

## **РОЗБУДОВА МОДЕЛІ СИСТЕМИ НА ТЕОРІЇ СИНЕРГЕТИКИ Й КЕРУВАННЯ РИЗИКАМИ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ АВАРІЙ**

**ПАНІНА О.О.**

*викладач кафедри автоматичних систем безпеки та  
інформаційних технологій*

**МАЛЯРОВ М.В.,**

*кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автоматичних систем безпеки та  
інформаційних технологій*

**ГУСЄВА Л.В.,**

*доцент кафедри автоматичних систем безпеки та  
інформаційних технологій*

**ХРИСТИЧ В.В.,**

*кандидат технічних наук, доцент,  
заступник начальника кафедри автоматичних систем безпеки та  
інформаційних технологій  
Національний університет цивільного захисту України  
м. Харків, Україна*

Для складних технічних систем, до яких відносяться і об'єкти хімічної промисловості, актуальною проблемою є достовірне та своєчасне прогнозування та попередження надзвичайних та інших небажаних ситуацій та впливів, які можуть призвести до нештатного режиму, аварії, катастрофи або істотно вплинути на працездатність, життєздатність, безпечність, ефективність і інші властивості таких об'єктів. Можливість появи та результатів дій таких ситуацій, умов і факторів визначається випадковими і хаотичними процесами, які за

механізмами впливу характеризуються як ризики.

Класична теорія надійності Барлоу Р., Прошан Ф. [1, 2] не надає необхідних інструментів дослідження якості функціонування складних систем в умовах "форс-мажорних обставин". Так як об'єкти хімічної промисловості відносяться саме до систем, які прибувають у такій зоні, актуальна розробка адекватних математичних моделей, які дозволяють оцінити систему в цілому, прогнозувати поведінку системи під впливом вражаючих факторів. Також актуальним є розробка методів підвищення або збереження опору систем, функціонуючих в умовах шкідливих впливів.

Моделювання складних систем дозволяє досліджувати особливості їх функціонування в різних умовах, надавати їм потрібні характеристики та знизити ризик виникнення аварій та надзвичайних ситуацій (аварій/НС). Важливу роль у формальному поданні складних систем грає структура - порядок меж елементних зв'язків системи. В роботах наукової школи професора В.В. Кульби [3] для моделювання систем зі складною структурою використовуються методи теорії зважених графів. Такий підхід вже дозволив виявити ряд синергетичних ефектів у поведінці систем з складною структурою. Таким чином, необхідно відзначити, що від структури системи залежить її стійкість. Важливо також прогнозувати які зміни в структурі приведуть до поліпшення або погіршення функціонування розглянутого об'єкта.

В роботах Маршалла В., Хенлі Е.Дж., Кумамото Х., Бусленко Н.П. та інших авторів використання імовірнісних оцінок ризику для аналізу стану безпеки – одне з найбільш дискусійних напрямків у теорії безпеки. Разом з такими показниками, як нормовані, використовуються критерії запобіжної безпеки.

Розглянемо проблему з точки зору теорії самоорганізації - синергетики [4], і теорії управління ризиками [5]. В математичній моделі досліджуваної системи повинні бути представлені основні елементи, по поведінці, за якістю, за ефективністю функціонування яких можна достовірно судити про всю систему. У термінах синергетики це параметри порядку об'єкта, який моделюється. Такий

підхід у дослідженнях, без детального представлення складних систем, процесів і явищ, які в них відбуваються, прийнято, називати системним синтезом [6]. Про результативність використання цього підходу можна судити за багатьма роботами [5, 6].

З позицій класичних моделей теорії надійності система вивчається ізольовано від навколишнього середовища: ні система не піддається впливу зовнішнього середовища, ні само навколишнє середовище не випробовує на собі вплив з боку системи. В даній роботі запропонований підхід до моделювання системи з точки зору теорії самоорганізації – синергетики та теорії управління ризиками. Результативність використання даного підходу підтверджується роботами Курдюмова С.П., Малинецького Г.Г., Кульби В.В., Кононова Д.А., Шубіна А.Н. і ін. Систему, яку досліджують пропонують представити у вигляді графа, а зовнішній вплив у вигляді імпульсного впливу.

З точки зору концепції безпеки, всяку складну технічну систему слід вивчити з трьох основних позицій: надійності системи, життєздатності системи та її безпеки. Кожна з цих позицій різноманітно описує зв'язок і взаємодію системи з навколишнім середовищем. Дослідження перерахованих властивостей системи дозволяє зменшити ризик виникнення аварій/НС, що виникають у результаті нещасних випадків, аварій та катастроф.

Розглянута в роботі система піддається впливу природного та техногенного характеру. До техногенним впливам також можна віднести і впливи, викликані навмисними діями людини. В даний час у багатьох випадках при створенні складних технічних систем приходиться враховувати і можливість здійснення терористичних актів.

В залежності від інтенсивності та потужності розглядаються нормативні (проектні) та екстремальні (наднормативні) навантаження.

Використання критеріїв живучості та надійності дозволяє оцінити ризик виникнення надзвичайних ситуацій при експлуатації складних технічних систем, що дозволяє забезпечити безпеку систем при надзвичайних ситуаціях, або наділити систему необхідними якісними характеристиками, що не

допускають виникнення надзвичайних ситуацій. У схемі на рис. 1 надійність і живучість описують перехід від першої стадії до другого. Живучість системи передбачає докладну характеристику її поведінки (в відмінності від надійності) при наявних зовнішніх впливах на систему, як у критичній області (до аварії/НС), так і в критичній (при розвитку аварії/НС), коли система функціонує, досягнувши граничного стану. Третій етап передбачає вивчення можливих наслідків аварій/НС на навколишнє середовище та систему і лежить в області забезпечення безпеки систем.



Рис.1 - Схема розвитку надзвичайних ситуацій

У багатьох випадках складність системи визначається складністю її структури. Для аналогічних технічних систем дослідження ініціації аварії-НС зовнішніми впливами має особливе значення. Важливо представити, як від структури системи, залежить досягнення системою граничного стану (критичного рівня), за яким ризик виникнення аварії/НС різко зростає.

В рамках моделі, яка пропонується у цій роботі, складна технічна система вважається піддана впливу зовнішнім факторам. Це відповідає попаданню системи в зону «форс-мажорних» обставин, тобто під вплив ненормативних, непередбачуваних при проектуванні системи, екстремальних навантажень, що мають також раптовий характер. В основі моделі лежить формально представлена структура системи, що дозволяє детально відтворити всі можливі варіанти розповсюдження зовнішніх впливів за елементами системи. Модель при заданих навантаженнях на деяку безліч елементів системи, викликаних різними зовнішніми впливами, визначає темп і терміни досягнення системою граничного стану.

Розглянемо математичну модель розповсюдження збурень по системі.

Для всякого кінцевого графа будемо використовувати позначення:

$$G = (V, E), \quad (1)$$

де,  $V = \{v_i\}$ ,  $i = 1, n$ -безліч вершин, а  $E = \{e = (v, u)\}$  - безліч його ребер [7].

Розподіл впливу від одного елемента системи до іншого, на графі системи буде задаватися орієнтованим ребром - ребром з певними початком і кінцем.

Надійність елемента системи будемо вважати вірогідність  $P(t < T)$  того, що елемент буде працездатним протягом часу  $T$  з моменту початку експлуатації.

Таким чином, на оргграфі  $G = (V, E)$  системи для вершин  $v_i \in V$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$  масою  $w_i(t) = P_{v_i}(t < T)$  - являється величина надійності елемента системи, що відповідає вершині  $v_i$ .

Вага

$$w(v_i, v_j) = \varepsilon_{ij}, \quad j \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad i \neq j, \quad (2)$$

- дуги  $(v_i, v_j) \in E$ , до чого зі знаком "+", являється число  $0 < \varepsilon_{ij} < 1$ , яке дорівнює збереженій долі переданого впливу при переході від вершини  $v_i$  до вершини  $v_j$ .

Процес зміни ваг вершин графа системи можна відобразити наступним правилом, що називається імпульсним впливом. Імпульсний вплив визначається імпульсом  $imp_j(t)$ ,  $j \in \{1, 2, \dots, n\}$  в дискретному часі  $t = 0, 1, 2, 3 \dots$ , який задається відношенням:

$$imp_j(t) = w_j(t) / w_j(t-1), \quad \text{при } t > 0. \quad (3)$$

Тоді для  $i$ -ої вершини графа  $G$  при  $t \geq 0$  визначимо імпульсний вплив:

$$w_i(t+1) = w_i(t) \prod_{k=1}^{\deg v_i} \varepsilon_{ji} \text{imp}_j(t), \quad (4)$$

Або

$$\text{imp}_j(t+1) = \prod_{k=1}^{\deg v_j} \varepsilon_{ji} \text{imp}_j(t), \quad (5)$$

Вважаючи при цьому, що  $\deg v_i$  - число дуг, що входять в вершину  $v_i$ .

Формули (3), (4) і (5) задають зміну ваги вершин графа  $G=(V, E)$ , тим самим, визначаючи динаміку розповсюдження зовнішніх впливів за системою.

Автономний імпульсний вплив на зваженому орграфі  $G$  визначимо за правилом (3) з вектором початкових значень:

$$W(0) = (w_1(0), w_2(0), \dots, w_n(0)) \quad (6)$$

и вектором імпульсів:

$$\text{Im } p(0) = (\text{imp}_1(0), \text{imp}_2(0), \dots, \text{imp}_n(0)) \quad (7)$$

Автономний імпульсний вплив в парі з вектором початкових значень описує стан системи в початковий момент часу, коли під впливом зовнішніх вражаючи впливів потрапляють всі або частина елементів системи.

Автономний імпульсний вплив, в якому вектор  $\text{Im } p(0) = (1, 1, \text{imp}_i(0), \dots, 1)$ ,  $p_i(0) > 0$ , має тільки  $i$ -у відмінну від одиниці компоненту, будемо називати простим впливом з початковою вершиною  $v_i \in V$ . Простий імпульсний вплив описує стан системи в початковий момент часу, коли зовнішнє вплив вражає один з елементів системи, а саме, той, який відповідає  $i$ -ій вершині графу системи.

Відповідно до описаного імпульсного впливу на оргграф, можна ввести різні критерії (ознаки) досягнення системою пограничного стану. Наприклад, можна вважати, що система знаходиться в пограничному стані, якщо надійність

одного або декількох найважливіших елементів системи нижче деякого допустимого рівня. Цей рівень будемо називати критичним рівнем надійності елемента. Введений критерій чітко розділяє до критичного та за критичним станом елементів системи. Якщо надійність елемента нижче критичного рівня, то елемент не в змозі виконувати призначені йому функції, або функціонувати потрібний час.

Представлення досліджуваної системи у вигляді зваженого по правилу (2) графа  $G = (V, E)$  і формалізація зовнішнього впливу на систему як автономного імпульсного впливу (3)-(7) визначає модель розповсюдження шкідливих впливів на систему.

Дослідження побудованої моделі необхідне для вирішення важливої задачі - з'ясувати, як зовнішній вплив розповсюджується по структурі системи і впливає на якісний стан її елементів.

Таким чином, запропонована в цій роботі математична модель розповсюдження зовнішніх впливів за системою дозволяє пояснити ряд явищ, які спостерігаються у складних технічних системах при їх попаданні в умови зовнішніх впливів (форс-мажорних обставин). Суттєвою особливістю побудованої моделі є можливість виходу зі строю при розповсюдженні імпульсних впливів за системою найбільш надійних елементів. Ця обставина підкреслює пряму залежність надійності елемента від його положення в структурі, а також залежності стійкості всієї системи від обраної при проектування структури.

#### Використана література:

1. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.
2. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытание на безотказность. – М.: Наука, 1984. – 328 с.
3. Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубин А.Н. Методы

формирования сценариев развития социально-экономических систем. - М.: СИНТЕГ, 2004. - 296 с.

4. Владимиров В.А., Кульба В.В., Малинецкий Г.Г., Махутов Н.А. и др. Управление риском. – М.: Наука, 2000. – 230 с.

5. Новое в синергетике: взгляд в третье тысячелетие / Под ред. Малинецкого Г.Г., Курдюмова С.П. - М.: Наука, 2002. -480 с.

6. Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. Нестационарные структуры и диффузионный хаос. - М.: Наука, 1992. – 320 с.

7. Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. Лекции по теории графов. - М.: Наука, 1990. – 384 с.