

АЛГОРИТМ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ВИБУХОПОЖЕЖНОЇ СИТУАЦІЇ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНОМУ ОБ'ЄКТІ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Abstract. One of the possible approaches to the evaluation of possible burst fire situations at the potentially hazardous objects is examined. The algorithms of prognostication of development of such situations and their influence at environment are used in this approach.

Key words: burst fire situation, logical-probability forms, total mass of hazardous substances, factors of influence, level of security.

Анотація. Розглядається один із підходів до оцінювання можливих вибухопожежних ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах, в основу якого покладені алгоритми прогнозування розвитку вибухопожежних ситуацій та їх впливу на навколишнє середовище.

Ключові слова: вибухопожежна ситуація, логіко-ймовірнісні форми, зведена маса небезпечних речовин, фактори впливу, рівень безпеки.

Аннотация. Рассматривается один из подходов к оцениванию возможных взрывопожарных ситуаций на потенциально опасных объектах, при котором используются алгоритмы прогнозирования развития взрывопожарных ситуаций и их влияние на окружающую среду.

Ключевые слова: взрывопожарная ситуация, логико-вероятностные формы, сводная масса опасных веществ, факторы влияния, уровень безопасности.

1. Вступ

Вибухопожежні ситуації, які доцільно розглядати як надзвичайні ситуації (ВПНС) на потенційно небезпечних об'єктах (ПНО), є найбільш важливим аспектом безпеки цих об'єктів, у тому числі військових. Найчастіше причиною виникнення таких ситуацій є людський фактор – непрофесійні та недбалі дії, порушення правил протипожежної безпеки, порушення технологічних норм зберігання боєприпасів та інших вибухо- та пожежонебезпечних предметів і речовин тощо. Крім того, спровокувати виникнення ВПНС можуть чинники природного, техногенного, соціально-політичного характеру, терористичні акти чи хуліганські вчинки. Наслідками, як правило, є людські жертви, травми, погіршення стану здоров'я людей, економічні та екологічні втрати через руйнування структурних елементів і систем життєзабезпечення ПНО, завдання шкоди навколишньому природному середовищу.

Тому до основних завдань управління безпекою ПНО належать унеможливлення виникнення ВПНС, прогнозування можливого розвитку подій у разі їх виникнення та прийняття найбільш виважених рішень щодо їх ліквідації. Для вирішення цих завдань необхідно мати інструментарій оцінювання рівня (стану) вибухопожежної безпеки на ПНО, ймовірності виникнення та ескалації ВПНС, можливостей щодо їх ліквідації на різних етапах розвитку.

Обґрунтування алгоритмів прогнозування виникнення та розвитку ВПНС на ПНО, їх впливу на структурні елементи і персонал ПНО, на навколишнє середовище переслідує дві головні мети:

- створення умов для попередження виникнення ВПНС та припинення їх на початковій стадії;
- визначення найбільш ефективних шляхів ліквідації наслідків ВПНС, зменшення впливу вражаючих факторів ВПНС як на структурні елементи і персонал ПНО, так і на навколишнє середовище.

Питання попередження виникнення ВПНС та припинення їх на якомога ранній стадії розвитку мають величезне значення для військових ПНО. Так, за інформацією Міністерства оборони України [1], у травні 2009 року на Житомирщині відбулося тактико-спеціальне навчання з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації на арсеналі ракетного озброєння та боєприпасів. Навчання показало, що навіть для ліквідації ВПНС на окремому ПНО та евакуації населення з району подій довелося залучити військові частини Житомирського й Озернянського гарнізонів, органи місцевої влади, Міністерства надзвичайних ситуацій, Служби безпеки, Міністерства внутрішніх справ України.

2. Інформаційна модель виникнення та розвитку вибухопожежної надзвичайної ситуації на ПНО

Оцінювання ВПНС має найбільш важливе значення для ПНО, на яких зберігаються (виробляються, обробляються, транспортуються) вибухонебезпечні речовини (ВР). ВР доцільно розглядати як відносно нестійкі у термодинамічному сенсі системи, що здатні під впливом зовнішніх дій до швидких змін свого стану через процеси хімічного перетворення. Найбільш небезпечними проявами таких процесів є вибухи, коли внутрішня хімічна енергія ВР перетворюється на теплову. При цьому характерними є швидкість відповідних хімічних екзотермічних реакцій ($\sim 10^5$ с), їх протікання без участі кисню, повітря, утворення газів з високою температурою ($2 \cdot 10^3$ - $4 \cdot 10^3$ К) і тиском до 10ГПА (10^5 ЛТМ). Розширення газу приводить до виникнення вибухової (ударної) хвилі, швидкість поширення якої досягає декількох кілометрів на секунду.

У штатних умовах функціонування ПНО вибухи і пожежі унеможливаються через виконання встановлених нормативними документами правил безпечного зберігання ВР щодо термінів зберігання, температурного режиму, тиску, вологості, інших параметрів навколишнього середовища. Однак, навіть за незначних відхилень зазначених параметрів від нормативних, можуть виникати лавиноподібні хімічні реакції, наслідком яких є вибухи або пожежі. Моніторинг значень основних параметрів зберігання ВР і недопущення виходу їх за критичні межі є найважливішими аспектами управління безпекою ПНО. Але завжди існує небезпека виникнення нештатних режимів і надзвичайних ситуацій, для попередження і ліквідації яких мають бути передбачені автоматичні та інші засоби безпеки, сукупність організаційних заходів щодо запобігання виникнення ВПНС та ліквідації їх наслідків. Важливе значення мають також належна професійна підготовка персоналу ПНО, повнота та оперативність виконання ним своїх обов'язків.

Таким чином може бути запропонована типова структура інформаційної моделі розвитку ВПНС на ПНО (рис. 1). У моделі розглядаються чотири рівні можливого розвитку ВПНС та відповідні комплекси технічних систем (засобів) і організаційних заходів захисту.

На першому рівні засобами пожежної автоматики здійснюється розпізнавання початкових ознак ВПНС та припинення її на початковій стадії [2]. Це так званий параметричний канал захисту, який здатний виявляти і ліквідувати ВПНС у самому її зародку протягом декількох хвилин [3]. Створення такого каналу захисту потребує великих фінансових витрат для придбання, установки і експлуатації сучасного обладнання для вимірювання поточних значень параметрів вибухопожежної безпеки, автоматичного розпізнавання ознак ВПНС, її оцінювання та ліквідації.

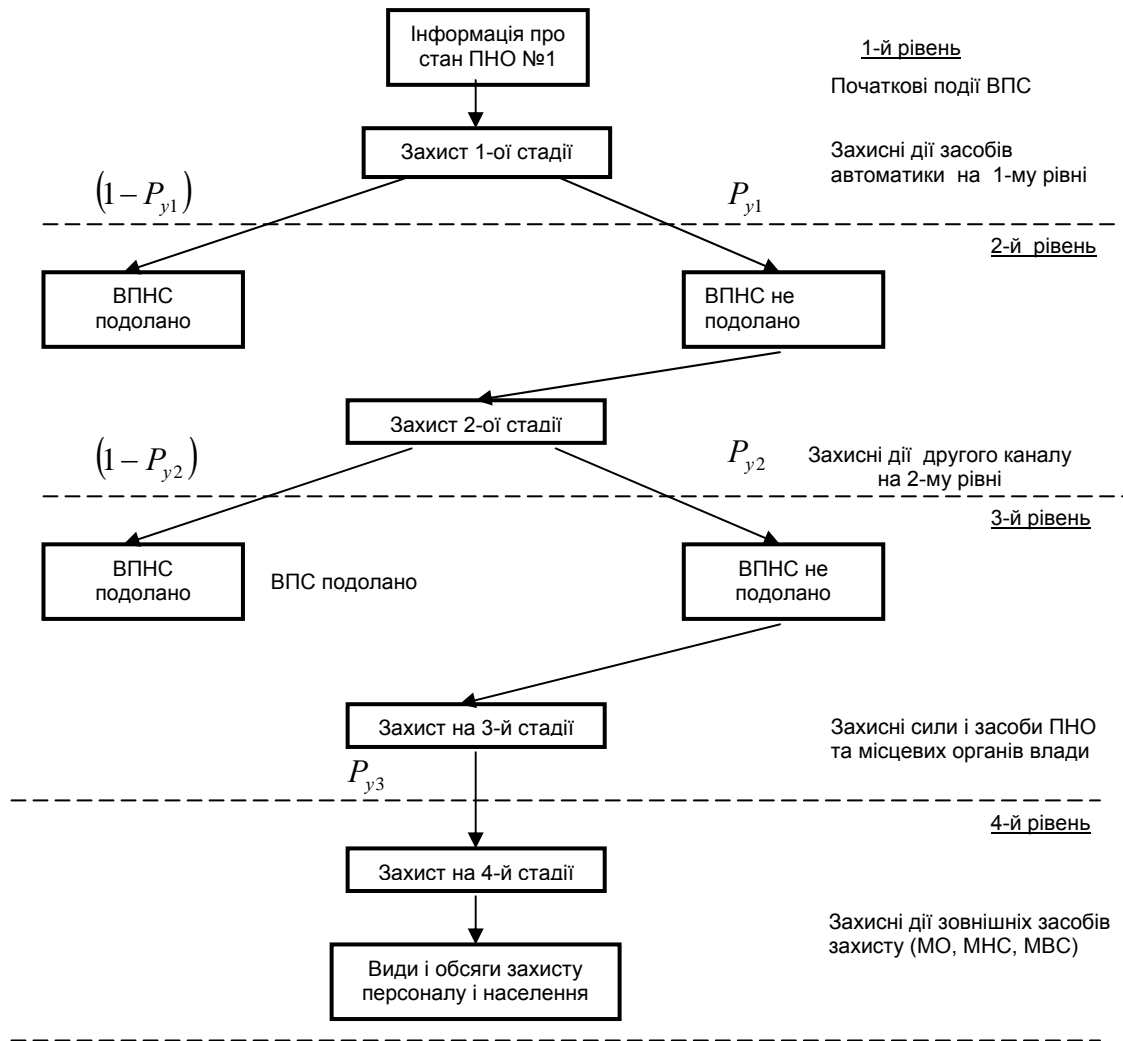


Рис. 1. Структура інформаційної моделі розвитку вибухопожежної ситуації на ПНО

На другому рівні у разі виходу значень параметрів стану ВР (температура, тиск, швидкість та площа вигорання, кисневий індекс, коефіцієнт димоутворення та ін.) за критичні межі ефективного застосування вимірювальних та активних засобів автоматичних систем вибухопожежобезпеки, чергові служби ПНО вводять у дію другий канал захисту, використовуючи при цьому усі інші сили і засоби пожежогасіння, що є на об'єкті. Ефективність другого каналу захисту залежить від наявних сил та засобів, оперативного прийняття раціональних рішень щодо їх використання, професіоналізму персоналу чергових служб ПНО та чіткого виконання ним інструкцій щодо дій у надзвичайних ситуаціях.

На третьому рівні розглядається випадок подальшої ескалації ВПНС у разі недостатньої ефективності першого та другого каналів захисту, коли виникає потреба залучення до боротьби з ВПНС додаткових сил і засобів муніципальних чи відомчих служб безпеки. При цьому прийняття рішень щодо використання усієї сукупності сил і засобів вибухопожежобезпеки, як правило, виходить на відомчий рівень.

На четвертому рівні розглядається вихід вражаючих факторів ВПНС у навколишнє середовище за межі розташування ПНО. У такому випадку виникає найбільша загроза здоров'ю та життю не лише персоналу ПНО, а й місцевому населенню поблизу ПНО та навколишньому

середовищу. Для ліквідації ВПНС на цій стадії залучаються сили й засоби відомчого, регіонального та державного рівнів.

Запропоновані нижче алгоритми базуються на розрахункових схемах з використанням зв'язків подій у системі "об'єкт-захист" та обраних ймовірнісних показників. Це зумовлено випадковою природою факторів, які визначають рівень безпеки (відмовлення технічних елементів системи вибухопожежного захисту, порушення регламентованих процесів функціонування ПНО, природні лиха, "людський фактор" тощо). Ризик виникнення ВПНС оцінюється ймовірністю виходу значень параметрів безпеки ПНО за нормативні межі на визначеному часовому інтервалі і на визначеній території. Наприклад, для устаткування вибухопожежної безпеки існує норматив ГОСТ 12.1.004-91, згідно з яким ймовірність виникнення пожежі не повинна перевищувати 10^{-6} випадків на рік.

Оцінка ризику виникнення ВПС може зводитися до отримання оцінок ймовірностей ескалації ВПНС після кожного рівня захисту, що прийняті в інформаційній моделі на рис. 1. При цьому необхідно прийняти кілька початкових умов:

- ПНО починає роботу і функціонує на деякому інтервалі часу у штатному режимі;
- канали протипожежного захисту, у випадку їх спрацювання, мають достатньо ресурсів для переведення ПНО в один із безпечних станів, які заздалегідь передбачено;
- швидкодія каналів захисту є достатньою для успішної нейтралізації ВПНС.

3. Алгоритми оцінювання вибухопожежної ситуації на ПНО

Введемо позначення для бінарних логічних змінних, що репрезентують відповідні події:

- x_i – i -та початкова подія виникнення ВПНС на ПНО (з ймовірністю P_{xi});
- z_i – подія неспрацювання першого каналу захисту по i -ій події (з ймовірністю P_{zi});
- φ_i – подія неспрацювання сигналізації першим каналом захисту по i -ій події (з ймовірністю $P_{\varphi i}$);
- y_1 – подія пропуску першим каналом захисту початку процесу ВПНС на ПНО (іскри, дим, зростання температури) (з ймовірністю P_{y1});
- y_2 – подія пропуску особовим складом ПНО подальшого розвитку ВПНС (різке зростання температури, зниження концентрації кисню, пожежі) (з ймовірністю P_{y2});
- y_3 – подія пропуску подальшого розвитку ВПНС (вибухова хвиля, розліт осколків, руйнування і переміщення продуктів вибуху, виникнення терміку та ін.) (з ймовірністю P_{y3});
- ψ – подія неможливості силами і засобами ПНО подолати ВПНС на ПНО (з ймовірністю P_{ψ});
- μ – подія неможливості силами і засобами ПНО, місцевими органами влади подолати наслідки ВПНС на ПНО і навколишній місцевості (з ймовірністю P_{μ}).

Вважаючи, що початкові події ВПНС є незалежними подіями, подія y_1 визначається як диз'юнкція z_i подій:

$$y_1 = \bigcup_{i=1}^n z_i, \quad (1)$$

де n – кількість пропущених початкових подій ВПНС;

$$z_i = x_i \wedge \varphi_i.$$

Ймовірність неспрацювання (спрацювання) першого каналу захисту по i -й події:

$$P_{zi} = P_{xi} P_{\varphi_i}, \quad (2)$$

$$q_{zi} = 1 - P_{zi}. \quad (3)$$

Застосовуючи процедуру ортогоналізації [4] і використовуючи логіко-ймовірнісні форми [5], маємо:

$$P_{y1} = P_{z1} + P_{z2}q_{z1} + P_{z3}q_{z1}q_{z2} + \dots + P_{zn}q_{z1}q_{z2}\dots q_{z(n-1)}, \quad (4)$$

$$P_{y2} = P_{y1} P_{\Psi}, \quad (5)$$

$$P_{y3} = P_{y2} P_{\mu}. \quad (6)$$

Таким чином, умовою реалізації оцінок ВПНС на ПНО є наявність відображення F між множиною алгоритмів оцінки ВПС E_a та відповідною множиною каналів захисту E_s [5]:

$$F : E_a \rightarrow E_s. \quad (7)$$

Для забезпечення достатньої об'єктивності оцінки ВПНС за викладеними алгоритмами (4–6) необхідно мати для кожного ПНО:

- перелік можливих ВПНС на конкретному ПНО та початкових подій для кожної з них;
- оцінку технічних можливостей першого каналу захисту та їх швидкодії щодо ліквідації початкових ознак ВПНС;
- оцінку укомплектованості, оснащеності та готовності сил і засобів місцевих органів влади та відомств до ліквідації ВПНС, якщо вона продовжує розвиватися.

Саме значення цих показників, що надані експертами-аналітиками, дають можливість сформулювати алгоритми залежності оцінки можливості розвитку ВПНС в залежності від можливостей каналів захисту різних рівнів.

Наведені алгоритми можна розглядати як інструментарій для моделювання і обґрунтування вибору надійних засобів безпеки ПНО на кожному з рівнів захисту. Ефективність цих алгоритмів можна вважати задовільною, якщо вартість заходів безпеки на кожному з цих рівнів не перевищуватиме вартості можливих втрат ПНО та навколишнього середовища внаслідок ВПНС.

4. Алгоритми оцінювання впливу вибухопожежної ситуації на ПНО на оточуюче середовище

Перш ніж проводити оцінку впливу ВПНС на ПНО на навколишнє середовище, введемо деякі узагальнені припущення. Будемо розглядати ПНО як окреме фізичне тіло з загальною площею S , якому відповідають:

- географічні координати ПНО, як точки на мапі;
- зведена маса ВР M , яка характеризується усією масою ВР, що виробляються, ремонтуються, зберігаються, транспортуються на ПНО;
- зведена маса палих (горючих) матеріалів M_0 ;
- площа горючих матеріалів S_0 ;
- загальна площа ПНО S .

Тоді пропонуємо зведену масу ВР M визначати таким чином:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \varepsilon_i}{\varepsilon_d}, \quad (9)$$

де N – кількість видів ВР на території ПНО;

m_i – маса i -го виду ВР на території ПНО, кг;

ε_i – питомий енерговміст i -го виду ВР на території ПНО, Дж/кг;

ε_d – питомий енерговміст ТНТ (тротилу), Дж/кг.

Зведену масу палих(горючих) матеріалів M_0 визначаємо таким чином:

$$M_0 = \frac{\sum_{l=1}^L m_l s_l}{S_0}, \quad (10)$$

де \tilde{m}_l – питома маса l -го виду пального матеріалу, кг/м²;

s_l – площа, яку займає палий матеріал l -го виду, м²;

L – загальна кількість видів палих матеріалів на ПНО.

Відзначимо, що поняття тротиловий еквівалент як енергетична характеристика вибуху може бути використано при оцінюванні екологічних наслідків вибухів і пожеж.

Поняття зведеної маси ВР M дозволяє формально оцінити енергію вибуху E_d , яка перетворюється в енергію руху, стиснення і розігрівання оточуючого середовища:

$$E_d = \varepsilon_d M. \quad (11)$$

Енергія E_d витрачається на такі інтегральні показники (фактори) вибуху [10, 11]:

- формування вибухової (ударної) хвилі;
- руйнування і переміщення продуктів вибуху;
- осколочні поля;

- генерація акустичної хвилі;
- генерація електромагнітного випромінювання;
- генерація сейсмічної хвилі.

Наведені фактори вибуху викликають небезпечні екологічні наслідки. Якщо прийняти, що середній радіус зони ризику r дорівнює 5км, то у такій зоні міститься не менше одного населеного пункту. Тому виникає небезпека від осколочних полів, продуктів вибуху, акустичної хвилі для мешканців цієї зони. Аерозолі послабляють сонячну радіацію. Порушення електричних полів приводить до збоїв у радіозв'язку. Тому формули, що наведені нижче, зможуть дати можливість оцінити небезпеку від енергії вибуху E_d для конкретного ПНО.

Вибухова хвиля (ВХ) – це народжений вибухом рух середовища, тобто поширення з великою швидкістю сильно стисненого повітря, параметрами якого є:

- максимальний тиск p_m ;
- імпульс I_m .

Вражаюча дія вибухової хвилі визначається перш за все надмірним тиском.

Для розрахунку надмірних тисків у фронті ВХ оберемо емпіричну формулу [6]:

$$\Delta P = \frac{\tilde{K}_1}{\tilde{R}} + \frac{\tilde{K}_2}{\tilde{R}^2} + \frac{\tilde{K}_3}{\tilde{R}^3}, \quad (12)$$

де $\tilde{K}_1, \tilde{K}_2, \tilde{K}_3$ – емпіричні коефіцієнти, які характеризують ВР або пальну суміш (для тротилу $\tilde{K}_1 = 0,095; \tilde{K}_2 = 0,39; \tilde{K}_3 = 1,30$);

$$\tilde{R} = r / M^{1/3};$$

$$\tilde{R} - \text{умовна відстань від центру вибуху, м/кг}^{1/3};$$

r – реальна відстань, м;

$$\Delta P = p_m - p_0, \text{ Па};$$

p_0 – початковий тиск у навколишньому середовищі, Па.

Формула (12) може бути використана для розрахунку радіусів і зон руйнування будівель і враження людей, якщо видам руйнування співставлені певні значення надмірного тиску та задані значення емпіричних коефіцієнтів. Вибухова хвиля може нанести велику шкоду людині, яку зустрічає на своєму шляху. Вона вражає людину надмірним тиском, і органи людини не витримують його і травмуються. Після стиснення відбувається швидке розширення повітря, що приводить до розриву тканин. Ушкодження людини залежить, в першу чергу, від величини надмірного тиску. Характер руйнування від вибухової хвилі залежить від потужності та виду вибуху, від рельєфу місцевості, щільності забудови, міцності будівель та ін. Як правило, користуються узагальненими залежностями видів руйнування від величини надмірного тиску.

Наприклад, залежність видів руйнування будівель від надмірного тиску [6–8] представлена у табл. 1.

Таблиця 1. Види руйнування будівель від надмірного тиску

№ п/п	ΔP [КПа]	Види руйнувань
1	> 210	Повне руйнування екосистеми навколо ПНО
2	> 28	Повне руйнування будівель навколо ПНО
3	> 1	Часткове руйнування будівель навколо ПНО
4	> 0,05	Небезпечна зона навколо ПНО

Руйнування і переміщення продуктів вибуху – це народжені вибухом вирви, руйнування і переміщення мас рідин, які оцінюються [6, 9]:

m_1 – маса рідини, яка утворилась внаслідок вибуху, кг;

m_2 – маса пилу, яка утворилась внаслідок вибуху, кг;

m_a – маса аерозолів, кг;

$$m_1 = \eta_d M \varepsilon_d / \varepsilon, \quad (13)$$

$$m_2 = k_1 m_1, \quad (14)$$

$$m_a = k_a m_2, \quad (15)$$

де ε – питомий енерговміст руйнування і переміщення продуктів вибуху, МДж/кг;

η_d – частка енергії вибуху, яка йде на руйнування речовини;

k_1 – коефіцієнт утворення пилу;

k_a – коефіцієнт утворення аерозолів.

Роздріблені і викинуті в атмосферу продукти вибуху можуть існувати протягом декількох діб, що може привести до забруднення повітря, водяного середовища, ґрунту, флори і фауни, посилення парникового ефекту, зниження врожаїв сільськогосподарських культур та ін.

Розліт уламків після вибуху (осколочні поля). Розліт, перш за все, пов'язаний з реактивними снарядами, діями ВХ, викидами пилу та ін. Розподілення питомої маси уламків після вибуху достеменно невідомо, тому що залежить від багатьох випадкових факторів (наявності обладнання навколо сховищ, геометричних параметрів сховищ, орієнтації боєприпасів у сховищах і на майданчиках відкритого зберігання, параметрів боєприпасів та ін.). Тому ушкодження фрагментами вибуху доцільно визначити як ймовірність улучення принаймні одного фрагменту вибуху в об'єкт ураження (будівля, споруда і т.д.). Ймовірність розподілення фрагментів вибуху може бути описана законом Пуасона [8, 9], що дає можливість будувати на мапі осколочні поля навколо ПНО.

Акустична хвиля. Різде коливання тиску в поєднанні з дією звукової (акустичної) хвилі може привести до ушкодження барабаних перетинок середнього і внутрішнього вуха, до глухоти і німоти. Енергія акустичної хвилі E_a оцінюється [8, 9]:

$$E_a = \eta_a E_d, \quad (16)$$

де η_a – акустичний енергетичний коефіцієнт при вибуху.

Максимальний розподіл акустичної хвилі припадає на частоту f_m , яка оцінюється таким чином:

$$f_m = K_f M^{-1/3}, \quad (17)$$

де K_f – частотний емпіричний коефіцієнт акустичної хвилі.

Акустична хвиля розповсюджується до верхніх прошарків атмосфери і впливає на її енергетику і динамічні процеси, що відбуваються у ній.

Електричне поле. Електричне поле при вибухах виникає внаслідок поділу зарядів під час викиду і руху зруйнованої речовини. Електричний заряд q_e для наземного вибуху оцінюється [8, 9]:

$$q_e = K_e \sqrt{M}, \quad (18)$$

де q_e – електричний заряд, Кл;

K_e – емпіричний коефіцієнт поверхневого вибуху.

Амплітуда сплеску електричного E_{e0} поля визначається:

$$E_{e0} = \frac{q_e}{2\pi\epsilon_0 h_e^2}, \quad (19)$$

де E_{e0} – амплітуда сплеску електричного поля, В/м;

h_e – висота, на яку викинутий електричний заряд, м;

ϵ_0 – електрична константа, Кл/вм.

У свою чергу, зміна в часі електричного поля викликає пульсації геомагнітного поля, що може призвести до порушення функціонування відповідних навігаційних систем.

Сейсмічна хвиля. Сейсмічні хвилі виникають при утворенні зони сильного стиску у ґрунті. Поширюючись в усі сторони від центру вибуху, сейсмічні хвилі призводять до руйнування і пошкодження підземних об'єктів, а також до коливання в поверхневому шарі землі, що нагадує землетрус. При поверхневому вибуху в енергію сейсмічних хвиль переходить мала частка енергії вибуху. Руйнування споруд супроводжується виникненням механічних травм у особового складу та населення. В енергію сейсмічних хвиль E_s переходить частка енергії вибуху [9]:

$$E_s = \eta_s E_d, \quad (20)$$

де E_s – енергія сейсмічних хвиль;

η_s – ваговий коефіцієнт сейсмічної хвилі.

Екологічні наслідки вибуху можуть у багато разів перевищувати енергію вибуху E_d . Це пояснюється тригерним ефектом [7–9], який враховує сонячну енергію, недотриману на Землі за час забруднення атмосфери наслідками вибуху.

Наведені поняття, формули для показників наслідків вибуху $\{E_d, \Delta p, p_m, m_1, m_2, m_a, E_a, f_m, q_e, E_{e0}, E_s\}$ мають оціночний характер, тобто є критеріями, які можуть застосовуватись для оцінки наслідків вибухової ситуації на ПНО, що впливають на навколишнє середовище.

При цьому початковими даними будуть: $\{m_i, \varepsilon_i, \varepsilon_d, \varepsilon, k_1, k_2, k_f, k_e, \eta_d, \eta_a, \eta_s\}$.

Вибухи, крім руйнівних впливів, супроводжуються пожежами. Наслідки пожежі і відповідні алгоритми їх оцінки будуть розглянуті у подальших публікаціях авторів.

5. Висновки

В статті запропоновані 4-рівнева модель розвитку ВПС на ПНО в залежності від можливостей 4-х рівнів захисту ПНО, алгоритми розрахунку ймовірностей пропускання кожним каналом захисту розвитку ознак ВПС, введена функція залежностей рівня ВПС від множини каналів захисту.

Наведені алгоритми розрахунку ймовірностей виникнення та розвитку ВПС на ПНО можна розглядати як інструментарій для моделювання та обґрунтування вибору надійних засобів захисту ПНО від ВПС на кожному рівні захисту.

Запропоновані алгоритми оцінювання впливу ВПС на ПНО на навколишнє середовище, які можуть бути використані для оцінки масштабів наслідків ВПС на ПНО на навколишнє середовище та населення.

Ефективність цих алгоритмів буде підтверджена, якщо вартість заходів захисту ПНО на усіх рівнях не буде перевищувати вартості можливих втрат від ВПС на ПНО та в оточуючому середовищі.

Розраховуючи згідно з наведеними алгоритмами можливі наслідки вибухової ситуації на ПНО, можна визначити грошовий еквівалент від наслідків НС. Оцінюючи здатність кожного із каналів захисту ПНО на ідентифікацію початкових дій НС та її можливого розповсюдження, можна запропонувати заходи щодо удосконалення якості цих каналів, оцінити їх у грошовому еквіваленті і порівняти з грошовим еквівалентом втрат при виникненні вибухової НС на ПНО. Після цього можна прийняти рішення щодо достатності та якості каналів захисту ПНО від НС чи необхідності реалізації запропонованих заходів. Цей процес може бути ітераційним до знаходження оптимального рішення щодо затрат на удосконалення систем захисту та затрат по втратах при виникненні вибухової ситуації на ПНО, враховуючі людські жертви.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Офіційний сайт Міністерства оборони України (<http://www.mil.gov.ua>).
2. Правила технічного утримання установок пожежної автоматики. Наказ МВС України від 29 липня 2000 р. – № 507.
3. Техногенна безпека. Техногенні вибухи, пожежі / Л.Р. Ниник, Ю.Л. Ниник, Г.Г. Клеконь, Н.М. Прокопчук. – Рівне: РДТУ, 2002. – 140 с.
4. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно сложных систем / Рябинин И.А. – СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.
5. Кузьменко Г.Є. Методичний підхід до побудови моделі процесу підвищення рівня безпеки об'єкта підвищеної небезпеки / Г.Є. Кузьменко, В.С. Хомініч // Математичні машини і системи. – 2009. – № 3. – С. 105 – 113.
6. Черногор Л.Ф. Взрывы боеприпасов на военных базах – источник экологических катастроф в Украине / Л.Ф. Черногор // Экология і ресурси. – 2004. – № 10. – С. 55 – 67.
7. Черногор Л.Ф. Естествознание. Интегрирующий курс / Черногор Л.Ф. – Харьков: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2007. – 535 с.
8. Аварии на взрывопожаробезопасных объектах и модели их экологических последствий / В.В. Токаревский, С.И. Азаров, Г.А. Сорский [и др.] // Экология і ресурси. – 2004. – № 11. – С. 59 – 73.
9. Бондар О.І. Екологічні проблеми об'єктів військової діяльності / О.І. Бондар // Екологічний вісник. – 2002. – №1–2. – С. 22 – 24; № 3–4. – С. 26 – 28.

Стаття надійшла до редакції 13.10.2009