

## МОНІТОРИНГ СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ТА ТЕРИТОРІЙ

УДК 351.861

*Кірочкін О.Ю., наук. співр.,  
Левтеров О.А., канд. техн. наук, пров. наук. співр.,  
Тютюник В.В., канд. техн. наук, ст. наук. співр.*

*Академія цивільного захисту України*

### **ЗАСТОСУВАННЯ АПАРАТУ ТЕОРІЇ ВИПАДКОВИХ ІМПУЛЬСНИХ ПОТОКІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ОБ'ЄКТАХ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ** (представлено д-ром фіз.-мат. наук Яковлевим С.В.)

В статті розглянуті окремі положення теорії випадкових імпульсних потоків. Проведено аналіз існуючих небезпечних факторів на об'єктах паливно-енергетичного комплексу та можливість їх моделювання з наступним прогнозування часу появи надзвичайної ситуації

**Постановка проблеми, аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сьогодні загальносвітові втрати нафти та нафтопродуктів під час видобутку, транспортування, переробки та збереження оцінюються мільйонами тонн щорічно (табл. 1) [1], при цьому збитки оцінюються мільярдами доларів. Близько половини цих випадків припадає на підприємства паливно-енергетичного комплексу (ПЕК), що свідчить про високу техногенну безпеку цих об'єктів та необхідність прогнозування на них умов виникнення надзвичайних ситуацій [2].

Особливого значення проблемі оцінки та прогнозування умов виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах ПЕК надає складність процесів безпечного функціонування об'єкту контролю (ОК) – надзвичайна ситуація є подією раптовою і виникає миттєво.

Тому контроль та прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій (НС) на об'єктах ПЕК є актуальною задачею як з соціальної, так і з техніко-економічної точок зору [3].

**Постановка завдання та його вирішення.** Під безпекою функціонування об'єктів паливно-енергетичного комплексу розуміють їх здатність

функціонувати під впливом небезпечних факторів (рис. 1). В результаті такого впливу може виникнути небезпечна подія, яка може привести до надзвичайної ситуації.

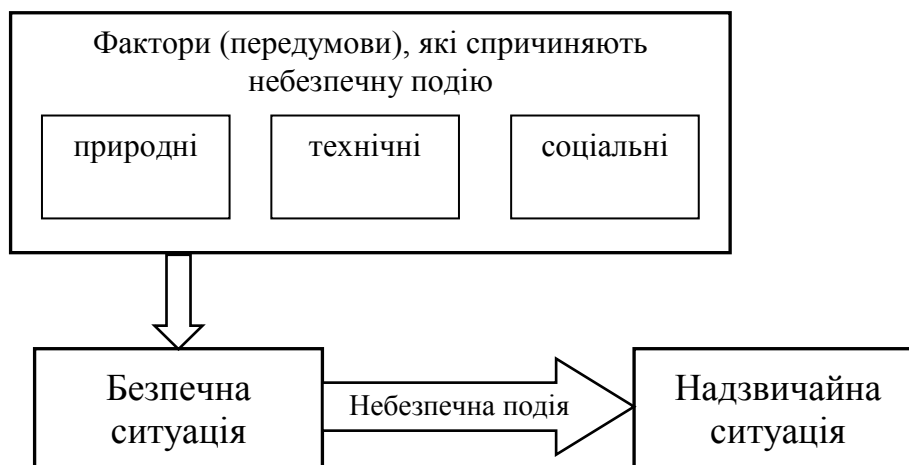
**Таблиця 1 – Статистичний аналіз небезпечних подій в паливно-енергетичній галузі у 2001 – 2004 р.р.**

<b>Вид діяльності (причина збитку)</b>	<b>Дата</b>	<b>Місто (країна)</b>	<b>Збиток (млн. USD)</b>
Нафтохімічний завод (вибух)	21.09.01	Франція	1300
Нафтопереробний завод (вибух)	14.08.01	Іллінойс (США)	490
Нафтопереробний завод (вибух)	16.04.01	Великобританія	260
Нафтопереробний завод (вибух)	09.04.01	Аруба	2250
Хімічний завод (вибух)	16.05.01	Великобританія	119
Нафтопереробний завод (вибух)	23.04.01	Каліфорнія (США)	99
Нафтопереробний завод (вибух)	21.09.01	Луїзіана (США)	85
Нафтопереробний завод (вибух)	06.06.01	ПАР	80
Нафтопереробний завод (землетрус)	26.01.01	Індія	46
Нафтопереробний завод (вибух)	08.10.01	Іспанія	45
Нафтопереробний завод (вибух)	29.04.01	Іллінойс (США)	40
Нафтопереробний завод (вибух)	15.05.01	Острів Сент-Кроїкс	24
Центр збору газу та компресорна станція (пожежа та вибух)	01.02.02	Кувейт	150
Нафтопереробний завод (пожежа)	25.11.02	Марокко	130
Виробничий комплекс на нафтових шахтах (вибух та пожежа)	06.01.03	Канада	233
Газопереробний завод	05.07.03	ПАР	185
Нафтопереробний завод (вибух та пожежа)	14.08.03	Іспанія	182
Газопереробний завод (вибух та пожежа)	01.01.04	Австралія	291
Газопереробний завод (вибух)	19.01.04	Алжир	470

При розгляді питань прогнозування ризику та підвищення безпеки функціонування ОК ПЕК необхідно мати справу з наступними математичними моделями: по-перше, процесів виникнення передумов до небезпечних подій; по-друге, умов виникнення небезпечних ситуацій; по-третє, процесів припинення розвитку надзвичайної ситуації. В даній роботі ми зупинимося на моделях, які характеризують умови виникнення небезпечних ситуацій. На сьогодні існує два підходи до розробки таких моделей [4].

Перший підхід – це індуктивні методи. Спочатку розглядаються окремі фактори, а потім визначають вплив цих факторів на безпечне функціонування ОК. Сполучення всіх, що впливають на функціонування об'єкту контролю, факторів дозволяє визначити можливі надзвичайні ситуації, а також ймовірність їх появи. При такому підході випадковий пропуск НС практично дорівнює нулю. Однак метод трудоємний, в особливості при аналізі об'єктів зі складною функціональною структурою.

Другий підхід – дедуктивні методи. Спочатку визначають одну або декілька найбільш небезпечних ситуацій. Перехід до такої НС є кінцевою подією, яка виникає в результаті появи визначених сполучень зовнішніх і внутрішніх факторів небезпечного функціонування ОК. Умови при яких виникає надзвичайна ситуація приводять до логічної схеми, яку зображують у вигляді орієнтованого графу – дерева надзвичайних ситуацій.



**Рис. 1 – Схема розвитку надзвичайної ситуації на об'єктах паливно-енергетичного комплексу.**

На рис. 2 наведено дерево надзвичайної ситуації пов'язаної з вибухом газової суміші на об'єктах ПЕК. У верхній частині дерева знаходиться надзвичайна подія, що досліджується, – вибух. Елементами графа є логічні символи та символи подій. Передумовами до виникнення НС є: 1 – витік та випаровування горючої речовини; 2 – поява іскри від електричного облад-

нання; 3 – поява вогню. Знаючи вірогідності  $P_1, P_2, P_3$  появи передумов, враховуючи умови незалежності цих подій, вірогідність появи надзвичайної ситуації має вигляд:

$$P_{\text{вибух}} = P_1[1 - (1 - P_2)(1 - P_3)]. \quad (1)$$

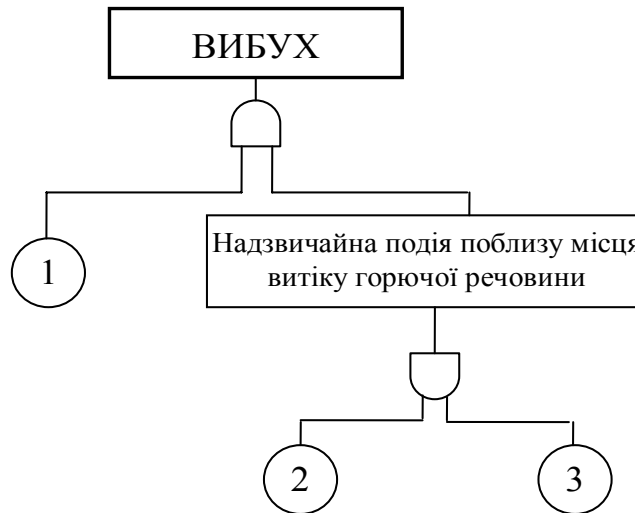


Рис. 2 – Дерево надзвичайної ситуації пов’язаної з вибухом на об’єктах паливно-енергетичного комплексу

Однак, необхідно підкреслити, що у дедуктивному методі враховуються тільки найбільш небезпечні стани об’єкту контролю. Таким чином, можливо оцінити не повну картину небезпечного стану ОК і всі можливі сполучення цих факторів не будуть враховані, що особливо важливо при розробці і створенні інтегрованої системи безпеки [5]. Крім того, у відповідних моделях відсутня у явному виді синхронізація дестабілізуючих факторів в залежності від часу їх появи та тривалості дії.

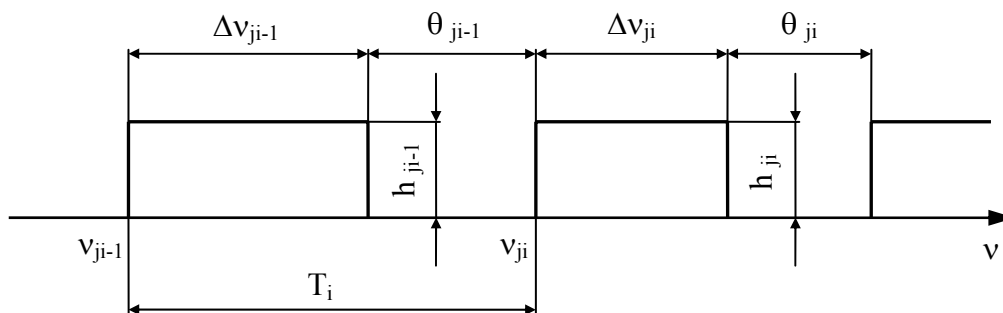


Рис. 3 – Моделювання стаціонарних випадкових потоків небезпечних факторів надзвичайних ситуацій

Для того щоб врахувати в умовах виникнення надзвичайних ситуацій характеристики часу появи факторів небезпеки необхідно використати теорію випадкових імпульсних потоків [6], де процес появи та дії дестабілізуючих факторів можливо представити у вигляді стаціонарних випадкових потоків – прямокутні імпульси, які взаємно рознесені у часі (рис. 3).

Позначимо через  $\nu_{ji}$  та  $\Delta\nu_{ji}$  момент появи та тривалість і-го імпульсу. Початок  $\nu_{ji}$  імпульсу відповідає моменту появи j-го небезпечного фактора, тривалість  $\Delta\nu_{ji}$  – тривалості його дії. Амплітуда  $h_{ji}$  пов'язана з втратами від і-ї появи j-го фактору.

У загальному виді потік  $X(\nu)$  є щільність ймовірностей  $f(\nu_1, \dots, \nu_n; \Delta\nu_1, \dots, \Delta\nu_n; h_1, \dots, h_n)$  величин:  $\nu_{ji}$ ,  $\Delta\nu_{ji}$ ,  $h_{ji}$ ,  $\theta_{ji}$  ( $\theta_{ji}$  – відстань між імпульсами).

Математичні сподівання випадкових величин мають вигляд: величина інтервалу між суміжними моментами появи фактору

$$\bar{T} = \int_0^{\infty} tg(t)dt, \quad (2)$$

де  $g(t)$  – щільність розподілу випадкової величини  $T$ ; тривалість дії фактору

$$\Delta\bar{\nu} = \int \Delta\nu\varphi(\Delta\nu)d(\Delta\nu), \quad (3)$$

де  $\varphi(\Delta\nu)$  – щільність розподілу випадкової величини  $\Delta\nu$ ; величина відстані між імпульсами

$$\bar{\theta} = \int_0^{\infty} \theta\delta(\theta)d\theta, \quad (4)$$

де  $\delta(\theta)$  – щільність розподілу випадкової величини  $\theta$ .

При стаціонарному потоці імпульсів, які взаємно рознесені у часі, вірогідність  $P$  того, що любий довільно вибраний проміжок часу виявиться на інтервалі дії фактору при  $\nu \rightarrow \infty$  дорівнює

$$P = \frac{\Delta\bar{\nu}}{\bar{T}} = \mu\Delta\bar{\nu}, \quad (5)$$

де  $\mu = \frac{1}{T} = \frac{1}{\Delta \bar{v} + \theta}$  – інтенсивність прояви фактору.

Доцільно розділити два типи моделей збігу часу дії дестабілізуючих факторів: 1) з аварійними випадковими наслідками; 2) з випадковими втратами. Розглянемо ці моделі на прикладі збігу двох небезпечних факторів.

Процес виникнення надзвичайної ситуації пов'язаної з витоком горючої речовини на об'єкті ПЕК представлено на рис. 4. Тут зображені можливі реалізації двох стаціонарних випадкових потоків:  $x(v)$  – витік речовини та  $y(v)$  – поява вогню. Характеристиками потоків є:  $\Delta v_1, \theta_1, h_1$  та  $\Delta v_2, \theta_2, h_2$ .

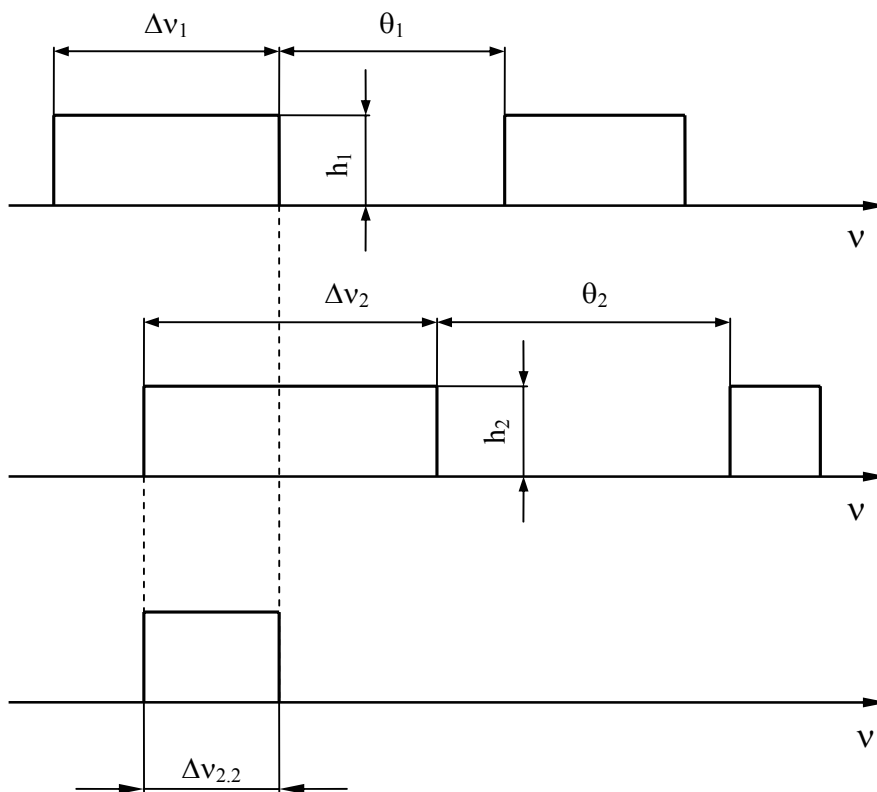


Рис. 4 – Моделі збігу часу дії дестабілізуючих факторів

Розглянемо можливість виникнення надзвичайної ситуації. За умов часткового збігання тривалостей  $\Delta v_1$  і  $\Delta v_2$  відбувається утворення потоків імпульсів збігу, що відповідає потоку аварійних наслідків. У зв'язку з тим, що виникнення надзвичайної ситуації є подією забороненою, то амплітуди імпульсів у першому наближенні можливо прийняти рівними 1.

У такому разі, інтенсивність потоку аварійних наслідків  $\mu_{2,2}$  має вигляд:

$$\mu_{2.2} = \frac{\Delta \bar{v}_1 + \Delta \bar{v}_2}{(\Delta \bar{v}_1 + \bar{\theta}_1)(\Delta \bar{v}_2 + \bar{\theta}_2)}. \quad (6)$$

Середнє значення втрат  $\Delta \bar{\omega}$  у випадку збігу небезпечних обставин можливо визначити як

$$\Delta \bar{\omega} = c_1 \mu_{2.2}, \quad (7)$$

де  $c_1$  – середнє значення втрат при умові виникнення надзвичайної ситуації.

Модель функціонування системи безпеки з випадковими втратами аналогічна представленої раніше моделі. Різниця складається лише у тому, що втрати пропорційні з терміном збігу небезпечних обставин. Середня тривалість імпульсу потоку збігу обставин має вигляд:

$$\Delta v_{2.2} = \left( \frac{1}{\Delta \bar{v}_1} + \frac{1}{\Delta \bar{v}_2} \right)^{-1}. \quad (8)$$

Математичним сподіванням втрат  $\epsilon$

$$m \approx c_2 \Delta \bar{v}_{2.2} \mu_{2.2}, \quad (9)$$

де  $c_2$  – середнє значення втрат за одиницю часу умов збігання дестабілізуючих систему безпеки факторів.

**Висновки.** Як бачимо, найбільшу складність становить визначення характеристик імпульсів, які моделюють небезпечні фактори надзвичайних ситуацій, а саме розмір та тривалість.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Маршалл В. Основные опасности химических производств: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
2. Черняховский Э.Р., Шкидченко А.Н., Юматова О.А., Чушкина З.Ю. Применение различных технологий при ликвидации последствий аварийных разливов нефти, нефтепродуктов и продуктов нефтесодержащих отходов // Пробл. безо. при ЧС. ВИНТИ. – 2005. – вып. 2. – С. 34 – 41.
3. Брушлинский Н.Н., Кафидов В.В., Козлачков В.И. и др. Системный анализ и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства. – М.: Стройиздат, 1988. – 416 с.

Застосування апарату теорії випадкових імпульсних потоків для прогнозування надзвичайних ситуацій на об'єктах паливно-енергетичного комплексу

4. Браун Дэвид Б. Анализ и разработка систем обеспечения техники безопасности (Системный подход в технике безопасности): Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1979. – 360 с.
5. Шевченко Р.І., Одарюк П.В., Тютюник В.В. Оцінка ефективності інтегрованої системи безпеки функціонування підприємств нафтопереробної промисловості. Проблеми пожежарної безпеки. Сб. научн. тр.– Вып. 18.– Харьков: Фолио, 2005.– С. 185 –191.
6. Седякин Н.М. Элементы теории случайных импульсных потоков. – М.: Сов. радио, 1964. – 260 с.

