/с | <input type="text" value="10"/> | Відстань між стволами, м | <input type="text" value="25,00"/> |
| Периметр розливу НХР, м | <input type="text" value="50"/> | Кількість розпилювачів для завіси, шт. | <input type="text" value="1,00"/> |
| Довжина фронту завіси, м | <input type="text" value="20"/> | Потрібна кількість пожежних машин, шт. | Для стволів <input type="text" value="1,00"/> Для розпилювачів <input type="text" value="1,00"/> |
| Коефіцієнт запасу <input checked="" type="radio"/> Літо <input type="radio"/> Зима | <input type="text" value="1,3"/> | Тривалість підтримання завіси, год. | <input type="text" value="1,00"/> |
| Кількість стволів, що може забезпечити одне відділення, шт. | <input type="text" value="4"/> | Необхідна кількість води, м.куб. | <input type="text" value="540,00"/> |
| Час від початку аварії, год. | <input type="text" value="1"/> | <input type="button" value="розрахувати"/> | |
| Витрата розпилювача, л/с | <input type="text" value="2"/> | | |
| Водовіддача мережі протипожежного водопостачання, л/с | <input type="text" value="30"/> | | |

Рис. 7. Розрахунок сил і засобів для локалізації зони хімічного зараження шляхом створення водяної завіси

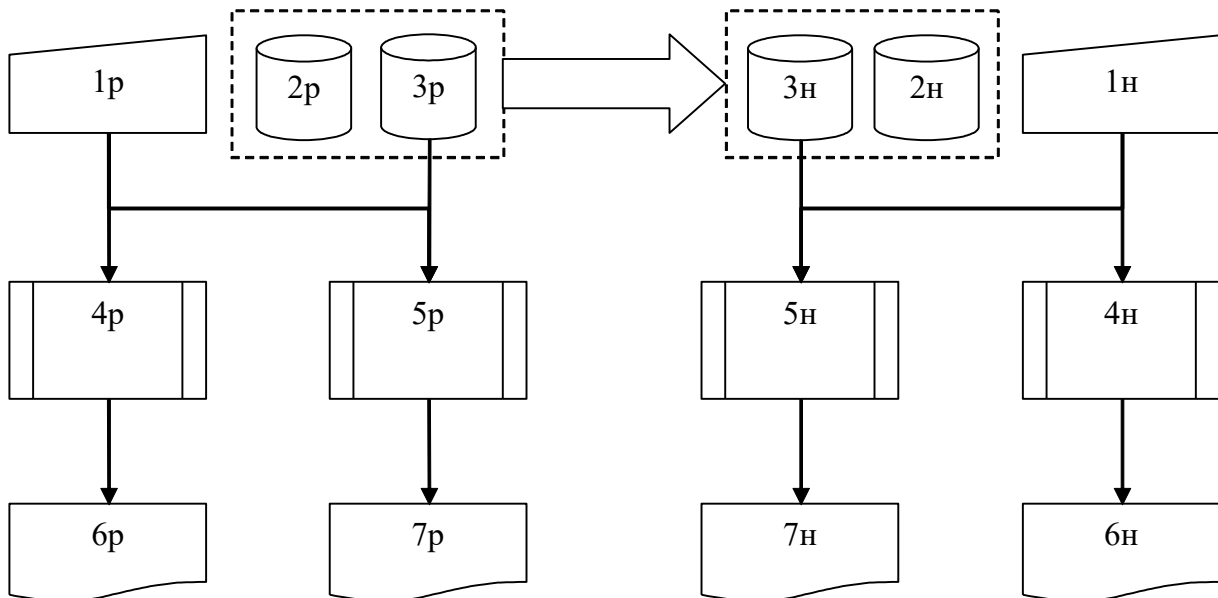


Рис. 8. Схема роботи апаратно-програмного комплексу у радіотелефоніста (р) і начальника караулу (н): 1 – введення вхідних даних про аварію; 2 – база даних нормативних документів; 3 – база даних оперативного управління; 4 – оцінка кількості сил і засобів для локалізації НС; 5 – вибір необхідної картки аварії; 6 – результати розрахунку сил і засобів; 7 – аварійна картка

На робоче місце чергового радіотелефоніста 1 з деякою дискретністю посту- пає інформація про метеорологічні умови, в т. ч. результати виміру напряду і

швидкості вітру (рис. 9). Є також заздалегідь сформована база даних аварійних карток і найбільш небезпечних сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій, пов'язаних з вибоком НХР.

При приході сигналу про НС інформація, що міститься у виклику, в сукупності з інформацією про метеорологічні умови, є основою для оцінки сил і засобів для локалізації і ліквідації аварії за допомогою програмного комплексу 3, встановленого у радіотелефоніста, а також для вибору аварійної картки, що найбільш близько описує обстановку, що склалася, з бази даних 2. Отримані результати зберігаються у вигляді файлу 4.

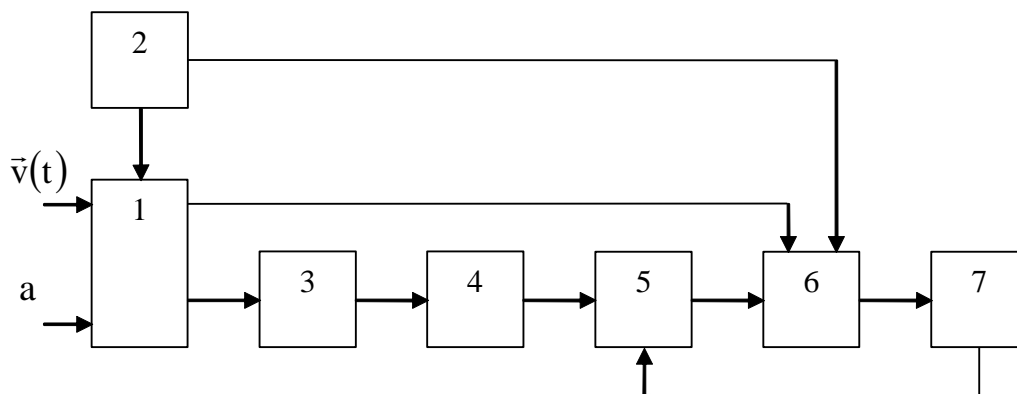


Рис. 9. Структурна схема використання апаратно-програмного комплексу $\bar{v}(t)$ – інформація про напрям і швидкість вітру; a – повідомлення про аварію; 1 – черговий радіотелефоніст; 2 – база даних аварійних карток; 3 – програмний комплекс у чергового радіотелефоніста; 4 – аварійна картка і файл з початковими даними; 5 – ноутбук в автомобілі начальника караулу; 6 – керівник ліквідації надзвичайної ситуації; 7 – надзвичайна ситуація

Разом з оперативним планом ліквідації НС начальнику караулу передається файл 4 з аварійною картокою і інформацією про НС на змінному носії або по безпроводній мережі WiFi.

Начальник караулу копіює файл з початковими даними 4 на ноутбук (або інший пристрій) 5, встановлений в автомобілі, і під час слідування до місця виклику проводить попередній аналіз обстановки і виробляє план локалізації і ліквідації НС. Після прибуття на місце аварії начальник караулу 6, що перейняв на себе керівництво ліквідацією аварії, за результатами розвідки уточнює план локалізації НС 7. В ході її локалізації і ліквідації програмний комплекс використовується для моніторингу ситуації, дозволяючи керівнику ліквідації аварії коригувати дії підрозділів ДСНС відповідно до обстановки.

Таким чином, запропонована схема використання апаратно-програмного комплексу дозволяє керівнику ліквідації НС «грубо» оцінити необхідні сили і засоби ще в ході слідування до місця виклику на підставі вже відпрацьованих подібних надзвичайних ситуацій. Заздалегідь сформована база даних надзвичайних ситуацій допоможе керівнику ліквідації НС прийняти рішення навіть у разі відмови комп'ютерної техніки. Моніторинг обстановки під час локалізації і ліквідації аварії дозволяє вносити корективи в дії підрозділів ДСНС з урахуванням умов, що змінюються, на місці аварії.

7. Обговорення результатів експрес-оцінок рівня концентрації небезпечних хімічних речовин в повітрі

Отримані результати пояснюються використанням моделей, побудованих в [21],
civil security. DOI: 10.52363/2524-0226-2023-37-10

які покладені в основу апаратно-програмного комплексу. Адекватність застосованих моделей підтверджена експериментальними дослідженнями.

Для перевірки достовірності розробленої математичної моделі розповсюдження НХР в атмосфері першочергово була обґрунтована методика виконання експериментів, а потім проведено порівняльний аналіз розробленої моделі з існуючими моделями, що використовуються аварійно-рятувальними підрозділами в Україні. Для цього було проведено серію експериментів, які передбачають виконання декількох послідовних процедур, а саме: для визначення закону розподілу випадкових процесів компонент швидкості вітру проведено серію вимірювань швидкості вітру і його напрямку. На підставі проведених спостережень було висунуто гіпотезу про нормальний розподіл компонент швидкості вітру перевірка, якої за допомогою критерію χ^2 підтвердила її несуперечливість результатам спостережень: розрахункове значення критерію становило для горизонтальної та вертикальної компонент $\chi_{\xi}^2 = 8,08$ і $\chi_{\eta}^2 = 1,56$ при критичному значенні $\chi_{кр}^2 = 9,49$.

Для оцінки достовірності розробленої моделі розповсюдження НХР у повітрі проведено експеримент, який полягав у визначенні концентрації речовини (аміаку) у повітрі та оцінку похибки в розрахункових та експериментальних даних (розбіжність результатів не більше ніж 14 %). Для оцінки ефекту від використання запропонованої моделі й методики, проведено експеримент по визначенню часу евакуації постраждалого із зони ураження аварійно-рятувальними підрозділами (скорочення часу евакуації постраждалих із зони ураження склало 30 % та більше). Таким чином, оцінка інтенсивності викиду НХР в атмосферу на підставі вимірів, що проводяться в процесі розвідки, визначення межі холодної зони і вибір комплексу засобів індивідуального захисту особового складу аварійно-рятувальних підрозділів, що бере участь в локалізації НС, що проведені на підставі запропонованої моделі, дозволяє скоротити час евакуації постраждалого із зони ураження аварійно-рятувальними підрозділами в порівнянні з існуючими методиками. Цей ефект досягається за рахунок скорочення часу на проведення розвідки і такого вибору комплексу засобів індивідуального захисту, який забезпечує достатній захист і при цьому дозволяє особовому складу ефективніше виконувати поставлені задачі.

Особливості запропонованого методу отримання експрес-оцінок концентрації НХР в зоні НС полягають у використанні апаратно-програмного комплексу, що реалізує математичну модель попередження НС, обумовлених техногенними викидами в атмосферу НХР. Алгоритм використання комплексу дозволяє в оперативному режимі оцінювати концентрацію НХР в атмосфері та їх зміни у часі, розраховувати зони безпечного розміщення сил і засобів, приймати рішення по використанню спеціальних засобів індивідуального захисту, а також засобів для створення водяної завіси, що обмежує зону хімічного зараження. Такий широкий спектр можливостей апаратно-програмного комплексу суттєво відрізняє запропонований метод від існуючих систем підтримки прийняття рішень. Але, слід відзначити, що обмеженням і недоліком використання запропонованого методу є можливість його використання тільки для легких газоподібних НХР.

Розвиток досліджень полягає у розширенні номенклатури хімічних речовин та подальшому розвитку побудови математичних моделей розрахунку зміни межі зон, пов'язаних з короткотривалими викидами (вибухами) при цьому основними труднощами у таких дослідженнях є експериментальне підтвердження розроблених математичних моделей.

Під час дії воєнного стану отримання командиром підрозділу експрес-оцінок концентрації НХР в зоні НС (бойових дій) слугуватиме оперативному і максимально точному визначенню зон ураження та їх розмірів для безпечного перебування в них особового складу.

Таким чином, наведені результати в цілому свідчать про те, що робоча гіпотеза реалізації сучасних комп'ютерних технологій, а саме використання розробленого апаратно-програмного комплексу для оцінки концентрації небезпечної хімічної речовини в атмосфері та її зміни у часі є справедливою, тому мета дослідження може вважатися досягнутою.

8. Висновки

1. Показана можливість застосування апаратно-програмного комплексу для експрес-оцінок концентрації небезпечної речовини в повітрі та його використання для визначення необхідних засобів індивідуального захисту особового складу. Комплекс дозволяє керівнику ліквідації надзвичайної ситуації (у воєнний час – командирі військової частини) в оперативному режимі оцінити концентрацію небезпечної речовини в повітрі та її зміну у часі, визначити зони безпечного розміщення сил і засобів. Спираючись на отримані дані є можливість ефективно використовувати наявні сили (маневрувати ними) виходячи з кількості засобів захисту органів дихання, виводити з постів чатових, що потрапили у небезпечні зони. Удосконалення системи підтримки прийняття рішень за допомогою використання апаратно-програмного комплексу дає можливість скоротити час евакуації з небезпечних зон на 30 % і більше, в порівнянні з існуючими методиками. Такий підхід до рішення є більш інформативним та скорочує час прийняття оптимального рішення у порівнянні з існуючими підходами, моделі та методики яких потребують значної кількості вхідних параметрів, значного часу на їх вимірювання. Сферою та умовами практичного використання отриманих результатів є застосування експрес-оцінок рівня концентрації хімічної речовини для прогнозування границь безпечних зон для особового складу задіяних підрозділів при надзвичайних ситуаціях, пов'язаних з викидом цих речовин.

2. Розроблена схема використання апаратно-програмного комплексу для отримання експрес-оцінок концентрації небезпечних хімічних речовин в зоні надзвичайної ситуації дозволяє керівнику оцінити необхідні сили і засоби ще в ході слідування до місця виклику. Алгоритм реалізації апаратно-програмного комплексу дозволяє: по-перше – визначити зони безпечного перебування особового складу, який бере участь в локалізації надзвичайної ситуації, по-друге – приймати рішення по використанню засобів індивідуального захисту від впливу небезпечної хімічної речовини. Графічне представлення зон концентрацій дозволяє керівнику оперативно визначити засоби індивідуального захисту особового складу, вибрати місця під'їзду і розміщення пожежних автомобілів, постів газової безпеки. Апаратно-програмний комплекс дозволяє в першому наближенні побудувати план локалізації аварії, розрахувавши необхідну кількість сил і засобів для створення водяної завіси, що обмежує зону хімічного зараження. Порівняння отриманих результатів по визначенню глибини зони можливого ураження з результатами існуючої методики не перевищує 8 % при суттєвому скороченні часу розрахунків.

Сформована база даних нормативних документів апаратно-програмного комплексу дозволяє керівнику ліквідації надзвичайної ситуації оперативно отри-

мати інформацію про властивості хімічних речовин в зоні аварії, його небезпеці для цивільного населення і особового складу, прийняти рішення про необхідні засоби захист. У базі даних зберігаються алгоритми дій керівника ліквідації надзвичайної ситуації, які дозволяють відпрацьовувати типові ситуації і дії підрозділів у ході штабних навчань.

Література

1. Стоєцький В. Ф. та ін. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки. Тернопіль: Видавництво Астон, 2005. 408 с.
2. Орлов М. М. Організація застосування частин при охороні особливо важливих державних об'єктів. Інформаційно-довідковий матеріал з теорії та практики. Х.: Акад. ВВ МВС України, 2007. 128 с.
3. Директива 2012/18/ЄС Європейського парламенту та Ради Європи від 4.07.2012 року про контроль за загрозами значних небезпек, пов'язаних з небезпечними хімічними речовинами (Севезо III).
4. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 22.01.2014 р. №37-р «Про схвалення Концепції управління ризиками виникнення НС техногенного та природного характеру».
5. Matheny E. M. A Survey of the Structural Determinants of Local Emergency Planning Committee Compliance and Proactivity. Towards an Applied Theory of Precaution in Emergency Management. Cleveland. 2012. URL: <http://engagedscholarship.csuohio.edu/etdarchive/195/>
6. Connolly M. Emergency Management in the Federal Republic of Germany: Preserving its Critical Infrastructures from Hazardous Natural Events and Terrorist Acts.
7. Про затвердження Порядку розміщення пунктів спостережень за забрудненням атмосферного повітря в зонах та агломераціях. Наказ МВС України № 300 від 21.04.2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0635-21#Text>
8. Pieter L. van den Berg, Guido A.G. Legemaate, Rob D. van der Mei. Increasing the Responsiveness of Firefighter Services by Relocating Base Stations in Amsterdam. INFORMS Pubs On Line. 2017. P. 352–361. URL: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/inte.2017.0897>
9. National Response Framework. Homeland Security URL: https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1914-25045-1246/final_nationalresponse_framework_20130501.pdf/
10. NFPA 610: Guide for Emergency and Safety Operations at Motorsports Venues, 2014 Edition. URL: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=610>
11. NFPA 1670: Standard on Operations and Training for Technical Search and Rescue Incidents, 2017 Edition. URL: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1670>
12. NFPA 1561: Standard for Emergency Services Incident Management System and Command Safety, 2014 Edition. URL: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1561>
13. Liu Y., Fan Z-P., Yuan Y., Li H. FTA-based method for risk decision-making in emergency response. Computers & Operations Research. 2014. Vol. 42. P. 49–57. doi: 10.1016/j.cor.2012.08.015
14. Warren T. N. Decision Making in the Fire Service. Fire Engineering. 2013. URL: <http://www.fireengineering.com/articles/2013/08/decision-making-in-the-fire->

service.html

15. McEntire D. A. Emergency Management in the United States: Disasters Experienced, Lessons Learned, and Recommendations for the Future. URL: https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwils5ax_qLYAhVhIJoKHUrGDRoQFggwMAA&url=https%3A%2F%2Ftraining.fema.gov%2Fhiedu%2Fdownloads%2Fcompemgmtbookproject%2Fcomparative%2520em%2520book%2520-%2520chapter%2520-ASnL

16. Андронов В. А., Рогозін А. С., Соболев О. М., Тютюнник В. В., Шевченко Р. І. Природні та техногенні загрози, оцінювання небезпек Х.: Національний університет цивільного захисту України, 2011. 264 с.

17. Захаренко О. В., Созник А. П. Определение зон заражения при разрушении резервуар с метанолом на открытом складе химического предприятия. Проблемы надзвичайних ситуацій. Харків: УЦЗУ. 2006. Вип. 4. С. 106–114.

18. Прохач Е. Ю., Михальська Л. Л., Попов Н. П. Особенности гасіння пожежі при загорянні токсичних речовин на відкритій місцевості. Проблемы пожарной безопасности. Харьков: УГЗУ. 2009. Вып. 25. С. 157–161.

19. Стрілець В. М., Васильєв М. В. Аналіз захисних властивостей засобів індивідуального захисту, які призначені для роботи в умовах викиду небезпечних хімічних речовин. Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. 2010. Вип. 1(23). С. 197–200.

20. Басманов О. Є., Говаленков С. С. Попередження надзвичайних ситуацій, викликаних викидом легких газоподібних небезпечних хімічних речовин. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків: НУЦЗУ. 2020. Вип. 31. С. 18–33.

21. Говаленков С. С. Попередження надзвичайних ситуацій, обумовлених техногенним викидом в атмосферу небезпечних легких газоподібних хімічних речовин. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Національний університет цивільного захисту України, 2020. 163 с.

S. Hovalenkov, PhD, Associate Professor, Associate Professor of Department

*S. Hovalenkov, PhD, Head of Department of Information and Technical Support of Education
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

EXPRESS ASSESSMENT OF THE LEVEL OF CONCENTRATION OF DANGEROUS CHEMICAL SUBSTANCES IN THE AIR

The object of the study is emergency situations at chemically hazardous facilities associated with the release of hazardous chemicals into the air. The problem of providing the head of the liquidation of an emergency situation with express assessments of the level of concentration of a dangerous chemical substance, prompt and maximally accurate determination of the affected areas and their sizes for the safe presence of personnel in them is solved. The work proposes the use of a hardware and software complex for forecasting the level of concentration of a hazardous substance in the air, determining the zones of safe location of forces and means, making a decision on the use of the necessary means of personal protection. The obtained results allow the head of the liquidation of an emergency situation to estimate the necessary amount of forces and means already in the process of following to the place of the call. A feature of the obtained results is the application of stochastic mathematical models in the construction of a hardware and software complex and its use for express assessment of the level of concentration of a hazardous substance in the air. This made it possible to obtain specific recommendations regarding the procedure for determining a rational tactical scheme for the use of forces and means of emergency and rescue units and their safety, and during martial law – the organization of interaction with other structural units of the state. This approach to the decision is more informative and shortens the time of making the optimal decision compared to existing approaches, models and methods of which require a significant number of input parameters and significant time for their measurement. The

scope and conditions of practical use of the obtained results is the application of express estimates of the concentration level of dangerous chemicals to predict the boundaries of safe zones for the personnel of the involved units in emergency situations associated with the release of these substances on the basis of the developed hardware and software complex.

Keywords: express assessment of the level of concentration of a dangerous chemical substance, hardware and software complex

References

1. Stoyetsky, V. F. etc. (2005). Man-made safety management of high-risk facilities. Ternopil: Aston Publishing House, 408.
2. Orlov, M. M. (2007). Organization of the use of parts in the protection of particularly important state objects. Informational and reference material on theory and practice. H.: Acad. Internal Affairs Ministry of Ukraine, 128.
3. Directive 2012/18/EU of the European Parliament and the Council of Europe dated 07/04/2012 on the control of the threat of significant hazards associated with dangerous chemical substances (Seveso III).
4. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated January 22, 2014, 37-r "On the approval of the Concept of risk management of man-made and natural emergencies".
5. Matheny EM A Survey of the Structural Determinants of Local Emergency Planning Committee Compliance and Pro activity . Towards an Applied Theory of Precaution in Emergency Management. Cleveland, 2012. Available at: <http://engagedscholarship.csuohio.edu/etdarchive/195/>
6. Connolly, M. Emergency Management in the Federal Republic of Germany: Preserving its Critical Infrastructures from Hazardous Natural Events and Terrorist Acts.
7. Pro zatverdzhennya Poryadku rozmishchennya punktiv sposterezhen' za zabrudnenniam atmosfernoho povitrya v zonakh ta ahlomeratsiyakh. Nakaz MVS Ukrayiny № 300 vid 21.04.2021 r. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0635-21#Text>
8. Pieter, L. van den Berg, Guido, AG Legemaate, Rob, D. van der Mei. (2017). Increasing the Responsiveness of Firefighter Services by Relocating Base Stations in Amsterdam. *INFORMS PubsOnLine*, 352–361. Available at: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/inte.2017.0897>
9. National Response Framework. Homeland Security. URL: Available at: https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1914-25045-1246/final_national_response_framework_20130501.pdf/
10. NFPA 610: Guide for Emergency and Safety Operations at Motorsports Venues, 2014 Edition. Available at: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=610>
11. NFPA 1670: Standard on Operations and Training for Technical Search and Rescue Incidents, 2017 Edition. Available at: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1670>
12. NFPA 1561: Standard for Emergency Services Incident Management System and Command Safety, 2014 Edition. Available at: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1561>
13. Liu, Y., Fan, Z., Yuan, Y., Li, H. (2014). FTA-based method for risk decision-making in emergency response. *Computers & Operations Research*, 42, 49–57. doi: 10.1016/j.cor.2012.08.015
14. Warren TN Decision Making in the Fire Service. *Fire Engineering*. 2013. Available at: <http://www.fireengineering.com/articles/2013/08/decision-making-in-the>

fire-service.html

15. McEntire DA Emergency Management in the United States: Disasters Experienced, Lessons Learned, and Recommendations for the Future. Available at: https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwils5ax_qLYAhVhIJoKHUrGDRoQFggwMAA&url=https%3A%2F%2Ftraining.fema.gov%2Fhiedu%2Fdownloads%2Fcompemgmtbookproject%2Fcomparative%2520em%2520book%2520-%2520chapter%2520-ASnL

16. Andronov, V. A., Rogozin, A. S., Sobol, O. M., Tyutyunyk, V. V., Shevchenko, R. I. (2011). Natural and man-made threats, risk assessment. National University of Civil Defense of Ukraine, 264.

17. Zakharenko, O. V., Soznyk, A. P. (2006). Determination of contamination zones when a methanol tank is destroyed in an open chemical warehouse enterprises. Problems of emergency situations. Kharkiv: UCSU, 4, 106–114.

18. Prokhach, E. Yu., Mikhalska, L. L., Popov, N. P. (2009). Peculiarities of fire extinguishing when toxic substances ignite in an open area. Problems of firefighter safety. Kharkiv: UGZU, 25, 157–161.

19. Strelets, V. M., Vasyliiev, M. V. (2010). Analysis of the protective properties of personal protective equipment intended for work in conditions of release of hazardous chemicals. Collection of scientific works of the Kharkiv Air Force University, 1(23), 197–200.

20. Basmanov, A. E., Hovalenkov, S. S. (2020). Prevention of emergency situations caused by the release of light gaseous hazardous chemicals. Problems of emergency situations. Kharkiv: NUZZU, 31, 18–33.

21. Hovalenkov, S. S. (2020). Prevention of emergency situations caused by man-made emission of dangerous light gaseous chemical substances into the atmosphere. Dissertation for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences. National University of Civil Defense of Ukraine, 163.

Надійшла до редколегії: 13.03.2023

Прийнята до друку: 14.04.2023