

УДК 504.699.8+661.532.502

Д.А. Каракуркчі, Ю.Ю. Кошкаров, С.А. Писарєв

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПРОТИДІЇ РОЗПОВСЮДЖЕННЮ ХМАРИ ЗАБРУДНЕНОГО ПОВІТРЯ

У статті проведено огляд систем колективного захисту, які дозволяють запобігти ураженню людей отруйними речовинами без евакуації й припинення економічної діяльності населення у випадку викиду отруйних речовин поблизу селитебної зони. У роботі запропоновано використання газоаерозольної захисної завіси, обґрунтовано її склад та основні техніко-економічні показники.

**Ключові слова:** хмара забрудненого повітря, сильно діючі отруйні речовини, газоповітряна захисна завіса, газоаерозольна завіса, колективний захист населення, озоновані розчини, речовина-дегазатор.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Хмара забрудненого повітря (ХЗП), що утворюється внаслідок зруйнувань хімічно небезпечних об'єктів (ХНО) або бойових дій (терористичних актів) із застосуванням хімічної та біологічної зброї, суттєво впливає на боєздатність силових структур і безпеку цивільного населення [1].

У випадку аварії на ХНО, які використовують сильнодіючі отруйні речовини (СДОР), або аварій при їх транспортуванні, відбувається викид у навколишнє середовище значної кількості токсичних сполук (ТС). ХЗП поширюється у атмосфері на великі відстані та створює зону зараження з небезпечною концентрацією ТС у приземному шарі атмосфери.

Прикладом такої надзвичайної ситуації (НС) є аварія на залізниці у Львівській області під час якої зійшли з рейок і перевернулися 15 цистерн із жовтим фосфором. Через витікання фосфору з однієї цистерни відбулося самозаймання 6 цистерн.

В процесі ліквідації аварії, внаслідок низького технічного оснащення рятувальних підрозділів, не здійснювався такий захід щодо захисту населення прилеглих населених пунктів і природних екосистем, як постановка захисних газових, аерозольних і водяних завіс у напрямку поширення хмари продуктів згоряння фосфору (оксидів) між джерелом загоряння й селитебною зоною (ефективніше – по периметру місця аварії). Під час процесу горіння при надлишку кисню без доступу води утворилася хмара зараженого повітря у вигляді диму оксидів фосфору. Димова хмара оксидів фосфору розповсюджувалася за напрямком вітру й, внаслідок розсіювання й седиментації (осадження), утворила на поверхні ґрунту слід неправильної форми на відстані, від 10 до 17 км за різними оцінками. У зоні поразки опинилося 14 населених пунктів Буського району, де проживає 11 тисяч чоловік, а також окремі території Радехівського й Бродівського районів області. Загиблих не було, однак жителі Буського району почали звертатися в лікарні й медпункти зі скаргами на нудоту й головний біль. Схожий інцидент з подібними нас-

лідками – вибух залізничної цистерни, що містила рідкий фосфор, відбувся у 1978 р. у Браунсоне (шт. Небраска, США).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Авторами [2] пропонуються принципово нові, що не мають аналогів у світовій практиці, аварійні системи активного захисту населення від хімічно небезпечних речовин (рис. 1).



Рис. 1. Схема протікання при вдуванні плоского струменю у поперечний потік, що зносить

Розглянуто спосіб активного колективного захисту населення від ТС, полягає у зменшенні концентрації ТС у приземному шарі атмосфери в селитебній зоні до рівнів, що є безпечними для здоров'я людей, шляхом розсіювання отруйних речовин в атмосфері за допомогою захисної приземної плоскої спрямованої вертикально вгору струминної газоповітряної завіси (ГПЗ), розташованої між джерелом зараження ТС й селитебною зоною. Така ГПЗ має в плані форму дуги із центром дуги в джерелі зараження. Захисна ГПЗ викликає за рахунок сил низького тиску підйом приземної частини ХЗП, що рухається по вітру від джерела небезпеки, на відстань, що дорівнює висоті завіси, причому більш високі частини хмари піднімаються на ще більшу висоту. Після підйому завісою ХЗП не опускається до поверхні ґрунту, а розсіюється в атмосфері; при цьому концентрація отруйних речовин у приземному шарі по ходу руху хмари значно

нижче, ніж без підйому ГПЗ. Недоліком зазначеного способу є відсутність установки для формування захисної ГПЗ необхідних геометричних розмірів.

Система дозволяє запобігти поразці людей ТС без евакуації й припинення економічної діяльності населення в регіоні у випадку викиду отруйних речовин поблизу селитебної зони.

Найбільш близьким по технічній сутності та результативності, щодо даного винаходу є спосіб формування ГПЗ шляхом утворення плоского приземного, спрямованого вгору газоповітряного струменю за допомогою установки, що містить повітродувну машину та з'єднаний з нею наземний повітродіподільний короб з розташованим у верхній частині повітровипускаючий щілинний насадком [2]. Повітродувна машина нагнітає атмосферне повітря у повітродіподільний короб. Це повітря, при витіканні через спрямований вгору повітровипускаючий щілинний насадок, утворює захисну ГПЗ.

Існує видозміна попереднього методу, і полягає вона в тому, що розсіювання виконують за рахунок відбору частини прилягаючого до поверхні, що підстилає, потоку повітря, що набігає, та який утримує ТС, й наступної зміни напрямку його руху, прискорення й викиду вертикально нагору у вигляді плоского поперечного струменя [2].

Основним загальним недоліком зазначених способів є обмежений діапазон експлуатаційних характеристик установки, що не дозволяє створити ГПЗ необхідних геометричних розмірів. Розглянутий типовий приклад передбачає формування в потоці повітря зі швидкістю 3 м/с поперечної плоскої спрямованої вертикально струминної ГПЗ висотою 50 м і довжиною 100 м. Розрахунок по методикам [3, 4] відповідно експериментальних даних по висоті підйому плоского повітряного струменя в потоці рухомого повітря показує, що для формування такої захисної завіси необхідно вдмухувати повітря вертикально вгору, наприклад, зі швидкістю  $W=15$  м/с через щілину довжиною 10 м і шириною 1,67 м. Для формування одного погонного метра такий ГПЗ потрібно забезпечити об'ємну витрату повітря  $25 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $90000 \text{ м}^3/\text{год}$ ). При цьому площа поперечного перетину повітродіподільного коробу в початковій його частині повинна бути у 2 рази більше площі перетину повітровипускаючої щілини, тобто  $3,34 \text{ м}^2$ . Для формування захисної завіси такої ж висоти 50 м, але довжиною 100 м установка повинна забезпечити відповідно в 10 разів більші експлуатаційні характеристики: об'ємна витрата повітря  $250 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $900\,000 \text{ м}^3/\text{год}$ ) при площі поперечного перерізу початкової частини повітродіподільного короба  $33,4 \text{ м}^2$ . При цих умовах габарити установки – площа поперечного перерізу початкової частини квадратного повітродіподільного коробу становить  $33,4 \text{ м}^2$  при стороні квадрата 5,78 м. Такі експлуатаційні характеристики установки як продуктивність повітродувної машини й габарити перебувають на грані практично реалізованих. Подальше збільшення довжини захисної завіси вимагає пропорційного збільшення цих харак-

теристик, що виходить за межі сучасних можливостей.

Окрім цього, слід зазначити, що молекули ТС здатні переноситись потоками повітря на значні відстані у газоподібному та аерозольному стані. З урахуванням зазначеного явища, високо ймовірним буде факт потрапляння ТС через певний час у приземний шар повітря внаслідок седиментації або у вигляді опадів. Такий розвиток процесу розсіювання ХЗП пояснюється тим, що в процесі постановки газоповітряної завіси молекули ТР не піддаються хімічним перетворенням.

Таким чином, актуальною є задача розробки та опрацювання методів знешкодження ТС у ХЗП, принцип дії яких полягає у хімічних перетвореннях молекул отрут, використання яких не завдає шкоди конструкційним матеріалам та є безпечним і зручним в експлуатації.

**Метою статті** є огляд методів та засобів нейтралізації ХЗП й обґрунтування шляхів вирішення задачі розробки методів знешкодження токсичних речовин у ХЗП постановкою газоаерозольних завіс (ГАЕЗ), зі вмістом речовин-дегазаторів.

### Основна частина

Для вирішення задачі створення захисної ГАЕЗ необхідно визначити три основних показники розповсюдження ХЗП:

- швидкість просування ХЗП;
- фізико-хімічні та колоїдні властивості забрудненого об'єму повітря, що рухається;
- розподіл концентрації ТС у ХЗП по висоті та у площині підстильної поверхні.

Швидкість просування ХЗП відома з експериментальних даних, що відображено у численних методиках виявлення і оцінки хімічної обстановки воєнного та цивільного призначення.

Відома державна Методика прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті призначена для прогнозування масштабів забруднення при аваріях з небезпечними хімічними речовинами. Методика застосовується тільки для сполук, які зберігаються у газоподібному або рідкому стані і які в момент викиду або вилу переходять у газоподібний стан і створюють первинну або/і вторинну хмару НХР. Методика передбачає проведення розрахунків для планування заходів щодо захисту населення тільки на висотах до 10 м над поверхнею землі – у приземному шарі повітря).

У наведених експериментальних таблицях відсутні дані щодо динаміки зміни висоти підйому ХЗП і це є практично корисною науковою проблемою, що потребує окремих досліджень. Картини еволюції полів концентрації викиду сірчистого газу, діоксиду сірки й вуглекислого газу при різних початкових температурах газу  $T_G=300^\circ\text{K}$ ,  $500^\circ\text{K}$ ,  $700^\circ\text{K}$ ,  $900^\circ\text{K}$  й температури атмосфери  $T_a=300^\circ\text{K}$  свідчать, що залежно від умов зберігання й ступеня вертикальної стійкості повітря ХЗП з цих конкретних спо-

лук не зберігає свою уражаючу дію на висоті більше 10 – 15 м. Таким чином, достатньою можна вважати висоту захисної завіси не менш ніж 15 м.

Одним зі шляхів вирішення задачі нейтралізації ХЗП може бути модернізація розглянутої вище ГПЗ. На відміну від ГПЗ, яка складається з струминного потоку гарячого повітря та має на меті тільки підйом та розсіювання молекул ТС, представляється більш ефективною газоаерозольна завіса, яка має складатися з речовини-дегазатору у газоподібному стані або рідких чи твердих частинок дисперсної фази (хімічної сполуки чи комплексу хімічних сполук, що реагують з молекулами ТС з утворенням нетоксичних або нелетючих продуктів) та дисперсійного середовища – гарячого повітря. Тобто, запропонована ГАЕЗ крім підйому та розсіювання ХЗП виконує функцію знешкодження молекул ТС. Можливе й спільне (комплексне) послідовне застосування газоаерозольної та газоповітряної завіси, що надасть можливість підвищити ефективність існуючого способу зупинення та розсіювання ХЗП.

Для вирішення задачі створення захисних аерозольних завіс доцільно дослідити такі технічні характеристики, як склад дисперсної фази та дисперсійного середовища завіси й способи (технічні засоби) її отримання. Очевидно, що така завіса повинна характеризуватися достатньою стійкістю у часі в залежності від метеорологічних умов, мати необхідну густину (концентрацію речовини-дегазатора) та ефективно знешкоджувати ТС.

До складу запропонованої газоаерозольної суміші повинні входити речовини-дегазатори окислювальної (відновлювальної) дії, сполуки, які мають здатність до знешкодження та седиментації конкретного токсиканту. Універсальними активними дегазуючими агентами можуть бути рецептури з широким спектром не тільки антихімічної, але й антимікробної і дезінфікуючої дії – ПФК-1 (на основі  $\text{KF}\cdot\text{H}_2\text{O}_2$ ), ПФК-2 (на основі  $\text{KF}\cdot\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KF}\cdot 2\text{H}_2\text{O}_2$ ) і ПФК-3 ( $\text{KF}\cdot 2\text{H}_2\text{O}_2$ ) [5, 6].

Постановка захисної завіси має на меті не тільки розсіювання та знешкодження молекул ТС, але й руйнування ХЗП, зменшення величини її розповсюдження шляхом спонукання та інтенсифікації коалесценції і седиментації. На швидкість руйнування таких систем з газовим дисперсійним середовищем, крім частоти зіткнення частинок, впливають ще й наступні чинники:

- коагуляції аерозолів сприяє полідисперсність і анізодіаметрична форма частинок;
- руйнування аерозолів прискорюється за наявності в них протилежно заряджених частинок. Навпаки, якщо частинки аерозолу володіють однаковими по знаку і достатньо великим по величині зарядом, то спостерігається розсіяння частинок;
- конвекційні потоки, механічне перемішування, ультразвукові коливання; всі ці дії збільшують ймовірність зіткнення частинок дисперсної фази та дисперсійного середовища.

Такі дрібнодисперсні водяні завіси створюються за допомогою систем водопостачання, пожежних машин або мотопомп, що забезпечують тиск струменю води не менш 0,6 МПа. При менших тисках, як правило, необхідна дисперсність крапель води, що здатні поглинати (зв'язувати) парогазову фазу СДОР, не досягається. Для створення дрібнодисперсних водяних завіс рекомендується в комплекті пожежних машин (мотопомп) мати спеціально обладнані брандспойти.

У випадку застосування машин військ РХБ захисту типу ТДА та АПП, до складу яких входять цистерна, газотермічний генератор та розпилювач, для отримання аерозолів методом конденсації не потрібне встановлення додаткового устаткування. В цистерну можливо завантажувати розчин, що буде випаровуватися та розпилюватися у вигляді пересиченого пару з подальшою конденсацією газоаерозольної суміші з заданими параметрами: величиною конденсованої частки, густиною та швидкістю потоку в залежності від метеоумов та виду ТС.

Переваги запропонованого підходу у порівнянні з дією вертикальної газоповітряної завіси полягають у тому, що крім процесу розсіювання, у ХЗП відбувається хімічна реакція знешкодження ТС відповідними речовинами-дегазаторами з супутнім поглинанням аерозольними частками, а утворення та керування такими завісами можливе з застосуванням штатних технічних засобів служб пожежної безпеки та Збройних Сил України.

Техніко-економічне обґрунтування застосування запропонованого способу полягає у досягненні результату, неможливого іншими відомими методами, – надійний захист населення без його евакуації і припинення економічної діяльності в регіоні у разі аварій з хімічно небезпечними речовинами. Економічний і соціальний ефекти, що досягаються в кожному випадку визначаються індивідуально.

Основними перевагами запропонованої системи слід вважати наступні:

1. Ефективність: згідно розрахунку за методиками МНС Росії на прикладі з аварією на арсеналі в с. Леонідовка (Росія) показано, що при розливі 1 т зарини зона зараження, що визначалась за пороговою токсодозою, складає 14,8 км; в неї потрапляє значна частина м. Пензи або смт. Зарічний (повністю при протилежному напрямі вітру). При дії захисної газоповітряної завіси висотою 40 м зона зараження скорочується до 1 км., а при висоті 120 м відсутня взагалі.

2. Оперативність: запропонований спосіб захисту населення припускає швидке (протягом декількох хвилин) приведення в дію стаціонарного пристрою для створення завіси. У випадку застосування мобільних груп ліквідації наслідків час приведення в дію визначається швидкістю прибуття до району події.

3. Надійність: завіса з автономним енергопостачанням забезпечує тривалу безвідмовну роботу.

4. Область застосування: ефективність завіси не залежить від виду речовини. Тому вона може застосовуватися для будь-яких СДОР.

5. Соціальний ефект: питання безпеки зберігання і знищення хімічної зброї, безаварійного функціонування підприємств хімічної промисловості викликають у населення, громадськості, засобів масової інформації і регіональних органів влади певне хворобливе відношення. Впровадження на практиці запропонованого способу дозволяє реалізувати додатковий ефективний рівень захисту населення та однозначно приведе до зниження соціальної напруженості і дозволить більш надійно забезпечити захист цивільного населення.

### Висновки

1. Запропоновано здійснювати знешкодження ХЗП шляхом постановки диспергаційної або конденсаційної вертикальної струменевої газоаерозольної завіси за допомогою засобів спеціальної обробки та аерозольного маскування підрозділів військ РХБ захисту. Прогнозовано, ефективним буде наступний склад такої системи:

- водні краплі з розчиненням окисником окисної або хлоруєючої дії, поверхнево активними сполуками (ПАС) та каталізаторами міжфазного переносу у якості дисперсної фази;
- гаряче повітря як дисперсійне середовище;
- джерело ультразвуку.

2. У якості активного агента ГАЕЗ потрібно використовувати сполуки, які мають здатність до знешкодження та седиментації конкретного токсиканту. Універсальними активними дегазуючими агентами можуть бути:

- ПФК-1 (на основі  $KF \cdot H_2O_2$ ), ПФК-2 (на основі  $KF \cdot H_2O_2 + KF \cdot 2H_2O_2$ ) і ПФК-3 ( $KF \cdot 2H_2O_2$ ) [6];
- озоновані водні розчини ПАС [7];
- водні розчини солей пероксикислот: перборати, персульфати, пероксиди натрію й інших лужних металів [8].

3. Тактико-технічні нормативи мають містити дві основні вимоги:

- найшвидший запуск системи;
- оптимізація розташування агрегатів для вивітрювання завіси на відстані у межах 30 – 40 м від

джерела викиду.

Запропонований метод газоаерозольної вертикальної завіси потребує досліджень за наступними, раніше не розглянутими напрямками: конструювання та випробування агрегатів – генераторів аерозолів, дослідження режимів їх роботи та опрацювання оптимального складу й витрати сумішей, придатність різних речовин-дегазаторів (присадок, депресаторів, ПАС тощо) для знешкодження ТС.

### Список літератури

1. Александров В.Н. Отравляющие вещества / В.Н. Александров. – М.: Воениздат, 1990. – 186 с.
2. Майоров В.А. Аварийная система активной защиты населения от химически опасных веществ / В.А. Майоров, И.А. Обухов. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [www.pguas.ru](http://www.pguas.ru).
3. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов, Справочник / Г.М. Алиев. – М., Металлургия, 1986. – 144с.
4. Эльтерман В.М. Воздушные завесы / В.М. Эльтерман. – М.: Машиностроение, 1966. – 120 с.
5. Дослідження дегазації токсичних речовин шляхом застосування пероксикарбонових кислот. Шифр «КОНТУР»: Звіт про НДР (проміжний) / Харківський інститут танкових військ НТУ «ХПИ»; № 3801. – Х., 2004. – 61 с.
6. Пат. 4287135 США, МКИ С 07 С 179/10 (НКИ 260/502 R) Stabilized diperoxyalkanedionic acids and aromatic peroxyarboxylic acids / Stober R., Wirthwein R., Hase C. – № 83654. – Заявл. 11.10.79; Опубл. 01.09.81.
7. Silbert L.S., Siegel E., Swern D. Peroxides. New method for the direct preparation of aromatic and alifatic peroxyacids // J. Org. Chem. — 1962. — V. 27, № 4. – P. 1336-1342.
8. Oslo Convention for the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, dated 29 December 1972 and amended on 12 October 1978 and 1 December 1980. Available at. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [http://sedac.ciesin.org/entri/texts/marine\\_pollution\\_dumping\\_of\\_wastes.1972.html](http://sedac.ciesin.org/entri/texts/marine_pollution_dumping_of_wastes.1972.html).

Надійшла до редакції 1.10.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.К. Лобанов, Центральна лабораторія ДП «Завод імені В.А. Малишева», Харків.

### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЮ ОБЛАКА ЗАРАЖЕННОГО ВОЗДУХА

Д.А. Каракуркчи, Ю.Ю. Кошкарров, С.А. Писарев

*В статье проведен обзор систем коллективной защиты, которые позволяют предотвратить поражение людей ядовитыми веществами без эвакуации и прекращения экономической деятельности населения в случае выбросов ядовитых веществ поблизости селитебной зоны. В работе предложено использование газоаерозольной защитной завесы, обосновано ее состав и основные технико-экономические показатели.*

**Ключевые слова:** туча загрязненного воздуха, сильно действующие ядовитые вещества, газозащитная завеса, газоаерозольная завеса, коллективная защита, население, озонированные растворы, вещество-дегазатор.

### IMPROVEMENT OF HARDWARES OF COUNTERACTION DISTRIBUTION OF CLOUD OF THE INFECTED AIR

D.A. Karakurkchi, Y.Y. Koshkarov, S.A. Pisarev

*The review of the systems of collective defence, which allow to prevent the defeat of people poisonous matters without evacuation and stopping of economic activity of population in the case of the troop landings of poisonous matters nearby of resident area, is conducted in the article. The use of gas aerosol protective curtain is offered in work, grounded its composition and basic technical and economic indexes.*

**Keywords:** cloud of muddy air, strongly operating poisonous matters, газозащитная завеса, газозащитная завеса, коллективная защита, население, озонированные растворы, вещество-дегазатор.