

УДК 519.2.003.12:331.461.2

*В.В. Христич, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,
О.О. Паніна, викладач, НУЦЗУ,
Л.В. Гусева, викладач, НУЦЗУ*

МОДЕЛЬ ЗОВНІШНЬОГО ВПЛИВУ НА ОБ'ЄКТИ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

(представлено д-ром техн. наук Чубом І.А.)

У роботі пропонуються розглянути ймовірносно-детерменістичну модель для дослідження поширення зовнішніх впливів у складних технічних системах на небезпечних об'єктах промисловості при попаданні їх в умови зовнішніх впливів (форс-мажорні обставини). Розробка і дослідження побудованої моделі дозволить вирішити задачу поширення зовнішнього впливу за структурою системи і його впливу на якісний стан її елементів.

Ключові слова: ймовірносно-детерменістична модель, нештатний режим, теорія зважених графів.

Постановка проблеми. Моделювання складних систем дозволяє досліджувати особливості їх функціонування в різних умовах, наділяти їх необхідними характеристиками і знижувати ризик виникнення надзвичайних ситуацій (НС). Важливо також прогнозувати, які зміни в структурі приведуть до поліпшення або погіршення функціонування розглянутого об'єкта. Для складних технічних систем актуальною проблемою є достовірне і своєчасне прогнозування і запобігання надзвичайних та інших небажаних ситуацій і впливів, які можуть призвести до роботи у нештатному режимі. Можливість появи і результати дій таких ситуацій, умов і факторів визначається випадковими і хаотичними процесами, які за механізмами впливу характеризуються як ризики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальним є розробка методів та моделей підвищення або збереження надійності систем, що функціонують в умовах вражаючих впливів. Класична теорія надійності Барлоу Р., Прошан Ф. [1, 2] не надає необхідних інструментів дослідження якості функціонування складних систем в умовах «форс-мажорних обставин».

Найважливішу роль у формальному поданні складних систем відіграє структура - порядок міжелементних зв'язків системи. У 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 зі складною структурою.

Використання імовірнісних оцінок ризику для аналізу стану безпеки – одне з найбільш дискусійних напрямів теорії безпеки. Рекомендовано з обережністю ставитися до застосування кількісних показників ризику в якості критеріїв безпеки, враховуючи складність розглянутих об'єктів і велику невизначеність використовуваної для розрахунків інформації [4, 5, 6].

Постановка завдання та його вирішення. Необхідно створити модель зовнішнього впливу на об'єкти в умовах надзвичайних ситуацій, розглянувши проблему з точки зору теорії самоорганізації-сінергетики [7] та теорії управління ризиками [8]. У математичній моделі досліджуваної системи повинні бути представлені основні елементи за поведінкою, за якістю, за ефективності функціонування яких можна достовірно судити про всю систему. У термінах сінергетики це параметри порядку модельованого об'єкта. Такий підхід у дослідженнях, без детального представлення складних систем, процесів і явищ які у них протікають, прийнято називати системним синтезом [9]. Про результативність використання цього підходу можна судити по багатьом роботам [8, 9,].

У даній роботі пропонується підхід до моделювання такої системи на основі теорії самоорганізації-сінергетики та теорії управління ризиками. Результативність використання даного підходу підтверджується роботами Курдюмова С.П., Малінецкого Г.Г., Кульби В.В., Кононова Д.А., Шубіна А.Н., Ахромеева Т.С., Самарського А.А. та ін. Досліджувану систему пропонується представляти у вигляді графа, а зовнішній вплив у вигляді імпульсного впливу.

Розглянута в роботі система піддається впливу природного і техногенного характеру. До техногенних впливів також можна віднести і впливи, що викликаються умисними діями людини. В даний час у багатьох випадках при створенні складних технічних систем доводиться брати до уваги і можливість терористичних актів.

В залежності від інтенсивності і потужності розглядають нормативні (проектні) і екстремальні (наднормативні) навантаження.

Використання критеріїв живучості та надійності дозволяють 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. Живучість системи передбачає ретельний опис її поведінки (на відміну від надійності) при наявних зовнішніх впливах на систему, як в до критичній області, так і в за критичній (при розвитку НС), коли система функціонує, досягнувши граничного стану. Третій етап передбачає вивчення можливих наслідків НС на навколишнє середовище і лежить в області забезпечення безпеки системи.

В рамках моделі, запропонованій в цій роботі, складна технічна система вважається підданою впливу зовнішніх факторів. Це відповідає попаданню системи в зону "форс-мажорних обставин", тобто під вплив ненормативних, непередбачених 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 множену елементів системи, що викликаються 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 [11].

Поширення впливу від одного елемента системи до іншого на графі системи будемо задавати орієнтованим ребром – ребром з певними початком і кінцем.

Надійністю елемента системи будемо вважати ймовірність того, що елемент буде працездатний протягом часу з моменту початку експлуатації.

Таким чином, на оргграфі $G = (V, E)$ системи для вершини $v_i \in V$, $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ вагою $w_i(t) = P_{v_i}(t < T)$ – є величина надійності елемента системи, відповідного вершині v_i . Вагою

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

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

Процес зміни ваг вершин графа системи можна відобразити правилом, що називається імпульсною дією. Імпульсний вплив визначається імпульсом $\text{imp}_j(t)$, $j \in \{1, 2, \dots, n\}$ у дискретному часі $t = 0, 1, 2, 3 \dots$, який задається відношенням

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

Тоді для i -ї 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

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

вважаючи при цьому, що $\deg v_i$ – число входять до вершину v_i дуг.

Формули (3), (4) і (5) задають зміни ваг вершин графа $G = (V, E)$, тим самим, визначаючи динаміку поширення зовнішніх впливів по системі.

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

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

і вектором імпульсів

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

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

Автономний імпульсний вплив, в якому вектор $\text{Imp}(0) = (1, 1, \text{imp}_i(0), \dots, 1)$, $\text{imp}_i(0) > 0$, має тільки i -ю відмінну від одиниці компоненту, назовемо простим впливом з початковою вершиною $v_i \in V$. Простий імпульсний вплив описує стан системи в початковий момент часу, коли зовнішній вплив вражає один з елементів системи. А саме, той, який відповідає i -ій вершині графа системи.

У відповідності до описаного імпульсного впливу, на оргграфі можна ввести різні критерії (ознаки) досягнення системою граничного стану. Наприклад, можна вважати, що система знаходиться в граничному стані, якщо показник надійності одного або декількох найбільш значущих елементів системи нижче деякого допустимого рівня. Цей рівень будемо називати критичним рівнем надійності елемента. Введений критерій чітко розділяє до критичний і за критичний стан елемен-

тів системи. Якщо надійність елемента нижче критичного рівня, то елемент не в змозі виконувати покладених на нього функцій, або функціонувати необхідний час.

Подання досліджуваної системи у вигляді зваженого за правилом (2) графа $G = (V, E)$ і формалізація зовнішнього впливу на систему як автономного імпульсного впливу (3) – (7) визначає модель поширення вражаючих впливів по системі.

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

Висновки. Запропонована в даній роботі математична модель розповсюдження зовнішніх впливів по системі дозволяє пояснити ряд явищ, які спостерігаються в складних технічних системах при попаданні їх в умови зовнішніх впливів (форс-мажорні обставини). Суттєвою особливістю побудованої моделі є можливість виходу з ладу при поширенні імпульсних впливів по системі найбільш надійних елементів. Цей факт підкреслює пряму залежність надійності елемента від його положення в структурі, а також залежність стійкості всієї системи від обраної при проектуванні структури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Барлоу Р. Математична теорія надійності / Барлоу Р., Прошан Ф. – М.: Радянське радіо, 1969. – 488 с.
2. Барлоу Р. Статистична теорія надійності та випробування на безвідмовність / Барлоу Р., Прошан Ф. – М.: Наука, 1984. – 328 с.
3. Кульба В.В. Методи формування сценаріїв розвитку соціально-економічних систем / Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубін А.Н. – М.: Сінтег, 2004. – 296 с.
4. Бусленко Н.П. Моделювання складних систем / Бусленко Н.П. – М.: Наука, 1978. – 356 с.
5. Ємельянов В.В. Введення в інтелектуальне імітаційне моделювання складних дискретних систем і процесів. Мова РДО / Ємельянов В.В., Ясиновський С.І. – М.: АНВІК, 1998. – 427 с.
6. Мартинюк В.Ф. Аналіз ризику і його нормативне забезпечення / Мартинюк В.Ф., Тетрарха М.В., Кловач Є.В., Сидоров В.І. // Безпека праці в промисловості. – 1995. – № 11. – С. 55-62.
7. Владимиров В.А. Управління ризиком / Владимиров В.А., Кульба В.В., Малінецький Г.Г., Махутов Н.А. та ін. – М.: Наука, 2000. – 230 с.
8. Нове в синергетике: погляд у третє тисячоліття / Под ред. Малінецького Г.Г., Курдюмова С.П. – М.: Наука, 2002. – 480 с.
9. Ахромеева Т.С. Нестационарні структури і дифузійний хаос / Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малінецький Г.Г., Самарський А.А. – М.: Наука, 1992. – 320 с.

10. Емелічев В.А. Лекції з теорії графів /Емелічев В.А., Мельников О.І., Сарванов В.І., Тишкевич Р.І. – М.: Наука, 1990. – 384 с.

В.В. Христин, Е.А. Панина, Л.В. Гусева

Модель внешнего воздействия на объекты в условиях чрезвычайных ситуаций

В работе предлагаются рассмотреть вероятностно-детерминистическую модель для исследования распространения внешних воздействий в сложных технических системах на опасных объектах промышленности при попадании их в условия внешних воздействий (форс-мажорные обстоятельства). Разработка и исследование построенной модели позволит решить задачу распространения внешнего воздействия по структуре системы и его влияния на качественное состояние ее элементов.

Ключевые слова: вероятностно-детерминистическая модель, нештатный режим, теория взвешенных графов.

V.V. Khrystych, E.A. Panina, L.V. Guseva

Model external impact on objects in emergency situations

The paper proposes to consider the probability-deterministichnu model to study the spread of external influences in complex technical systems in hazardous industrial facilities in contact with them in terms of external influences (force majeure). Development and research of the constructed model will solve the problem of the spread of external influence on the structure of the system, and its impact on the qualitative state of its elements.

Keywords: probabilistic-determinystycheskaya model neshtatny mode, graph theory vzveshenyh.