

# Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 621.642.88

О.С. Задунай<sup>1</sup>, С.І. Азаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Державний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку та захисту інформації, Київ

<sup>2</sup> Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

## ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКІВ

Більшість об'єктів підвищеної екологічної небезпеки (ОПЕН) функціонує на даний момент за застарілими технологіями, на зношеному технологічному обладнанні і знаходяться поблизу великих населених пунктів. У цих умовах особливо актуальним стає створення системи моніторингу екологічної безпекою на ОПЕН в режимі реального часу. Обґрунтовано і розроблено вимоги до апаратно-програмного комплексу оперативного контролю та управління мінімізацією ризиків для ОПЕН, а також принципи побудови комплексу оперативного моніторингу перед аварійного та аварійних станів.

**Ключові слова:** об'єкти підвищеної екологічної небезпеки (ОПЕН), моніторинг екологічної безпекою на ОПЕН, нестаціонарність ризиків, синергетичні ризики, апаратно-програмний комплекс.

### Вступ

Розслідування причин виникнення аварійних ситуацій на ОПЕН дозволило виявити наступні основні вражаючі фактори [1, 2]:

- вибухопожеженебезпечність, викликана вибухами парів пального, розривів трубопроводів і технологічного обладнання;
- детонація вибухових матеріалів і детонація, що утворюється при змішуванні рідин з різними температурами;
- токсичне зараження хімічно небезпечними речовинами;
- термічне ураження;
- ураження осколками.

Крім того, слід виділяти окремі фактори ураження, пов'язані з утворенням агресивних речовин, що призводять до корозії металу, а також впливу горючих рідин і низьких температур та ін.

Виявлення джерел небезпечних ситуацій і пов'язаних з ними ризиків включає в себе наступну інформаційну послідовність операцій [3, 4]:

- експертиза екологічної небезпеки ОПЕН;
- складання декларацій промислової екологічної безпеки ОПЕН, включаючи результати аналізу ризиків аварійних ситуацій, результати проведення експертизи розроблених декларацій наглядовими органами;
- розслідування і аналіз причин аварійних ситуацій, включаючи аналіз відмов технологічного обладнання, з подальшою розробкою організаційних

і технічних заходів щодо раннього виявлення і попередження аварій;

- моніторинг експлуатаційної надійності технологічного обладнання ОПЕН з метою раннього розпізнавання аварійних ситуацій і отримання інформації про найбільш небезпечні ділянки;
- оцінка очікуваного збитку і енергоефективності виробництва;
- оцінка інтегральної ймовірності виникнення аварійних ситуацій з урахуванням наявних інформаційних потоків, які є основою для поставленого завдання управління мінімізацією ризиків.

В цьому випадку інформаційну основу управління екологічної безпекою ОПЕН становитиме автоматизована інформаційно-керуюча система, принцип створення якої має відповідати вимогам проектування та експлуатації ОПЕН з позицій безпеки їх функціонування, включаючи мінімізацію екологічного збитку. Слід особливо виділити інформаційні потоки, пов'язані з відмовами технологічного обладнання та з порушеннями технологічних процесів, що задаються, в потенційно небезпечних технологічних установках.

Враховуючи, що згідно вищевикладеної стандартної методології аналізу ризику, розвиток аварійної ситуації обумовлено, в основному, характеристиками пожежевибухонебезпечних і токсично небезпечних речовин та характером аварійних викидів, де необхідно виділити аварійні ситуації, пов'язані з розривом ємностей, що містять газ або рідкі вуглеводні під тиском або в криогенному вигляді.

Подібні аварійні ситуації відбуваються через підігрів (найчастіше в результаті горіння нафтопродуктів) і характеризуються утворенням «вогненної кулі» або газовим вибухом. В цьому випадку відбувається повне руйнування технологічного обладнання, що містить зріджений газ або газ під тиском.

Найчастіше зустрічаються аварійні ситуації на ОПЕН з неповним руйнуванням обладнання пов'язані із закінченням небезпечної речовини через отвори, що утворилися в ємності. Розглянуті в цьому випадку аварійні ситуації включають в себе як розриви технологічних трубопроводів, так і витік через несправні вентиляції, муфти та дефекти герметичності, викликані корозією або перевищенням термінів експлуатації ОПЕН.

### Результати досліджень

Розроблена інформаційна модель управління безпекою ОПЕН з використанням сучасного рівня розвитку методології аналізу системних ризиків і прогнозних сценаріїв розвитку нестационарних аварійних ситуацій представлена на рис. 1.



Рис. 1. Інформаційна модель управління безпекою ОПЕН з використанням методології аналізу системних ризиків

Відмінними особливостями представленої моделі є наявність інформаційного модуля аналізу нестационарності експлуатаційних характеристик ОПЕН (зміна в часі якості сировини і продуктивності установок енергоефективності силових впливів, тиску, температури, швидкості корозії, вібрацій та ін.) та модуля управління мінімізацією системних ризиків, що дозволяють підвищити достовірність оцінки небезпеки і розробити заходи та алгоритми

мінімізації ризику для окремих стадій аварійних ситуацій за допомогою додаткового введення в систему зворотних зв'язків з об'єктом управління.

Як приклад представлена функціональна схема можливих сценаріїв розвитку аварійних ситуацій для типової технологічної установки підприємства (рис. 2), де розглянуті основні етапи виникнення та розвитку аварійних ситуацій з урахуванням нестационарності умов їх виникнення при функціонуванні нафтогазового обладнання із зазначенням основних причин виникнення аварійних ситуацій.



Рис. 2. Прогноз сценаріїв виникнення і розвитку аварійних ситуацій на ОПЕН

Розрахунок імовірності виникнення аварійних ситуацій і сценаріїв їх розвитку в технологічних модулях нами взяті з відомих літературних джерел, на основі відомих методик побудови «дерев відмов» і «дерев подій». В цілому, запропонована методологія аналізу ризиків з урахуванням нестационарності технологічних процесів і нестационарності самих небезпечних об'єктів зводиться до виконання наступних методичних прийомів і рекомендацій:

- ідентифікація небезпек і їх джерел на основі кореляційних матриць;
- оцінка кореляційних моментів факторів небезпеки;
- розрахунок взаємозв'язків сценаріїв розвитку аварій з урахуванням факторів ураження;
- імовірнісно-статистична оцінка вражаючих впливів;
- побудова «дерев відмов» і «дерев подій» з урахуванням нестационарності ОПЕН;
- розрахунок функцій взаємної кореляції часових розподілів чинників небезпек;
- розрахунок коефіцієнтів когерентності факторів небезпеки;
- розрахунок тимчасових інтервалів кореляції, що визначають міжремонтний період;
- побудова кореляційних матриць для оцінки факторів небезпеки;

- ранжування технологічних установок за категоріями небезпеки;
- визначення збитків від впливу факторів ураження;
- визначення енергоефективності ОПЕН і рівня прийнятного ризику;
- розрахунок сумарного технічного ризику виникнення небезпечних ситуацій з урахуванням синергетичного ефекту і енергоефективності технологічної установки.

Типовий алгоритмічний взаємозв'язок в системі оцінки небезпек з урахуванням нестаціонарності ризиків і нестаціонарності самого технологічного обладнання наведений на рис. 3.

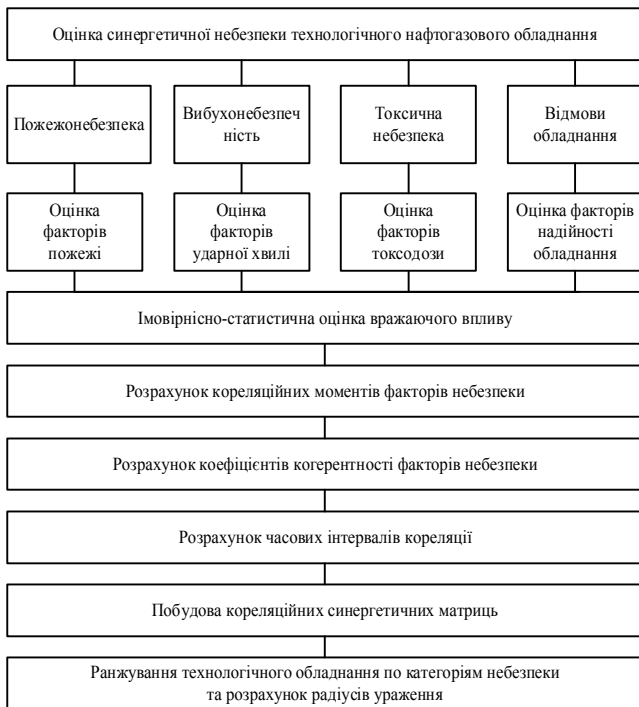


Рис. 3. Алгоритмічний взаємозв'язок в системі оцінки потенційних небезпек

Наведені на рис. 4 алгоритмічні взаємозв'язки і вищенаведені алгоритми кореляційного аналізу небезпечних ситуацій з урахуванням нестаціонарності технологічних процесів дозволяють по-новому підійти до реалізації технології управління мінімізації ризиків на основі їх кількісної оцінки. Для прогнозу оцінки частоти аварійних ситуацій через відмови технологічного обладнання було використано досвід експлуатації наведених вибухопожежонебезпечних модулів і статистичні дані обстеження аналогічних установок. Основними перевагами запропонованого і розробленого кореляційного методу є:

- ідентифікація і ранжування небезпеки в одних і тих же величинах;
- запропонована оцінка потенційної небезпеки за величинами кореляційних моментів факторів вибухопожежонебезпечності, чинників токсичності (хімічної небезпеки) і чинників відмови обладнання дозво-

ляє кількісно оцінити синергетичний ефект, що характеризує потенційну небезпеку в заданій точці розміщення модулів технологічної установки з урахуванням нестаціонарності технологічних процесів, що не піддаються вимірюванню в процесі експлуатації ОПЕН;

- на підставі розрахунку прогнозних оцінок когерентності представляється можливим визначити узагальнений показник ризиків будь-якого вибухопожежонебезпечного об'єкта.

Незважаючи на достатній досвід побудови «дерев подій» в даний час відсутні нормативно-командна база та методичні рекомендації для побудови «дерев подій» з урахуванням нестаціонарності ОПЕН. Облік прогнозних величин очікуваних втрат  $F_{втр}$  в разі реалізації технічних рішень по мінімізації синергетичного ризику здійснюється як:

$$F_{втр} = \sum_1^i R_{1,i} \cdot W_i \quad (1)$$

Оптимальне рішення для мінімізації можливих збитків визначається по мінімуму  $F_{втр}$

$$F_{втр} = \min F_{втр}. \quad (2)$$

Для виключення невизначеності можливого прийняття оптимальних або раціональних технічних і організаційних рішень з управління мінімально допустимим рівнем ризику при експлуатації технологічного обладнання ОПЕН в разі оперативного моніторингу об'єктів в режимі «On-Line» автором обґрунтовано і запропоновано використовувати для раннього розпізнавання аварійної ситуації відносний показник небезпеки, який визначається по відношенню автокореляційних функцій контрольованих основних параметрів експлуатації в різних часових інтервалах: продуктивності окремих модулів установки, тиску, температури і вібрації.

У цьому випадку величина прогнозованого відносного показника ризику індексу нестаціонарності ( $R_{max}$ ) визначається як:

$$R_0 = \frac{R'_{max}(\Delta\tau_1) - R''_{max}(\Delta\tau_2)}{R'_{max}(\Delta\tau_1)} \quad (3)$$

де  $R'_{max}$ ,  $R''_{max}$  - автокореляційні функції, що змінюються в часі нестаціонарних випадкових процесів;  $\Delta\tau_1$ ,  $\Delta\tau_2$  - часові інтервали обстеження (вимірювання) автокореляційних функцій  $R'$  і  $R''$  відповідно.

Сумарний відносний ризик на ранній стадії виникнення аварійної ситуації при  $n$  небезпеках визначається як:

$$R_0^\Sigma = \sum_{i=1}^n R_{0i} \cdot K_{\Gamma_i} \quad (4)$$

У порівнянні зі стандартним методом розрахунку «абсолютного ризику», що визначається за величиною потенційного матеріального збитку при виникненні аварії, запропонована технологія дозволяє прогнозувати і ранжувати ОПЕН за ступенем небезпеки не тільки на стадії проектування, але і в

процесі експлуатації технологічного обладнання на стадії виникнення перед аварійної ситуації.

В основу концепції управління мінімізацією ризиків може бути покладено кореляційний підхід до розробки технології управління потенційно небезпечними об'єктами, коли реалізується рішення інтегрального рівняння:

$$R_{c,n}(\tau) = \int_0^{\infty} R_c(\tau - \theta) \cdot h(\theta) d\theta, \quad (5)$$

де  $R_c$  - автокореляційна функція продуктивності (витрати) сировини на вході реакційного модуля технологічної установки;  $R_{c,n}$  - функція взаємної кореляції продуктивності  $Q$  (витрати) сировини і продуктивності (витрати) продукту;  $h(\theta)$  - імпульсна перехідна характеристика потенційно небезпечного об'єкта технологічної установки.

Для визначення параметрів  $h$  достатньо лише визначити в процесі експлуатації ОПЕН автокореляційні і взаємкореляційні функції по витраті сировини і продуктивності по продукту.

Слід зазначити, що в загальному випадку кореляційну функцію визначають за відомою формулою:

$$R(\tau) = \int_0^{\infty} f_1(t) f_2(t - \tau) dt \quad (6)$$

У випадку  $f_1(t) = f_2(t)$  наведений вираз являє собою функцію автокореляції  $R_1(\tau)$ , у разі  $f_1(t) \neq f_2(t)$  - функцію взаємної кореляції  $R_{1,2}(\tau)$ .

При остаточних розрахунках з вибору оптимальних режимів функціонування ОПЕН згідно з даними наведеного інтегрального рівняння, що забезпечують заданий критерій мінімуму потенційної небезпеки  $R_2$  і  $K_T$ , необхідним є моніторинг вхідних і вихідних режимних параметрів модулів технологічної установки в режимі «On-Line». При цьому

керуючими впливами, що забезпечують зворотний зв'язок в системі управління ОПЕН, будуть енергетичні характеристики і тривалість імпульсної перехідної характеристики  $h(\tau)$ , забезпечують заданий рівень ризику згідно алгоритмам (5) і (6).

## Висновки

Наведено результати аналізу і досліджень нестационарності технологічних процесів і технологічного обладнання та показана необхідність їх врахування при проектуванні і безпечній експлуатації ОПЕН. Розроблено алгоритмічне забезпечення кількісної оцінки відносного показника небезпеки технологічного обладнання, що дозволяє кількісно оцінити сумарну потенційну пожежонебезпеку, вибухонебезпечність і надійність обладнання, з урахуванням нестационарності експлуатації ОПЕН. Розроблено вимоги до побудови функціональної схеми безпечної експлуатації обладнання з урахуванням нестационарних ризиків.

## Список літератури

1. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» від 18.01.2001 р. № 2245-III.
2. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Политехника, 2000.-201с.
3. Ларичев О.И., Мечитов А.И., Ребрик С.Б. Анализ риска и проблемы безопасности. Препринт М.: ВНИИСИ, 1990. - 60 с.
4. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика // серия Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения. — М.: Наука, 2000.-431 с.

Надійшла до редколегії 25.09.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.А. Машков, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ.

## ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ

А.С. Задунай, С.И. Азаров

Большинство объектов повышенной экологической опасности (ОПЭО) функционирует на данный момент по устаревшим технологиям, на изношенном технологическом оборудовании и находятся вблизи крупных населенных пунктов. В этих условиях особенно актуальным становится создание системы мониторинга экологической безопасности на ОПЭО в режиме реального времени. Обоснованы и разработаны требования к аппаратно-программному комплексу оперативного контроля и управления минимизацией рисков для ОПЭО, а также принципы построения комплекса оперативного мониторинга перед аварийного и аварийных состояний.

**Ключевые слова:** объекты повышенной экологической опасности (ОПЭО), мониторинг экологической безопасности на ОПЭО, нестационарность рисков, синергетические риски, аппаратно-программный комплекс.

## THE PRINCIPLES OF AN OPERATIONAL MONITORING SYSTEM OF ECOLOGICAL SAFETY OF POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS ON THE BASIS OF MINIMIZING THE RISKS

O.S. Zadunaj, S.I. Azarov

Most of the objects of high environmental hazard (OHEH) operates on the currently outdated technology, process equipment worn on and are located near major population centers. Under these conditions, especially important is the creation of environmental safety monitoring system OHEH in real time. Substantiated and developed requirements for hardware and software complex operational control and management by minimizing the risks to OHEH and principles of real-time monitoring of the complex before the disaster and emergency conditions.

**Keywords:** objects of high environmental hazard (OHEH), monitoring of environmental safety OHEH, unsteadiness risks synergistic risks of hardware and software.