

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІМПУЛЬСНОГО ВИБУХОПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Анотація. У статті розглянуто варіант моделювання забезпечення імпульсного вибухопожежного захисту хімічного підприємства. Представлені моделі локалізації активного елемента за допомогою імпульсних засобів за різних випадків розвитку аварії та моделювання можливості помилки прицілювання. Зроблені висновки відносно практичної реалізації моделей та перспективності дослідження.

Ключові слова: модель, імпульсні системи, вибухопожежний захист, функція.

Аннотация. В статье рассмотрен вариант моделирования обеспечения импульсной взрывопожарной защиты химического предприятия. Представлены модели импульсной локализации активного элемента с учетом различных вариантов развития аварии и моделирования возможности ошибки прицеливания. Сделаны выводы относительно практической реализации моделей и перспективности исследования.

Ключевые слова: модель, импульсные системы, взрывопожарная защита, функция.

Abstract. The variant of supporting pulsed fire and explosion protection for chemical factory modeling was considered in the article. Localization models of the active element with the help of pulse means in different variants of the accident development and errors aiming modeling were introduced. There were made conclusions according to practical implementation of the models and study's perspectives.

Keywords: model, pulse systems, fire and explosion protection, function.

1. Вступ

Основними антропогенними джерелами розростання екологічної кризи в Україні є великі хімічні підприємства. За інформацією МНС України, зараз функціонує 1810 об'єктів, на яких зберігається або використовується у виробничій діяльності майже 300 тис. тонн сильнотоксичних високотоксичних та висококорозійних речовин. Усього у зонах можливого хімічного зараження від цих об'єктів мешкає близько 22 млн чол. Все це висуває нові вимоги до підвищення вибухопожежної безпеки хімічних підприємств.

Як нове устаткування щодо підвищення вибухопожежної безпеки хімічних підприємств були запропоновані [1] імпульсні засоби багатопланового захисту, які значно підвищують ефективність гасіння та скорочують час реагування на подію за рядом суттєвих параметрів.

Актуальність досліджуваної теми викликана тим, що нові імпульсні засоби вимагають розробки нових математичних моделей, необхідних для створення алгоритмів автоматизації функцій і задач управління забезпеченням вибухопожежної безпеки хімічних підприємств.

Метою статті є пошук підходів до розроблення моделей забезпечення надійного вибухопожежного захисту хімічних підприємств за допомогою імпульсних засобів з урахуванням можливих масштабів кризи.

Мета вимагає вирішення таких задач:

– визначити основні особливості дії нових імпульсних засобів вибухопожежного захисту, які є суттєвими для розроблення моделі імпульсної локалізації активного елемента та на цій основі запропонувати математичні моделі локалізації аварії за різних випадків її розвитку;

– запропонувати підхід до моделювання можливості помилки прицілювання, виходячи із заданих умов хімічного об'єкта, характеристик імпульсної техніки та з урахуванням імовірності локалізації.

Використання імпульсної техніки для вибухопожежного захисту запропоновано у дослідженнях д.т.н., проф. В.В. Севрікова (Луганський технічний університет, Севастопольський приладобудівний університет), к.т.н. Л.М. Мешмана (ВНДІ ПО МВС, Москва), д.т.н., проф. І.М. Абдурагімова (Московська пожежна академія МНС), д.т.н., проф. В.Д. Захматова (ІТГП НАН України), д.т.н., проф. Д.Г. Ахметова (Інститут гідродинаміки СВ АН РФ).

Питання щодо математичного моделювання при забезпеченні вибухопожежного захисту великих об'єктів за допомогою традиційних протипожежних засобів розглядалися в роботах М. Брушлинського, Ю. Моторигіна та ін. [2, 3]. Існує ряд методик, які використовуються при моделюванні та розробці систем автоматизації вибухопожежного захисту в різних країнах світу. Подібне питання щодо імпульсних засобів розглядається вперше.

2. Проблематика дослідження

Необхідність підвищення вибухопожежної безпеки хімічних підприємств, у тому числі і шляхом впровадження нових моделей, які можуть бути покладені в основу розробки систем підтримки прийняття рішень, викликана рядом причин:

– підвищуються частота аварійних станів та складність їх наслідків як підсумок зносу і старіння основних засобів [4];

– системи вибухопожежної безпеки існуючих хімічних підприємств не розраховані на той рівень зносу об'єктів, який зафіксований [5];

– існуючі засоби вибухопожежної безпеки не розраховані на одночасну ліквідацію пожежі на хімічному підприємстві та локалізацію викидів чи розливів небезпечної речовини [6];

– план ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС) на хімічному підприємстві прорахований за типовими аваріями, а відхилення аварійної ситуації від типової потребує негайного прорахунку з обробкою великих обсягів інформації, яка надходить з місця події, що неможливо вирішити без сучасних програмно-апаратних засобів [7];

– прийняття рішень на місці аварії призводить до необґрунтованих витрат засобів та сил, ураження особового складу та персоналу підприємства [1];

– збільшуються витрати на локалізацію та ліквідацію наслідків, відновлення підприємств після аварій [8].

Для відносно стабільного функціонування в умовах економічної кризи більшість хімічних підприємств, у тому числі і потенційно небезпечних, вимушені ще тривалий час працювати на обладнанні, яке має рівень зносу 70,9% [9]. Тож важливим завданням стало забезпечення потенційно небезпечних об'єктів новою, відносно недорогою, легкою в монтуванні та обслуговуванні й одночасно ефективною технікою та технологією вибухопожежної безпеки [5].

Запропоновані засоби багатопланового захисту [1, 5, 6] значно підвищують ефективність гасіння та скорочують час реагування на подію за такими параметрами:

– 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°C до $+60^{\circ}\text{C}$, погодних і кліматичних умов;

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

– уперше 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, розпилувальних систем, виводу персоналу, пожежників і рятувальників з небезпечної зони.

Однак є ще одна проблема, тісно пов'язана з впровадженням нових засобів імпульсного захисту: швидкість розвитку аварії та прийняття рішень за існуючими моделями щодо заходів з її ліквідації традиційними протипожежними засобами дуже неузгоджені у часі, а складність поверхні, де відбулася аварія, та можливість помилок при прицілюванні не враховуються через те, що існуючі системи пожежогасіння одночасно вмикаються по всій території аварійного цеху або підрозділу. Проте при застосуванні імпульсних засобів багатопланового захисту вказані показники мають суттєве значення, що і буде викладене нижче.

3. Моделі імпульсної локалізації активного елемента за різних випадків розвитку аварії

В основу методики визначення кількості імпульсних розпилувачів при здійсненні як площадної, так і об'ємної локалізації активної хмари або полум'я, пропонується покласти твердження, що питома інтенсивність впливу або питома кінетична енергія фронту потоку, який локалізує, повинна бути такою, щоб у будь-якій точці приміщення не була нижче припустимої величини.

У роботі запропонований можливий підхід до розрахунку числа імпульсних розпилувачів, виходячи із заданих умов хімічного об'єкта, характеристик імпульсної техніки та з урахуванням імовірності ефективною локалізації. В роботі як базовий приймається варіант локалізації аварії у просторі, як більш складний. Проте за умов, що хоча б одна з поверхонь, у межах якої відбувається локалізація пожежі чи токсичної хмари, є твердою, враховується підсилювання формування зворотного вихору, створеного імпульсною дією.

При локалізації активної зони витрати вогнегасної суміші (ВС), що відноситься до ресурсів (X), та інтенсивність її подачі в кожную точку активної поверхні не повинна бути менше деякої критичної величини (FV), яка регламентується регламентом об'єкта (РО) (Y) й забезпечує локалізацію пожежі чи вибуху, ефективність якої залежить від реалізації повноважень персоналу (Z).

Припустимо, що є стандартний однолітровий імпульсний розпилувач (P), який розташований на висоті (H) в закритому приміщенні і заряджений ВС, яка викидається за законом проникаючого наповнення в задану площину поверхні або в об'єм хмари (рис. 1).

Тоді інтенсивність дії фронту локалізуючого потоку можна описати як

$$f(l) = I(l) \cdot t_n, \quad (1)$$

де $f(l)$ – питома інтенсивність впливу фронту локалізуючого потоку за час t , $I(l)$ – інтенсивність впливу фронту локалізуючого потоку в заданій точці за час t_n , l – радіус фронту локалізуючого потоку.

Нехай елемент активної поверхні Ел (під елементом активної поверхні розуміється точна площа, яка має всі властивості активного вогнища даного класу) з вірогідністю, яка дорівнює одиниці, буде локалізований при інтенсивності впливу $f(l) \geq f_0$ за час t_n , тоді

умовою локалізації елемента Ел буде знаходження його в межах

$$x_c - l_0 \leq x \leq x_c + l_0. \quad (2)$$

За умови $x > x_c + l_0$, $x < x_c - l_0$ ефективність локалізації також відбувається, але при цьому спостерігається збільшення часу $t_n + \Delta t$ гасіння, бо такий процес відбувається шляхом усмоктування залишкових осередків полум'я або хмари вихором, що утворився під час імпульсного розпилення ВС.

Розглянемо докладно модель імпульсної локалізації активного елемента у двовимірному та тривимірному випадках.

Розліт ВС відбувається під впливом хвилі тиску спрямованого

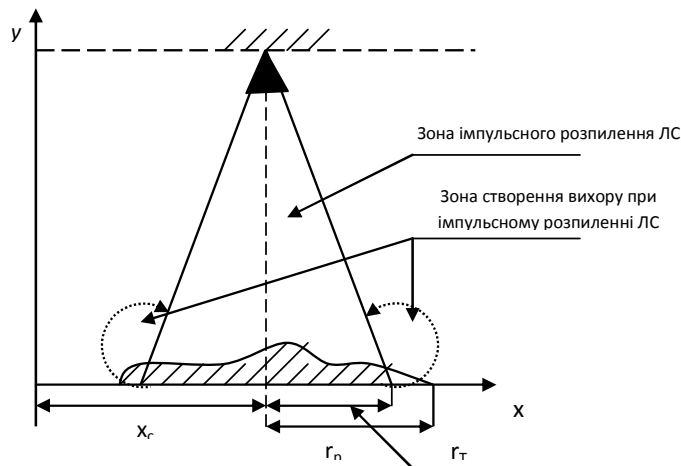


Рис. 1. Розташування стандартного імпульсного розпилювача на заданій висоті. x , y – координати приміщення, r_T – радіус інтенсивного гасіння, r_p – радіус пожежі або хмари, x_c – середня відстань від центру пожежі до обмежуючої поверхні

вибуху на площину деякої поверхні $f(x, y)$ у вигляді кола, при знаходженні усередині якого активний елемент буде локалізований. Зону кола з радіусом, рівним l_0 , назвемо зоною локалізації даного розпилювача. Величина зони локалізації кожного розпилювача є його основною характеристикою при розташуванні розпилювача на даній висоті H і даному виді активної поверхні або активної хмари.

При знаходженні активного елемента пожежі поза колом з радіусом l_0 локалізація менше 1 і знижується в міру віддалення від зони із граничними значеннями $f(l)l_{cp}$. Тобто розташування ВС поза колом площини пожежі чи хмари у зовнішньому кільці для локалізації в колі значних результатів не дає. Такий імпульсний розпилювач може спрацювати за завданням попередження розповсюдження. Для осадження токсичної хмари у відкритому просторі буде ефективним імпульсний розпилювач, що перебуває у середині хмари, але має радіус більший, ніж зона локалізації $f_0(l_0) = f_0$, тобто $f(l) - f(l_0)$, $l < l_0$. У розглянутому випадку виникає величина витрат (ВВ) ВС, що не використовується для локалізації Ел і яка дорівнює:

$$BB = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dx dy - \pi l_0^2 \cdot f_0, \quad (3)$$

де $\pi l_0^2 \cdot f_0$ – обсяг циліндра з радіусом l_0 і висотою f_0 . У тривимірному випадку (при об'ємному імпульсному пожежогасінні або локалізації токсичної хмари за межами виробничого майданчика) активний елемент – елементарний об'єм, а зона локалізації розпилювача також представлена у вигляді об'єму.

Нехай в окремому випадку об'єм зони локалізації буде представлений у формі кулі з радіусом l_0 . На практиці це може мати місце при розпиленні ВС у сферичному вигляді з імпульсного вибухового пристрою. На рис. 2 показана така поверхня $\int(x, y, z)$ у формі ку-

лі. Кількість ВС у кожному елементі об'єму фізично може бути представлена як вага окремої точки.

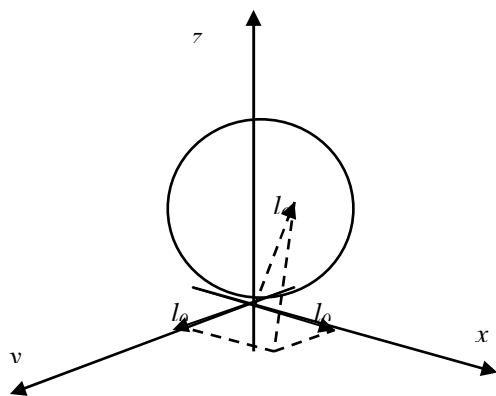


Рис. 2. Об'єм зони локалізації у тривимірному випадку

При проходженні активного елемента пожежі або токсичної хмари поза кулею з радіусом l_0 цей елемент локалізований не буде. Імовірність його гасіння не дорівнює одиниці.

Розглянемо тепер модель у лінійному випадку на два розпилювачі, розташованих у приміщенні на висоті H і віддалених від інших на відстань l_0 (рис. 3).

На рис. 3 видно, що питома витрата ВС у середині між точками C_1 й C_2 буде дорівнювати:

$$f(x) = f_1(x) + f_2(x), \quad (4)$$

тобто збільшується в порівнянні з випадком застосування одного розпилювача за рахунок взаємного перекривання потоків сусідніх розпилювачів. На рис. 3 видно, що у випадку $f_1 + f_2 \geq f_0$ активний елемент пожежі буде локалізований, не зважаючи на те, що він розташований поза зоною l_0 . Облік взаємодії сусідніх зон збільшує загальну зону ефективної локалізації фронтів потоків локалізації і є важливим для розрахунку необхідної кількості розпилювачів при локалізації аварії.

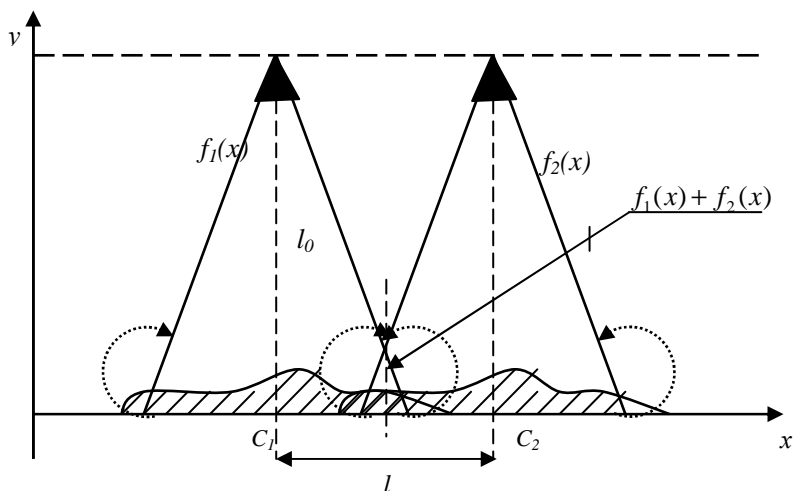


Рис. 3. Розташування двох стандартних розпилювачів на заданій висоті

Сумарна зона локалізації при залповому розпиленні із двох однакових розпилювачів при відповідному їхньому розташуванні більше, ніж арифметична сума їхніх зон локалізації. У цих умовах важливо вибрати l_{\max} – найвигідніший інтервал розташування розпилювачів. При $l > l_{\max}$ та $l < l_{\max}$ сумарна зона локалізації буде меншою.

Тобто можливе отримання як прямого, так і зворотного синергетичного ефекту [8].

Числове значення зони локалізації може бути отримано тільки дослідним шляхом, бо такі зони індивідуальні для кожного конкретного хімічного об'єкта.

Вище розглянутий лінійний випадок перекриття двох сусідніх зон локалізації може бути розповсюджений на n ($n > 2$) розпилювачів, розташованих в одну лінію. При застосуванні n розпилювачів також існує інтервал h_1 – найвигідніший інтервал між ними, коли сумарна зона локалізації має максимальне значення. Як при $h_1 > h_{1m}$, так і при $h_1 < h_{1m}$ сумарна зона буде менше максимальної:

$$f(h_1) < f(h_m)$$

при

$$\begin{cases} h_1 > h_{1m} \\ h_1 < h_{1m} \end{cases} \quad (5)$$

Тож у цілому можна зазначити, що аналогічна картина збільшення сумарної зони локалізації при залповому спрацьовуванні розпилювачів має місце у двовимірному й об'ємному випадках.

4. Моделювання можливості помилки прицілювання

Установка розпилювача системи імпульсного вибухопожежного захисту може супроводжуватися можливими помилками, які залежать від вправності персоналу, що здійснює монтаж, наприклад, перекосами. Ці помилки приводять до відхилення центра розсіювання струменя розпилювача від заданої точки, в яку він повинен бути спрямований. Вектор зміни напрямку струменя у даному випадку є помилкою прицілювання і, як усяка випадкова величина, повинен розглядатися з використанням теорії ймовірності. Складовими помилки вектора прицілювання є випадкові координати x і y .

Закон розподілу помилок прицілювання є нормальною функцією щільності $f(x, y)$:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\delta_x\delta_y\sqrt{1-r^2}} \cdot l \cdot \frac{1}{(2(1-r^2)) \left(\frac{(x-m_x)^2}{\delta_x^2} - \frac{2r(x-m_x)(y-m_y)}{\delta_x\delta_y} + \frac{(y+m_y)^2}{\delta_y^2} \right)} \quad (6)$$

Стосовно до початку відліку в точці прицілювання:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\delta_x\delta_y\sqrt{1-r^2}} \cdot l \cdot \frac{1}{2(1-r^2) \left(\frac{x^2}{\delta_x^2} - \frac{2rxy}{\delta_x\delta_y} + \frac{y^2}{\delta_y^2} \right)}, \quad (7)$$

де m – точка прицілювання, $\delta_x\delta_y$ – середньоквадратичні відхилення величин x та y , l – коефіцієнт кореляції між ними, r – радіус дії розпилення.

Для випадку, коли x та y некорельовані й незалежні (відкритий простір):

$$f(x, y) = f_1(x) \cdot f_2(y) = \frac{1}{\delta_x\sqrt{2\pi}} \cdot l \cdot \frac{1}{\delta_x^2} \cdot \frac{1}{\delta_y\sqrt{2\pi}} \cdot l \cdot \frac{1}{\delta_y^2} \quad (8)$$

У тривимірному випадку вектор помилки прицілювання є помилкою прицілювання у просторі, тож закон розподілу помилок, з урахуванням зазначеного вище, має вигляд

$$f(x, y, z) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \delta_x\delta_y\delta_z} \cdot l \cdot \frac{1}{2 \left(\frac{x^2}{\delta_x^2} + \frac{y^2}{\delta_y^2} + \frac{z^2}{\delta_z^2} \right)}, \quad (9)$$

де x, y, z – некорельовані випадкові величини, $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ – їх середньоквадратичні відхилення.

Експериментальним шляхом встановлено, що допуск d у монтуванні імпульсного розпилювача складає $d = 30$, що не суперечить теорії допусків для монтажу протипожежної техніки, а δ – середньоквадратична помилка виготовлення або установки імпульсного розпилювача.

5. Висновки

Спроба введення до математичних моделей показників часу та параметрів поверхні, з урахуванням характеристик імпульсної техніки, дозволила запропонувати підхід до визначен-

ня особливостей імпульсного розпилення в межах заданої зони локалізації за різних умов розвитку вибуху чи пожежі для ефективної локалізації аварії за різних випадків розвитку події. Такий підхід може бути покладений в основу методики розрахунку забезпечення імпульсного вибухопожежного захисту окремого технологічного агрегату, що дозволить визначити не лише кількість необхідних імпульсних розпилювачів, а й необхідний обсяг вогнегасної суміші.

У цілому можна зазначити, що моделі імпульсного вибухопожежного захисту хімічного підприємства не можуть бути обмеженими лише моделюванням забезпечення необхідними засобами. Таке представлення інформації не відповідає вимозі комплексності, яку слід задовольнити у процесі прийняття обґрунтованого рішення. Зокрема, для прийняття кваліфікованого рішення необхідна інформація відносно:

- характеристики хімічного об'єкта та детального опису наявних сильнодіючих високотоксичних та висококорозійних речовин;
- можливостей розвитку аварії за метеорологічних умов зони, де розташоване хімічне підприємство, в будь-який момент часу;
- дій персоналу, який приймає рішення на різних рівнях управління, від моменту виходу показників за межі РО до моменту повернення роботи в межі РО;
- економічних та технологічних переваг імпульсної і традиційної вибухопожежної техніки для вирішення задач оптимального задіяння сил та засобів.

Все зазначене може бути використане у проектах систем підтримки прийняття рішень з питань забезпечення імпульсної вибухопожежної безпеки промислових регіонів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Захматов В.Д. Личное оружие пожарного для тушения пожаров в лесу, небоскребах и зонах катастроф / В.Д. Захматов, Н.В. Щербак // Пожарная безопасность в строительстве. – 2011 – № 3. – С. 58 – 65.
2. Моделирование пожаров и взрывов / Под ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко. – СПб.: Ассоциация "Пожнаука", 2000. – 482 с.
3. Моторыгин Ю.Д. Математическое моделирование процессов возникновения и развития пожаров / Моторыгин Ю.Д.; под общей ред. В.С. Артамонова. – СПб.: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, 2011. – 400 с.
4. Маршалл В. Основные опасности химических производств / Маршалл В. – М.: Мир, 1989. – 671 с.
5. Захматов В.Д. Техника многоплановой защиты / Захматов В.Д. – М.: ИПМ АН СССР, 1991. – 124 с.
6. Захматов В.Д. Теоретические основы разработки импульсной техники пожаротушения и многоплановой защиты / Захматов В.Д. – К.: Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича, АН Украины, 1994. – 72 с.
7. Сосько С.П. Надзвичайні ситуації та цивільний захист населення [Електронний ресурс] / С.П. Сосько. – Режим доступу: <http://udau.edu.ua/library.php?pid=1426>.
8. Химические аварии и катастрофы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.newsru.com/background/04nov2004/chemdis.html>.
9. Тарасова Н.В. Вплив інноваційних технологій на розвиток хімічної промисловості. – [Електронний ресурс] / Н.В. Тарасова, Л.В. Богачова. – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/NacGosp_print/2009/Tarasova_Bogachova.pdf.
10. Кряжич О.А. Экономико-математическое моделирование при обосновании модернизации предприятий: поиск синергетического эффекта / О.А. Кряжич // Системы підтримки прийняття рішень. Теорія і практика: Збірник доповідей наук.-практ. конф. з міжнар. участю. – К.: ПІММС НАНУ, 2009. – С. 59 – 62.

Стаття надійшла до редакції 27.09.2012