УДК 004.942; 629.039.58

О.В. КОВАЛЕНКО[*]

УПРАВЛІННЯ ВИБУХОПОЖЕЖНИМ ЗАХИСТОМ ОБ'ЄКТІВ ЯДЕРНОЇ ТА РАДІАЦІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ ПЕТРІ

[*]Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

Анотація. *У статті наведено підхід до формалізації процесів обробки даних з метою автоматичного або автоматизованого запуску засобів пожежогасіння в системах вибухопожежного захисту об'єктів ядерної та радіаційної небезпеки. Розглянуто можливість диференційованого запуску за заданим алгоритмом за умови здійснення події на основі мереж Петрі. Наведено математичну модель поведінки мережі при використанні декількох виконавчих пристроїв вибухопожежного захисту. Зроблені висновки щодо можливого застосування запропонованого в роботі.*
Ключові слова: *система, захист, радіаційна небезпека, модель, простір станів.*

Аннотация. *В статье предложен подход к формализации процессов обработки данных для автоматического или автоматизированного запуска средств пожаротушения в системах взрывопожарной защиты объектов ядерной и радиационной опасности. Рассмотрена возможность дифференцированного запуска за заданным алгоритмом при свершившемся событии на основе сетей Петри. Представлена математическая модель поведения сети при использовании нескольких исполнительных устройств взрывопожарной защиты. Сделаны выводы по возможному использованию предложений, представленных в работе.*
Ключевые слова: *система, защита, радиационная опасность, модель, пространство состояний.*

Abstract. *In paper the approach on formalization of processes of data processing for the automatic or automated start of fire extinguishing means is offered. It is necessary for creation of systems of fire and explosion protection of objects of nuclear and radiation hazard. Possibility of the differentiated start with the set algorithm on the basis of networks of Petri is considered. The mathematical behavior model of net under the usage of several devices of fire and explosion protection is presented. It was given the conclusions on the possible use of suggestions represented in the work.*
Keywords: *system, protection, radiation hazard, model, state space.*

1. Вступ

Сучасний нестабільний соціально-політичний та економічний стан багатьох країн світу, постійно зростаюча загроза тероризму, а також різноманітні природні катаклізми примушують активізувати роботи з захисту оточуючого природного середовища та людини в ньому від негативних впливів потенційно небезпечних та небезпечних об'єктів господарювання, які можуть створювати загрозу масового отруєння або навіть знищення великої кількості населення. Особливу небезпеку серед таких об'єктів несуть підприємства ядерно-паливного циклу (АЕС, дослідницькі реактори, підприємства по видобуванню та переробці урану), підприємства, які використовують радіаційно небезпечні технології та матеріали, об'єкти, призначені для поводження з радіоактивними відходами, а також території, що постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи.

Актуальність теми дослідження полягає в необхідності вдосконалення та розробки систем ядерної безпеки, пошуку нових підходів до організації захисту від вибухів та пожеж на об'єктах ядерної небезпеки з застосуванням сучасних техніки та технології вибухопожежного захисту, комп'ютерних систем управління та підтримки прийняття рішень.

Метою роботи є дослідження можливого напряму для підвищення оперативності обробки даних з метою диференційованого запуску засобів пожежогасіння шляхом створення підходу до побудови систем управління вибухопожежним захистом об'єктів ядерної та радіаційної небезпеки на основі мереж Петрі.

© Коваленко О.В., 2015

Завдання роботи:

– дослідити переваги та недоліки існуючих інформаційно-аналітичних систем на предмет можливості інтеграції до їх складу модулів управління виконавчими пристроями задля забезпечення вибухопожежного захисту потенційно небезпечних та небезпечних об'єктів;

– представити формалізацію процесів обробки даних та диференційованого запуску засобів пожежогасіння в системах вибухопожежного захисту об'єктів ядерної та радіаційної небезпеки на основі мереж Петрі.

Слід зазначити, що сучасним технологіям забезпечення захисту потенційно небезпечних та небезпечних об'єктів присвячено дуже багато різноманітних публікацій як суто технічного, так і наукового характеру. Особливо цікавою в ракурсі теми, що аналізується, є монографія В.Є. Снитюка, А.О. Биченка та О.М. Джулая [1], в якій розглянуто систему пожежної охорони з точки зору системного підходу та запропоновані моделі й методи вирішення задач пожежної безпеки. Мережі Петрі є відомим математичним апаратом для моделювання динамічних систем.

Однак, не зважаючи на широке дослідження прикладного застосування мереж Петрі, питання їх використання при моделюванні систем вибухопожежного захисту об'єктів ядерної та радіаційної небезпеки залишаються не дослідженими.

2. Проблематика дослідження

У практиці управління безпекою потенційно небезпечних (ПНО) та небезпечних об'єктів (НО) існує ряд проблем, які обмежують впровадження і функціонування нових засобів вибухопожежного захисту: застосування протипожежних засобів, швидкість розвитку аварії та прийняття рішень за небагаточисельними імітаційними моделями щодо заходів з її ліквідації часто не узгоджені у часі, не мають достовірної й актуальної інформації про розвиток аварії, місце події, наявні засоби, стан ситуації. Але найбільша проблема автоматичних і автоматизованих засобів пожежогасіння, що використовуються на підприємствах, складах, сховищах, полягає у тому, що ці засоби у разі виникнення аварійної ситуації спрацьовують усі зразу і однаково накривають як безпосередньо осередок аварії, так і неуражені ділянки. При цьому ефективність пожежогасіння знижується, а матеріальні збитки збільшуються.

Опираючись на різноманітні плани локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС), типові інструкції, регламенти різних ПНО та НО, можна визначити та охарактеризувати існуючу функціональну (організаційну) модель підтримки прийняття рішень забезпечення вибухопожежної безпеки типового небезпечного підприємства України. Ця модель охоплює три окремі системи: пожежну сигналізацію та зв'язок, автоматизоване пожежогасіння, протиаварійне блокування технологічного процесу згідно з карточками ПЛАСу.

Пожежна сигналізація для ПНО та НО охоплює багато датчиків, які фіксують одночасно ряд параметрів [2]. Пожежний зв'язок підприємств складається із зв'язку сповіщення, диспетчерського зв'язку та зв'язку безпосередньо на пожежі з метою управління рятувальними підрозділами.

Як системи пожежогасіння на ПНО та НО використовуються автоматизовані дренчерні і сплінкерні системи пожежогасіння – інертні і важкокеровані. Система протиаварійного блокування технологічного процесу реалізується у рамках дії агрегатного комплексу технічних засобів автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП) [2]. Проте в цілому вибухопожежний захист ПНО або НО представлений у вигляді окремих слабко інтегрованих систем з неузгодженістю та частковим дублюванням дій [3].

Короткий аналіз зазначеного дозволяє зробити висновок: кінцева подія з ліквідації наслідків аварійної ситуації буде розтягнута у часі на період затримки прийняття рішення

– відставання керуючого впливу від швидкості розвитку події. При практичній реалізації це означає, що можна використовувати будь-яку найсучаснішу пожежну техніку і технології вибухопожежного захисту, однак без нових моделей інформаційно-аналітичної обробки інформації з метою підвищення оперативності управління засобами вибухопожежного захисту, а головне – їх диференційованого запуску для локалізації конкретних осередків займання, технологічні переваги нової техніки не будуть використані в повному обсязі.

3. Особливості інформаційно-аналітичного забезпечення вибухопожежного захисту

Під вибухопожежним захистом або забезпеченням вибухопожежного захисту об'єктів ядерної та радіаційної небезпеки в цій роботі розуміються дії з попередження, локалізації та ліквідації пожежі, вибуху та/або викиду радіаційно забрудненої речовини та недопущення переходу аварії в катастрофу.

Можна виділити чотири основні групи завдань, що вирішуються в сучасних інформаційно-аналітичних системах для забезпечення вибухопожежного захисту:

– оптимізація засобів та сил при виконанні завдань [4];

– вирішення транспортної задачі щодо знаходження оптимального шляху до аварійного об'єкта [5];

– навчання персоналу, аналіз та попередження помилок, розрахунок статистичних характеристик функціонування протипожежних підрозділів [6];

– автоматизація процесів підтримки прийняття рішень при пожежогасінні та застосування методів штучного інтелекту для створення експертних систем [1].

Практична реалізація застосування моделей підтримки прийняття рішень щодо забезпечення протипожежної безпеки дуже незначна [5]. Здебільшого – це імітаційні моделі, за якими можна побудувати картину розвитку окремої ситуації. Серед найбільш відомих моделей можна назвати такі системи інформаційно-аналітичного забезпечення:

– імітаційну модель функціонування протипожежної служби, яка розроблена Всеросійським науково-дослідним інститутом протипожежної оборони та призначена як елемент автоматизованої системи управління протипожежними службами міста;

– моделі, використані в системі імітаційної діяльності протипожежної служби «КОСМАС» із застосуванням геоінформаційних технологій та тренажери-грі «ТІГРІС», які є також російськими розробками;

– моделі, які покладені в основу програм для моделювання та проведення розрахунків: ASCOS (Analysis of Smoke Control System), ASET (Available Safe Egress Time), DETACT (Detector Activation), FAST (Fire And Smoke Transport), FIREFORM (Fire Formulae), FPETOOL (Fire Protection Engineering Tool), HAZARD-1; LAVENT (Link Activated Vent), серед яких найбільш відомими є пакети прикладних програм «FPETOOL» та «HAZARD-1», розроблені в США, що використовуються багатьма європейськими країнами, та британські розробки для імітаційного моделювання Jasmine і Sofie.

Проте жодна з практичних реалізацій не може бути представлена як повноцінна система підтримки прийняття рішень, яка б дозволила одночасно з інформаційно-аналітичною складовою задавати алгоритм виконання пристроям вибухопожежної безпеки в залежності від змодельованої ситуації.

Прикладна сфера дослідження та особливості специфіки об'єктів ядерної та радіаційної небезпеки вимагають при розробці інформаційно-аналітичних систем управління вибухопожежним захистом враховувати особливості розповсюдження радіації в оточуючому середовищі. Природне середовище неоднорідне, і багато параметрів його функціонування може бути невідомим частково або зовсім. У зв'язку з цим у процесі моделювання події, що вже відбулася, недостатність інформації буде фактом на відміну від моделей запобігання аварії, в яких експерт оперує наявними на момент моделювання даними та проектує можливий розвиток за результатами моніторингу ситуації. Це вимагає інформаційно-

аналітичні системи вибухопожежного захисту орієнтувати саме на попередження події, що призведе до радіоактивного забруднення. Враховуючи досвід аварії на Чорнобильській АЕС (Україна) та АЕС «Фукусіма-1» (Японія), безпосередньо протягом декілька годин після викиду ефективність прийнятого рішення є найбільш високою, бо дозволяє врятувати життя і здоров'я людей на оточуючих об'єкт територіях, а також запровадити ряд контрзаходів протидії розповсюдження ураження території. Розуміння ситуації експертами, що аналізують подію, відбувається повільніше – приблизно до кінця доби з моменту викиду. Повний аналіз ситуації відбувається наприкінці першого тижня. Але за таких умов ефективність прийняття рішень є занадто низькою.

Не менш важливим для реалізації задачі запобігання радіоактивному забрудненню є вибір виконавчих засобів, алгоритм управління якими може бути закладений до інформаційно-аналітичної системи. Останнім часом на заміну важкокерованих дренчерних і сплінкерних систем пожежогасіння пропонуються імпульсні вибухопожежні засоби [7] на основі гідро-, пневмовикиду або із застосуванням піропатрона. Ці засоби мають ряд переваг [8], які дозволяють поєднувати їх у системи з диференційованим запуском:

– витрати вогнегасної суміші (ВС) або води тільки в 2-3 рази вище, ніж теоретичні, у той час як у традиційної техніки питомі витрати ВС і води перевершують теоретичні від 10 до 10 000 разів;

– масштаб ефективного впливу за допомогою одного модуля або вогнегасника вище до 100 разів, що скорочує час гасіння до 50 разів;

– дальність дії вище в 3-10 разів, висока надійність і стабільність роботи в широкому діапазоні температур від -60^{o}С до +60^{o}С погодних і кліматичних умов;

– реалізується гнучко кероване, ефективне розпилення будь-яких рідких, гелеподібних і порошкових вогнегасних сумішей, ґрунту, піску, води, бруду, пилу, промислових пилових і порошкових відходів без додаткової підготовки й змін конструкції;

– з однієї установки, системи або машини здійснюється комбіноване гасіння або захист;

– низька собівартість виробництва й сервісного обслуговування, легкість навчання та перекваліфікації персоналу для роботи з такими системами;

– високий ступінь безпеки роботи, що складається з 10-кратного запасу міцності щодо невеликих ємностей високого тиску імпульсних, розпилювальних систем, виводу персоналу, пожежних і рятувальників з небезпечної зони.

Зазначене, у підсумку, дозволяє представити деяку цілісну картину побудови систем управління вибухопожежним захистом об'єктів ядерної та радіаційної небезпеки на основі поєднання:

– інформаційно-аналітичних систем, які дозволяють отримувати та обробляти інформацію про подію в режимі реального часу, моделювати можливий розвиток аварії та її розповсюдження за часом та у просторі;

– модулів управління виконавчими пристроями вибухопожежного захисту, які на основі моделей про розвиток аварії реалізують алгоритми диференційованого запуску зазначених пристроїв з метою запобігання локалізації і ліквідації аварії;

– імпульсних виконавчих пристроїв – динамічно інтегрованих, легко керованих, з високою швидкістю викиду ВС, поєднаних в автоматичні та автоматизовані системи вибухопожежної безпеки.

Враховуючи те, що управління імпульсними засобами у даному випадку буде представляти собою дискретний процес з найскладнішими зв'язками, пропонується підхід до диференційованого запуску засобів пожежогасіння в системах вибухопожежного захисту об'єктів ядерної та радіаційної небезпеки на основі мереж Петрі.

4. Формалізація процесів вибухопожежного захисту на основі мереж Петрі

Алгоритми оцінювання і прогнозування динамічних систем ґрунтуються на рекурсивних обчислювальних схемах. Стан динамічної системи характеризують множиною змінних стану, смисл яких залежить від типу конкретного процесу, що аналізується [9]. Враховуючи це, від моделей у вигляді різницевих чи диференціальних рівнянь можна перейти до простору станів і навпаки.

Зазначене дозволяє моделювати можливе розповсюдження радіаційно небезпечних речовин у неоднорідному середовищі через простори станів. Так, у статичній моделі «радіаційно небезпечне підприємство – середовище» можна визначити деяку ділянку площини $R, \Omega \in R$, яка представляє собою адміністративно обмежену територію (підприємство, місто, регіон), $\vec{r} \in R$. Тоді простори, які моделюють стан системи, можуть бути визначені таким чином:

– простір станів підприємства $X = X(\Omega, \mathrm{R^m})$, як множину вектор-функцій $x: \Omega \to R^n$, $x(\vec{r}) = (x_1(\vec{r}), \dots x_n(\vec{r}))$;

– простір станів забруднення оточуючого середовища у разі виникнення викиду небезпечних для оточення речовин $Y = Y(\Omega, \mathrm{R^m})$, який можна вивести як тензорний добуток двох векторів стану середовища та стану людини в цьому середовищі, у підсумку чого відбувається композиція двох функцій: $F: Y \to N$ та $G: F(Y) \subset N \to Z$. Їх композицією буде функція $G \circ F: Y \to Z$. Це, у свою чергу, можна представити рівнянням $(G \circ F)(y) = G\big(F(y)\big), y \in Y$ та описати множиною вектор-функцій $y: \Omega \to R^m$, $y(\vec{r}) = (y_1(\vec{r}), \dots y_n(\vec{r}))$;

– результати моніторингу оточуючого середовища доцільно представити простором станів оточуючого середовища: $V = V(\Omega, \mathrm{R^k})$ або як множину вектор-функцій $v: \Omega \to R^l$, $v(\vec{r}) = (v_1(\vec{r}), \dots v_n(\vec{r}))$;

– простір небезпечних впливів на оточуюче середовище та людину, які можуть бути представлені як порушення регламенту при оперуванні ресурсами підприємства з виконання поставленого виробничого завдання: $W = W(\Omega, \mathrm{R^p})$. Небезпечний вплив може бути представлений як множина вектор-функцій $w: \Omega \to R^p$, $w(\vec{r}) = (w_1(\vec{r}), \dots w_n(\vec{r}))$.

Простори, які моделюють можливі операції, що відбуваються у досліджуваній системі, є контрзаходами на подію і можуть бути означені як складові ситуаційного управління в загальній системі управління:

$K(X)$ – простір операцій по відношенню до небезпечного підприємства або окремого підрозділу, де $a = (a_1, \dots a_r) \in K(X)$;

$K(V \times Y)$ – простір операцій по відношенню до оточуючого середовища, включаючи тензорний добуток двох векторів стану середовища та стану людини в цьому середовищі, де $b = (b_1, \dots b_s) \in K(V + Y)$;

$\varphi \in \Phi$ – простір інших критеріїв, що мають суттєвий вплив на систему, яка досліджується.

Точки просторів операцій $K(X)$, $K(V \times Y)$ у параметричному вигляді задають вплив, який здійснюється на систему. Компоненти векторів можуть бути представлені числовими або логічними змінними.

Приклади означення просторів такі:

$x \in X$ – вплив небезпечного підприємства на оточуюче середовище за кожною компонентою забруднення;

$y \in Y$ – розподіл забруднюючих речовин на середовище, на людину.

Зв'язки між просторами визначатимуться таким чином:

$F: X \times V \to Y$ визначає стан забруднення середовища за результатами моніторингу стану середовища та стану підприємства;

$J: X \times Y \to W$ визначає збиток у залежності від стану середовища та стану об'єкта.

Аналогічно будуються й інші зв'язки досліджуваних просторів.

Визначення величин критеріїв L можна здійснити за моделлю:

$$L: X \times V \times K(X) \times K(V \times Y) \times K(F) \times K(J) \times W \to \Phi \overset{U}{\to} M, \qquad (1)$$

де M (Management Mode – керований режим) виступає керованим режимом функціонування підприємства, на повернення до якого і спрямовані зусилля U з запобігання розвитку аварійної ситуації.

На цьому етапі відбувається перехід до динамічної моделі, коли узгодження за простором і часом досягає критичного моменту для достовірності ситуації, що моделюється. Всі наведені простори операцій замінюються на простори, залежні від часу, тобто, $K^T(X)$ – простір операцій по відношенню до небезпечного підприємства або окремого підрозділу у вигляді функції за період часу Т. Інші простори будуються аналогічним чином, у тому числі при застосуванні операцій залежності між просторами.

У представленій системі зміни її стану трапляються в особливі моменти часу, коли виникають умови для здійснення події. Наприклад, пожежу на ПНО або НО можна розглядати як зміну стану системи від режиму, керованого регламентом, до режиму роботи за ПЛАСом, що призведе до виникнення або невиникнення умов для інших подій. Тобто, визначення взаємозв'язків між подіями і умовами за можливими операціями і результатами дозволять побудувати процес виконання дій окремими вибухопожежними пристроями з використанням елементів мережі Петрі (рис. 1).

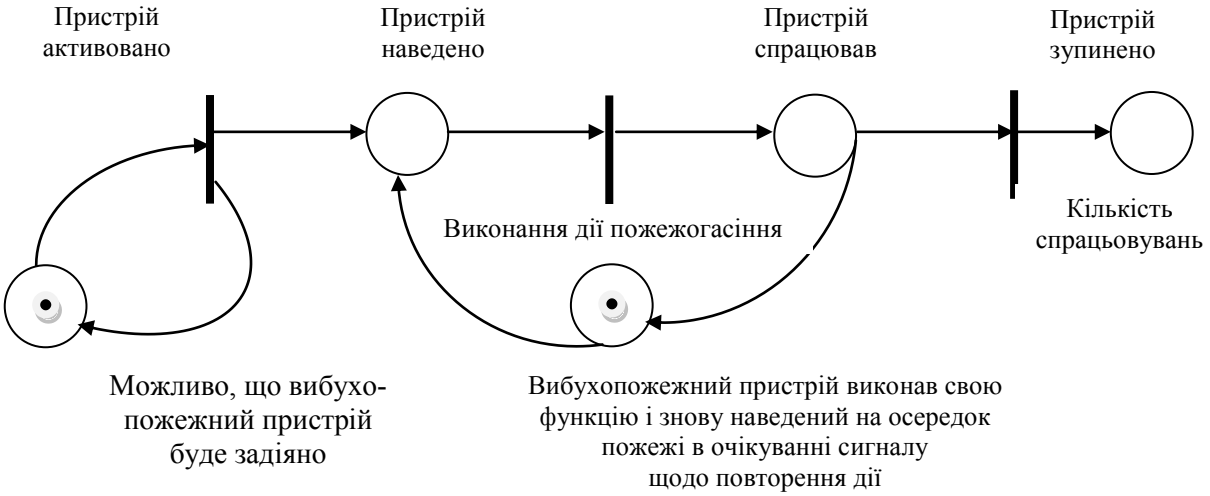

Рис. 1. Мережа Петрі спрацювання вибухопожежного пристрою при виникненні пожежі

Коли спрацьовує перехід «Пристрій активовано», у позиції «Пристрій наведено» з'явиться маркер (точка в колі). При виконанні умов маркери будуть пересуватися з позиції на позицію, що означає виконання умов для події. Наявність умови «Вибухопожежний пристрій виконав свою функцію і знову наведений на осередок пожежі в очікуванні сигналу щодо повторення дії» забезпечує спрацьовування пристрою до повної ліквідації осередку пожежі. Поведінка мережі Петрі є процесом переміщення маркерів між різними позиціями за переходами (позначені на рис. 1 стрілками). Правила спрацювання переходів визначаються класом мереж, що застосовуються.

Аналізуючи ситуацію стосовно пожежі, яка ускладнюється викидом радіаційно небезпечних речовин, знову слід звернутися до моделі «радіаційно небезпечне підприємство – середовище» та оперувати станами підприємства. Враховуючи, що у цьому випадку виконавчий пристрій вибухопожежного захисту буде не один, то на мережі Петрі будуть ві-

дображені багатоканальні переходи з кратністю дуг для станів оточуючого середовища з відповідними збитками, різною небезпекою впливу $W : F \longrightarrow N$ та періодами спрацювання переходів від події до події $D : T \longrightarrow N$, де N є деяка мережа Петрі. Поведінку такої мережі можна описати рівнянням станів (2), де $u_t(\tau)$ є кількістю каналів переходу t, що запускаються у такті τ; $\upsilon_t(\tau)$ – кількість каналів переходу t, активованих у такті τ; $\lambda_p(\tau)$ – проміжкове маркування позиції p під час зміни такту $\tau - 1$ на такт τ, що відбувається під час раніше задіяних переходів. Під min зазначена операція кон'юнкції за правилами багатозначної логіки. Операція ділення є цілочисельною. S позначає множину переходів.

$$\begin{cases} \lambda_p(\tau) = \mu_p(\tau - 1) + \sum_{t \in p} w_{t,p} \cdot u_t(\tau - d_t) + \alpha_p^{\tau}, \\ \mu_p(\tau) = \lambda_p(\tau) - \sum_{t \in p} w_{t,p} \cdot u_t, \\ \mu_p(\tau) \geq 0, \\ 0 \leq u_t(\tau) \leq \upsilon_t(\tau), \\ \upsilon_t(\tau) = min\, \lambda_q(\tau)/w_{q,t}, p \in P, t \in T, \\ S(0) = S_0, \tau = 1,2 \ldots, \\ r \in R. \end{cases} \quad (2)$$

Фактично, модель (2) представляє дискретну систему, яка перетворює послідовність маркерів, що входять, та спрямовані на деякі позиції простору станів підприємства X, на вихідну послідовність маркерів, які вказують на зусилля U для повернення до керованого режиму функціонування підприємства M, представленого (1).

Абстрагуючись від формального представлення, модель (2) можна описати таким чином: на деякому радіаційно небезпечному підприємстві r, що знаходиться у регіоні R, існує загроза радіаційного забруднення оточуючого середовища, яку можна описати за допомогою просторів станів. Проводячи активацію вибухопожежних засобів за заданим алгоритмом, який розроблений на основі моделювання розвитку ситуації, з запуском їх у певному такті τ за каналами переходу t, використовуючи сучасну вибухопожежну техніку та речовини, що дозволяють не допустити виникнення і розвиток пожежі, а також унебезпечити дію радіаційно небезпечних викидів, можна запобігти виникненню аварії. Враховуючи швидкість ініціалізації та результати вітчизняних і зарубіжних розробок імпульсних засобів різноманітної ініціалізації викиду, система вибухопожежного захисту на основі запропонованого підходу здатна подавити осередок відкритого вогню площею 1м^3 одним літром води за 2–4 с.

5. Висновки

Більшість потенційно небезпечних та небезпечних підприємств України мають високий рівень зносу основних виробничих фондів, що значно підвищує ризик виникнення небезпеки та загальне техногенне навантаження на території, де вони розташовані. А враховуючи зростання загрози здійснення терористичних актів або виникнення прямого військового конфлікту в межах таких підприємств, як це відбувалося й відбувається в Луганській і Донецькій областях, ці промислові об'єкти створюють пряму небезпеку ураження значних за площею та кількістю населення територій.

Техніка і технологія вибухопожежного захисту, що застосовується рятувальниками у разі виникнення пожеж, виливів і викидів небезпечних речовин на зазначених підприємствах, не дозволяє запобігти виникненню аварії. Як правило, відбуваються локалізація осередку та ліквідація наслідків. Для виконання задач з попередження виникнення аварії слід застосовувати як сучасну техніку вибухопожежного захисту, так і нові технології управління.

У роботі запропоновано підхід до формалізації процесів обробки даних та диференційованого запуску засобів пожежогасіння в системах вибухопожежного захисту об'єктів ядерної та радіаційної небезпеки на основі мереж Петрі.

Зокрема:

– представлена модель можливого розповсюдження радіоактивних речовин у неоднорідному середовищі через простори станів з переходом від аварійного до керованого режиму функціонування підприємства з метою запобігання розвитку аварійної ситуації;

– за умовою виникнення протидії, як реакції на подію, та визначення взаємозв'язків між подіями і умовами за можливими операціями і результатами представлено виконання дій окремими вибухопожежними пристроями з використанням елементів мережі Петрі;

– наведена модель багатократних переходів за рівнянням станів, яка дозволяє представити дискретну систему як послідовність маркерів, що входять, та спрямовані на деякі позиції простору станів підприємства, на вихідну послідовність маркерів – повернення до керованого режиму функціонування.

Представлене в роботі може бути використане для створення алгоритму диференційованої ініціалізації виконавчих пристроїв вибухопожежного захисту в автоматичному і автоматизованому режимах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Снитюк В.Е. Эволюционные технологии принятия решений при пожаротушении / Снитюк В.Е., Быченко А.А., Джулай А.Н. – Черкассы: Маклаут, 2008. – 268 с.
2. Роздин И.А. Безопасность производства и труда на химических предприятиях / Роздин И.А., Хабарова Е.А., Вареник О.Н. – М.: Химия, Колос С, 2005. – 254 с.
3. Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности / В.А. Голубятников, В.В. Шувалов. – М.: Химия, 2005. – 352 с.
4. Бутырин О.В.Технология оценивания эффективности функционирования системы обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий / О.В. Бутырин, А.В. Абаев. – Иркутск: ИрГУПС, 2010. – 132 с.
5. Brik A.M. Engineering Fire Testing and Computer Modelling of rail tank-cars engulfed in fires: Literature review for transport dangerous goods and transporation development centre transport / Brik A.M. – Canada Kingston, Ontario, Canada, March, 2006. – 36 p.
6. Организация, тактика и техника тушения пожаров на объектах народного хозяйства: сб. научн. тр. / И.М. Абдурагимов, М.П. Башкирцев, Н.Н. Брушлинский [и др.]. – М.: Изд-во ВИПТШ МВД СССР, 1988. – 187 с.
7. Официальный сайт «IFEX-3000» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ifexuk.com.
8. Кряжич О.О. Математичні моделі забезпечення імпульсного вибухопожежного захисту хімічного підприємства / О.О. Кряжич, В.Д. Захматов // Математичні машини і системи. – 2012. – № 4. – С. 168 – 174.
9. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень / С.О. Довгий, П.І. Бідюк, О.М. Трофимчук, О.І. Савенков. – К.: Азимут-Україна, 2011. – 608 с.

Стаття надійшла до редакції 25.03.2015