

УДК 681.518.5

Розпізнавання рівнів загрози виникнення надзвичайних ситуацій при моніторингу складних технічних систем

Ю. П. Буценко, канд. фіз.-мат. наук, В. А. Лабжинський, канд. техн. наук
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,
пр. Перемоги, 37, Київ-56, 03056, Україна.

В роботі запропонована евристична методика виявлення критичних комбінацій параметрів, яка стане в нагоді дослідникам та експлуатаційникам складних технічних систем при прогнозуванні виникнення надзвичайних ситуацій за допомогою систем екологічного моніторингу. Бібл. 11, рис. 1, табл. 3.

Ключові слова: складні технічні системи, екологічний моніторинг, прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій, статистичне дослідження, підтримка прийняття рішень.

Вступ

Аналіз сценаріїв переходу складних технічних систем у небезпечні стани і розробка відповідних моделей для прогнозування надзвичайних ситуацій дозволяє проектувальникам знаходити можливі шляхи переходу зазначених систем у критичні стани, а фахівцям-експлуатаційникам – уникати таких переходів, тобто захистити їх [7]. В Україні функціонує понад 30 тисяч техногенно небезпечних об'єктів [4]. Оперативність виявлення небезпечної ситуації є дуже важливою: чим раніше вдасться виявити небезпеку, тим більше часу буде у персоналу на прийняття рішення та виконання захисних дій. Тому проблема створення адекватних моделей для прогнозування відмов технічних систем є надзвичайно актуальною.

Створення прогнозуючих моделей, природно, орієнтоване на максимальний збіг прогнозів з реально отримуваними результатами. Зрозуміло, що у випадку тієї чи іншої форми однорідності (за часом або за сукупністю) точність передбачення зростає зі зростанням об'єму статистичної вибірки, яка використовується при прогнозуванні. Орієнтуючись на незсунені оцінки, при цьому вдається досягати високого рівня ефективності та плідно використовувати конзистентність. Враховуючи великий об'єм вибірки, в більшості випадків має місце і робастність отриманих результатів. В той же час прогнозування екологічних ситуацій має свої особливості [8], які вирішальним чином впливають на особливості

функціонування сучасних систем екологічного моніторингу, ступінь складності яких як технічних систем швидко зростає. Для екологічних ситуацій маємо, в багатьох випадках, таке парадоксальне, на перший погляд, явище, як невідповідність точності та складності моделей [2]. Враховуючи велику кількість факторів, що фігурують в екологічному моніторингу, та складність їх взаємодії (у просторі та часі), вказане явище вимагає серйозного експертного аналізу. В той же час, виявлені явища омніпотентності (принципової зміни вагомості факторів на різних проміжках часу) [3] та контрінтуїтивності багатьох процесів, що вимагає паралельної побудови кількох моделей еволюції системи та розгляду “колективних прогнозів” [1].

Огляд існуючих підходів до опису поведінки складних технічних систем

Відомо, що складні технічні системи найчастіше характеризуються неоднозначністю та поганою передбачуваністю їх поведінки [5]. Це означає, між іншим, що їх статистичне дослідження вимагає практично неприйнятних витрат. Тому гарний збіг результатів прогнозуючих моделей, побудованих з використанням обмеженої вибірки, з наявною статистикою не гарантує гарних результатів прогнозування у всіх можливих ситуаціях експлуатації складних технічних систем. Однак, якщо властивості фізичних процесів в оцінюваній системі мають статистичну стійкість, а до цього, очевидно, прагнуть при проектуванні складних технічних систем, то чисто теоретично повинна існувати процедура синтезу адекватних прогнозуючих моделей цих систем за наявними апіорними знаннями про згадані фізичні процеси, системі фізичних обмежень і наявній обмеженій вибірці статистичних випробувань. Отже, алгоритми виявлення передумов виникнення аварійних ситуацій у цих системах потребують вдосконалення.

У загальному випадку процес синтезу прогнозуючих моделей відмов складних технічних систем може містити наступні етапи:

- опис фізичних процесів у системі і фізичних обмежень середовища функціонування шляхом завдання рівностей і нерівностей;
- виявлення набору параметрів X_i , що характеризують систему і впливають на її перебування в допустимих межах, шляхом аналізу досвіду функціонування аналогічних систем і сформованої на попередньому етапі системи рівностей і нерівностей;
- створення бази даних про функціонування системи з максимально можливою кількістю надзвичайних ситуацій;
- упорядкування і наступна класифікація надзвичайних ситуацій шляхом аналізу функціонування з урахуванням запровадженої системи рівностей і нерівностей;
- алгоритмічний опис прогнозуючої моделі надзвичайних ситуацій шляхом задання правил віднесення прогнозованої ситуації до того або іншого класу з тією або іншою ймовірністю;
- апробація отриманої моделі, проведення подальших спостережень за еволюцією системи, співставлення результатів цих спостережень з прогнозованими значеннями та коригування моделі в разі наявності великих похибок прогнозу.

Незважаючи на ясність наведеної методики, використання її для синтезу прогнозуючих моделей відмов біохівіоральних систем, до яких відносяться системи екологічного моніторингу, являє собою складну важко розв'язувану задачу. Це пов'язано, насамперед, зі складністю і не повною визначеністю закономірностей їхньої поведінки. Однак очевидно, що нечіткість поведінки систем екологічного моніторингу може бути описана з тією або іншою вірогідністю, що характеризує в цьому випадку точність, за допомогою побудови логіко-ймовірнісних моделей. Відповідно і прогнозуючі моделі надзвичайних ситуацій в таких системах доцільно синтезувати у вигляді системи правил з ймовірностями їх результатів, які, як показано в [9], легше аналізувати, приводячи їх до систем алгебраїчних рівнянь за mod 2. При цьому використання методів комбінаторики дозволяє досить швидко обчислювати наближені значення ймовірностей.

Постановка задачі моделювання поведінки складних технічних систем

Поведінка $\bar{y}(t)$ будь-якої складної технічної системи визначається закладеною в пам'ять при

її проектуванні керуючою програмою $\bar{u}(t)$, яка найчастіше є сукупністю правил з відповідними ймовірностями результатів, внутрішнім поточним станом $\bar{x}(t)$, який може бути охарактеризований ймовірнісним вектором стану, і зовнішніми впливами з боку навколишнього середовища $\bar{s}(t)$, що змінюються в часі, які, в принципі, можуть бути також описані системами логіко-ймовірнісних рівнянь. Таким чином, наявна принципова можливість опису поведінки складної технічної системи у вигляді системи алгебраїчних рівнянь за mod 2 з відомими ймовірностями змінних, котру, як показано в [9], доцільно привести до вигляду лінійних послідовнісних машин:

$$\begin{cases} \bar{x}(t+1) = A \cdot \bar{x}(t) \oplus B \cdot \bar{u}(t) \oplus E \cdot \bar{s}(t) \oplus \bar{g} \\ \bar{y}(t) = C \cdot \bar{x}(t) \oplus D \cdot \bar{u}(t) \oplus F \cdot \bar{s}(t) \oplus \bar{h} \end{cases}$$

де: $\bar{x}(t)$ – розширений, по відношенню до вихідного словника, двійковий вектор стану системи; $\bar{u}(t)$ – вектор входу з боку керуючих програм; $\bar{s}(t)$ – вектор, що описує збурення з боку зовнішніх впливів; $\bar{y}(t)$ – вектор виходу (поведінка системи); \bar{g}, \bar{h} – двійкові вектори; A, B, C, D, E, F – двійкові матриці.

Крім того, поведінку агрегату екосистеми та системи екологічного моніторингу можна коригувати за рахунок включення механізмів реакції на надзвичайні ситуації [10] при перевищенні понад припустимі норми змін зовнішнього середовища ($\Delta \bar{s}(t) \notin D_S$), неприпустимих змін внутрішнього стану ($\Delta \bar{x}(t) \notin D_X$) та збоїв керуючих програм ($\Delta \bar{u}(t) \notin D_U$), де D_S, D_X, D_U – допустимі області знаходження годографів векторів зовнішніх збурень, входу та виходу відповідно. При цьому в правильно функціонуючій складній технічній системі зміна її поведінки не повинна перевищувати припустимих норм ($\Delta \bar{y}(t) \in D_Y$).

Зазначені відношення можуть бути записані у вигляді логічних виразів і переведені в алгебраїчні рівняння за mod 2. Однак у випадку задання якої-небудь нерівності у вигляді лінгвістичного виразу, що цілком можливо при описі поведінки складних технічних систем, перехід від лінгвістичного опису до логічного не завжди виявляється однозначним. Останнє погіршує умови отримання прогнозуючої моделі

відмов. Зокрема, виявлений після аналізу отриманих рівностей і нерівностей, що характеризують складну технічну систему, перелік факторів і параметрів, що впливають на працездатність системи, може виявитися неповним або суперечливим. Проте цей перелік дозволяє більш цілеспрямовано проводити дослідження таких систем. Метою роботи є розробка відповідного алгоритму виявлення передумов виникнення надзвичайних ситуацій у вказаних системах (зокрема, методика виокремлення комбінацій параметрів, які можуть до цього призвести).

Евристична процедура прогнозування надзвичайних ситуацій

Статистичні випробування на надійність системи зазвичай дозволяють отримати тільки обмежену вибірку. При цьому деякі результати випробувань можуть бути суперечливими. Тому всі результати доцільно розбити на три класи. Перший клас утворюють множину X_1 результатів зі сполученням показників, що однозначно призводять до надзвичайних ситуацій ($R = 1$), тобто $P\{R = 1 / X_1\} = 1$. Другий клас утворюють множину X_2 результатів зі сполученням показників, що однозначно приводять до відсутності надзвичайних ситуацій ($R = 0$), тобто $P\{R = 1 / X_2\} = 0$. Третій клас утворюють множину X_3 результатів зі сполученням показників, які не завжди, а тільки m_i разів з n_i загальної кількості випадання цих i -х сполучень, призводять до надзвичайних ситуацій ($R = \{0,1\}$), тобто $P\{R = 1 / X_3\} = m_i / n_i$. Після цього необхідно провести формалізований опис виділених класів, які спочатку описуються лінгвістично, а потім переводяться в логічну форму, причому переведення повинне бути однозначним, що в ряді випадків зробити не просто [11]. Тоді перевірка бінарних відношень $X_i \delta_1 X_1$, $X_i \delta_2 X_2$ і $X_i \delta_3 X_3$, де X_i – множина, що містить сполучення показників прогнозованого стану системи, а $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – двомісний предикат на порівнюваних множинах, у випадку виконання першого або другого з відношень дає однозначний прогноз надзвичайної ситуації. Тоді для першого і другого випадку синтез прогнозуючої моделі зводиться фактично до синтезу двомісних предикатів δ_1, δ_2 . Задача синтезу цих предикатів у багатьох випадках може виявитися досить трудомісткою і такою, що погано формалізується. Крім того, у випадку виконання

третього відношення ймовірність надзвичайної ситуації залишається невідомою і можна лише сказати, що вона лежить у межах від найменшої до найбільшої з обчислених за результатами статистичних випробувань ймовірностей. Тому синтезований предикат δ_3 у цьому випадку взагалі не дає досить гарну прогнозуючу модель.

Природним є припущення, що поліпшити якість прогнозу в загальному випадку дозволить наступна процедура.

По-перше, здійснюють перетворення множини, що містить сполучення показників, які характеризують функціонування складної технічної системи, у множину подій, що призводять до надзвичайних ситуацій з підрахованими раніше ймовірностями. Наприклад, в результаті чергових спостережень виявилось, що на Одеському припортовому заводі при виробництві 3400 тонн аміаку на добу [6] споживання природного газу становить в середньому $4,25 \cdot 10^6$ м³ на добу, а ймовірність надзвичайної ситуації дорівнює $P = 0,8$. Ці результати легко перевести в логічну форму, поставивши у відповідність виробництву 3400 тонн аміаку на добу – подію Y_{11} , споживанню газу $4,25 \cdot 10^6$ м³ на добу – подію Y_{21} тощо, де перший індекс означає показник, а другий – градацію цього показника (діапазон його значень). Сполучення цих подій $Y_{11} \wedge Y_{21} \wedge \dots \wedge Y_{mk}$, де m – кількість показників, призводить до виникнення надзвичайної ситуації системи $R = 1$ з підрахованою раніше ймовірністю P .

Тепер результати випробувань можна звести до таблиці 1. Аналіз цієї таблиці показує, що кожен її рядок містить різні сполучення по других індексах з m подій та ймовірність, що відповідає логічному добутку цих подій. Однак, тому що ті або інші рядки таблиці в результаті випробувань випадали випадковим чином, то виявити які-небудь закономірності з цієї таблиці безпосередньо швидше за все не вдасться. Тому як наступний крок доцільно провести деяке впорядкування рядків у зазначеній таблиці. Найбільш просто переставити рядки в таблиці таким чином, щоб при збільшенні номера рядка збільшувалася або, навпаки, зменшувалася ймовірність виникнення надзвичайної ситуації, що відповідає цьому рядкові. Тоді таблиця 1 перетвориться, наприклад, на таблицю 2.

Отримана таблиця мало відрізняється від попередньої з точки зору складності виділення якої-небудь закономірності ймовірності виникнення надзвичайної ситуації при тому або

Таблица 3 Повний (вичерпний) експеримент для трьох показників

N	Y ₁			Y ₂			Y ₃			P
	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	
1	1			1			1			
2		1		1			1			0,5
3			1	1			1			
4	1				1		1			0,2
5	1					1	1			
6	1			1				1		
7	1			1					1	
8		1			1		1			
9		1			1			1		
10		1			1				1	0,8
11			1		1		1			
12			1		1			1		
13			1		1				1	
14		1				1	1			
15		1				1		1		
16		1				1			1	
17			1			1	1			
18			1			1		1		
19			1			1			1	1
20		1		1				1		
21			1	1				1		
22	1				1			1		0
23	1					1		1		
24	1				1				1	
25	1					1			1	
26		1		1					1	
27			1	1					1	



Рис. 1. Графік залежності емпіричної ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій від комбінацій показників

Для полегшення виявлення деяких закономірностей у множині результатів побудуємо по таблиці 3 графік (рис. 1), з'єднавши прямою лінією точки з відомими за результатами випробувань ймовірностями виникнення надзвичайних ситуацій.

З графіка видно, що при сполученнях подій від номера 10 до номера 20 прогнозується досить велика ймовірність виникнення надзвичайної ситуації від 0,8 до 1. Тому для підвищення вірогідності прогнозу доцільно продовжити випробування на надійність, намагаючись одержати сполучення подій саме в цьому діапазоні. Припустимо, зокрема, що у розглянутому прикладі вдалося одержати сполучення з номерами 12, 15 і 18 і підрахувати ймовірність виникнення надзвичайної ситуації для цих сполучень 0,9, 0,7 і 0,85 відповідно. Можна нанести знову отримані точки на рис. 1 і скоригувати хід кривої і прогножуючу модель відповідно.

Висновки

В статті запропонований евристичний підхід до прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій, що виникають при функціонуванні технологічної системи та синтезованої з нею системи екологічного моніторингу, причому обидві системи мають високий рівень складності. Такий підхід дозволяє як підвищувати ефективність натурних досліджень систем такого типу, спрямованих на оптимізацію керуючих алгоритмів, так і створювати програмно-технологічні засоби реагування на надзвичайні ситуації.

Література

1. Брусиловский П. М. Синтез оптимального коллективного предиктора случайных событий / П. М. Брусиловский, Ф. С. Насыров // Автоматика. – 1985. – № 4. – С. 73–76.
2. Заде Л. А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений / Л. А. Заде // Математика сегодня: Сб. ст. – М. : Знание, 1974. С. 5–49.
3. Налимов В. В. Логические основания планирования эксперимента / В. В. Налимов, Т. И. Голикова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1981. – 152 с.
4. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2010 році [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/files/2011/5/17/5_3_2010.pdf.
5. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / [Под ред. В. В. Клюева]. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Машиностроение, 2003. – 656 с.
6. Офіційний сайт Одеського припортового заводу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.opz.odessa.net/products/pammonia.php>.
7. Панкратова Н. Д. Розпізнавання позаштатної ситуації в динаміці функціонування техногенно небезпечного об'єкта / Н. Д. Панкратова, А. М. Радюк // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2008. – № 3. – С. 43–52.

8. *Розенберг Г. С.* Экологическое прогнозирование (Функциональные предикторы временных рядов) / Г. С. Розенберг, В. К. Шитиков, П. М. Брусиловский. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 1994. – 182 с.
9. *Рябинин И. А.* Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И. А. Рябинин. – 2-е изд. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2007. – 276 с.
10. *Рябинин И. А.* Соотношение свойств надежности – живучести и аварийности – опасность / И. А. Рябинин // Теория и информационная технология моделирования безопасности сложных систем. Вып. 4. [Под ред. И. А. Рябиной, Е. Д. Соложенцева]. – СПб. : ИПМаш РАН, 1994. – 123 с. – (Препринт 110 / РАН, ин-т пробл. машиноведения).
11. *Шалыто А. А.* Логическое управление. Методы аппаратной и программной реализации / А. А. Шалыто. – СПб. : Наука, 2000. – 780 с.

УДК 681.518.5

Распознавание уровней угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций при мониторинге сложных технических систем

Ю. П. Буценко, канд. физ.-мат. наук, **В. А. Лабжинский**, канд. техн. наук

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”,
пр. Победы, 37, Киев-56, 03056, Украина.

В работе предложена эвристическая методика выявления критических комбинаций параметров, которая будет полезна исследователям и эксплуатационникам сложных технических систем при прогнозировании возникновения чрезвычайных ситуаций с помощью систем экологического мониторинга. Библи. 11, рис. 1, табл. 3.

Ключевые слова: сложные технические системы, экологический мониторинг, прогнозирование возникновения чрезвычайных ситуаций, статистическое исследование, поддержка принятия решений.

Danger levels' recognition of emergencies occurrence by monitoring complex technical systems

Yu. P. Butsenko, V. A. Labzhinsky

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic institute”,
pr. Peremogy, 37, Kyiv-56, 03056, Ukraine.

In the work a heuristic procedure is suggested to reveal critical parameters' combinations, which will be useful for researchers and operators of complex technical systems when they make emergency predictions using ecological monitoring systems. Reference 11, figures 1, tables 3.

Key words: complex technical systems, ecological monitoring, emergency predictions, statistical research, decision making support.

1. *Brusilovsky P. M., Nasyrov F. S.* Synthesis of optimal collective predictor of random events // Automation. – 1985. – № 4. – С. 73–76. (Rus)
2. *Zadeh L. A.* Basis for a new approach to the analysis of complex systems and decision making processes. // Mathematics Today: Digest of proceedings. – Moscow: Znanie, 1974. Pp. 5–49. (Rus)
3. *Nalimov V. V., Golikova T. I.* The logical foundations of experiment design. – 2nd ed., Rev. and enl. – Moscow: Metallurgiya, 1981. – 152 с. (Rus)
4. National report on the state of man-made and natural security in Ukraine in 2010 [Electronic resource]. – Access mode: http://www.mns.gov.ua/files/2011/5/17/5_3_2010.pdf. (Ukr)
5. Non-destructive check and diagnostics: Directory / [ed. by Klyuev V. V.]. – 2nd ed., Rev. and enl. – Moscow: Mashinostroenie, 2003. – 656 p. (Rus)

6. The official site of the Odessa priportovy plant [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.opz.odessa.net/products/pammonia.php>. (Rus)
7. *Pankratova N. D.*, *Radyuk A. M.* Extraordinary situation recognition in the dynamics of functioning technologically dangerous object // *Naukovi visti NTUU "KPI"*. – 2008. – № 3. – Pp. 43–52. (Ukr)
8. *Rosenberg G. S.*, *Shitikov V. K.*, *Brusilovsky P. M.* Ecological Forecasting (Functional predictors of time series). – Togliatti: IEVB RAS, 1994. – 182 c. (Rus)
9. *Ryabinin I. A.* Reliability and safety of structurally complex systems. – 2nd ed. – SPb.: SPb. univ. publ. house, 2007. – 276 p. (Rus)
10. *Ryabinin I. A.* Relationship among pairs of properties reliability – durability and emergency – danger // Theory and information technology security modelling of complex systems. Issue 4. [ed. by Ryabinin I. A., Solozhentsev E. D.]. – SPb.: IPMash RAS, 1994. – 123 c. – (Preprint 110 / RAS, Institute of Engineering Problems). (Rus)
11. *Shalyto A. A.* A logical control. Methods of hardware and software implementation. – SPb.: Nauka, 2000. – 780 c. (Rus)

Поступила в редакцию 15 ноября 2012 г.