УДК 622.691.4

ЧИСЕЛЬНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Д.Ф.Тимків, М.В.Крихівський, Д.Д.Матієшин

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) ,
e-mail: public@nung.edu.ua

Пропонується чисельний метод для оцінювання надійності газотранспортних систем з використанням теорії нечітких множин і теорії прийняття рішень

Ключові слова: газотранспортна система, функція якості, альтернатива

Предлагается численный метод для оценивания надежности газотранспортных систем с использованием теории нечетких множеств теории принятия решений

Ключевые слова: газотранспортная система, функция качества, альтернатива

A numeral method is offered for the evaluation of reliability of the gas-transport systems with the use of theory of fuzzy sets of theory of making a decision

Keywords: gas-transport system, function of quality, alternative

Вступ

Системи магістрального транспорту газу є складними технічними системами [1], які характеризуються специфічними особливостями: великою територіальною протяжністю, величезною кількістю складових елементів, нестаціонарністю процесів, ієрархічністю структури, наявністю централізації керування технологічним процесом транспорту і децентралізацією розподілу цільового продукту, можливістю створення оперативних та стратегічних запасів енергетичної сировини у сховищах.

Основна мета обслуговування газотранспортної системи (ГТС) полягає у задоволенні потреб споживачів у цільовому продукті за оптимальних значень техніко-економічних критеріїв та виконанні технологічних обмежень. Необхідно враховувати, що реальним ГТС, середовищам, в яких вони функціонують і критеріям керування характерні різні типи невизначеностей.

Сказане дає підстави зробити висновок про те, що процес оцінювання надійності складних газотранспортних систем, а також таких їх елементів, як магістральний газопровід, який, в свою чергу, є складною системою, здійснюється в умовах впливу суттєвих невизначеностей, частина яких має стохастичний характер, а частина обумовлена факторами, які не мають випадкової природи. У відповідності з цим при розробці методів оцінювання надійності ГТС доцільне комплексне застосування ймовірнісних і детермінованих моделей, елементів теорії прийняття рішень з тим, щоб максимально знизити ступінь невизначеності.

Постановка задачі

У даний час для контролю працездатності складних газотранспортних систем застосовуються методи, які використовують імовірність безвідмовної роботи як критерій якості роботи системи в цілому. При цьому розуміється можливість існування двох станів компонентів системи і всієї системи, а саме – робочий та неробочий. Більш ефективним при оцінюванні якості є врахування можливості перебування компонентів і системи в кількох станах. Необхідно знайти чисельне вираження стану надійності ГТС.

Метод оцінювання

ГТС можна умовно розділити на послідовність паралельно об'єднаних компонентів [2]. Розглянемо приклад, коли ГТС складається з п'яти модулів (рис. 1). Оцінимо якість роботи системи з урахуванням взаємодії, яка відбувається за послідовною схемою з'єднання перших чотирьох модулів і попарно-паралельного з'єднання цих модулів з п'ятим. Структурну функцію $\varnothing(S)$ такої взаємодії можна записати формулою

$$\varnothing(S) = (\varnothing(A) \cup \varnothing(E)) \cap (\varnothing(B) \cup \varnothing(E)) \cap \cap (\varnothing(C) \cup \varnothing(E)) \cap (\varnothing(D) \cup \varnothing(E)) \quad (1)$$

де $\varnothing(A), \varnothing(B), \varnothing(C), \varnothing(D), \varnothing(E)$ – структурні функції відповідно модулів, а A, B, C, D, D, E – нечіткі множини станів цих модулів.

Функція якості системи $\psi(S)$ описується формулою

$$\psi(S) = \psi((A \cup E) \cap (B \cup E) \cap \cap (C \cup E) \cap (D \cup E)) = \min[\max(\vec{A}, \vec{E}), \quad (2)$$
$$\max(\vec{B}, \vec{E}), \max(\vec{C}, \vec{E}), \max(\vec{D}, \vec{E})],$$

де $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}, \vec{D}, \vec{E}$ – нечіткі множини з функціями належності до заданих станів відповідних модулів [3].

Для задання функцій належності за умови можливості перебування модулів у двох станах можна використати ймовірності безвідмовної роботи, які отримані обробкою статистичних даних з відмов роботи модулів у процесі екс-

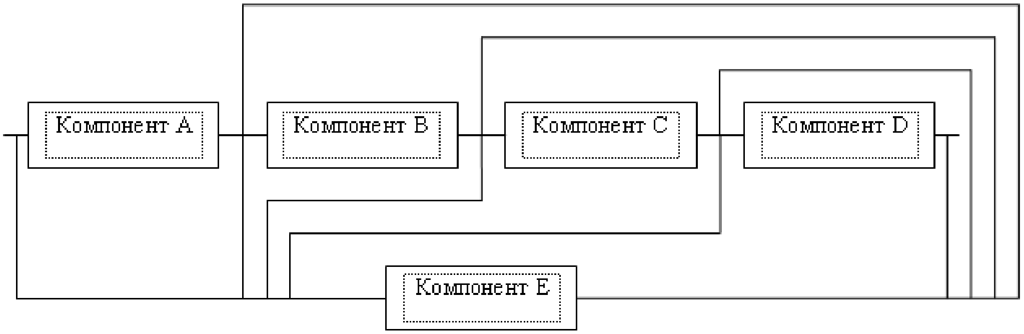

Рисунок 1 – Структурна схема ГТС

плуатації. Функції належності $\mu_A(t), \mu_B(t), \mu_C(t), \mu_D(t), \mu_E(t)$ нечітких множин $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}, \vec{D}, \vec{E}$ при такому підході залежать від часу експлуатації системи і обчислюються як різниця 1 і відповідної імовірності безвідмовної роботи відповідного модуля в конкретний момент часу. Використовуючи формулу (2), можна записати:

$$\psi(S) = \min[\max(\mu_A(t), \mu_E(t)), \max(\mu_B(t), \mu_E(t)), \max(\mu_C(t), \mu_E(t)), \max(\mu_D(t), \mu_E(t))] \quad (3)$$

Урахування можливості перебування модулів ГТС та ГТС загалом в багатьох станах якості передбачає задання шкали станів. Задамо 5 значень: ідеальна робота модулів ($\mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D = \mu_E = 1$), модулі працюють добре ($\mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D = \mu_E = 0.8$), модулі працюють задовільно ($\mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D = \mu_E = 0.6$), модулі погано працюють ($\mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D = \mu_E = 0.4$), модулі не працюють ($\mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D = \mu_E = 0$).

Опитуючи експертів [4], одні й ті ж знання про стан ГТС від різних експертів можна отримати з різними коефіцієнтами впевненості та значенням невизначеності на даний момент. Досить часто при виборі знань використовують семантичну метрику: на множині інформаційних одиниць задають відношення, які характеризують ситуаційну близькість цих одиниць, але для моделей з нечіткістю та невизначеністю це є неефективним.

Кожне однотипне знання можна охарактеризувати корисністю, яка співвідноситься з коефіцієнтами впевненості або ступенем належності при нечіткості [5]. Позначимо її q. Невизначеність при виборі відповідного знання враховується ризиками. Позначимо їх через *r*. Система при виведенні знань може перебувати у різних станах. Об'єднаємо їх у множину А.

Оцінюванню стану ГТС властива можливість вибору альтернативи. Для однозначного визначення альтернатив і виборів необхідно для кожної альтернативи (або кожного вибору) задати дійсну послідовність корисностей $[q_i]_1^n$ і ризиків $[r_i]_1^n$. Це справедливо, коли потужність множини А дорівнює n. Якщо множини альтернатив для всіх станів скінченні, тоді можна задатись матрицями корисності і ризиків. Рядками цих матриць є послідовності відповідно $[q_i]_1^n$ і $[r_i]_1^n$.

Назвемо елементи множини А виборами із альтернатив. Об'єднаємо всі альтернативи у множину В і назвемо її множиною альтернатив. Нехай задані множини виборів А й альтернатив В. Потужність множини |A| = n, а множини |B| = m. Системи з нечіткими та неповністю визначеними знаннями при цьому описується матрицями $\|q_{n,m}\|$ і $\|r_{n,m}\|$. Задача чисельного опису надійності ГТС зводиться до вибору найкориснішого знання з найменшим ризиком.

Розв'язком цієї задачі є знаходження натурального числа $i \in \aleph, i \le m$. Для знаходження цього числа і необхідно ввести метрику у просторі розв'язків.

Розв'язком поставленої задачі може бути будь-яка одна з заданих альтернатив. При відображенні множини альтернатив у множину дійсних чисел кожній альтернативі можна співставити число, яке назвемо нормою нечіткого знання з невизначеністю. Для послідовності корисностей $[q_i]_1^n$ норму позначимо $|[q_i]_1^n|$. Визначаючи норму $\|[q_i]_1^n\|$ необхідно кожній альтернативі поставити у відповідність число з відрізку [0;1].

Пропонується два варіанти норми корисності: норму корисності альтернатив і норму альтернатив [6]. Для визначення норми корисності альтернатив вводимо поняття модуля корисності. Він обчислюється через скалярний добуток

$$\left|[q_i]_1^n\right| = \sqrt{\sum_j^n q_j^2} \ . \quad (4)$$

Нормою корисності альтернативи є значення модуля n-вимірного простору, розділене на максимальне значення із цих модулів:

ISSN 1993—9973. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2010. № 1(34)

$$\|a_i\| = \frac{\left|[q_j]_1^n\right|}{\max_i(\left|[q_j]_1^n\right|)}, i = 1,2,...,m. \quad (5)$$

Норма ризику альтернативи вводиться аналогічно.

При визначенні норми альтернатив порядок альтернатив, тобто номери рядків матриць корисностей і ризиків, впливають на їх значення. Як і у випадку норми корисності, норма альтернатив ставить у відповідність кожній альтернативі число з відрізку [0;1].

Альтернатива, лінійна норма якої 0, є нижньою межею розв'язків задачі. Знайти її можна методом «боягуза», яким знаходиться номер альтернативи з найменшою одинарною корисністю. Критерій цього методу за принципом крайнього оптимізму обчислюється

$$К_Б = \min_i \min_j q_{ij}, j = 1,2,...n, i = 1,2,...m. \quad (6)$$

Верхню межу розв'язків, лінійна норма якої 1, визначимо методом крайнього оптимізму. За допомогою цього методу можна знайти альтернативу з найбільшою одинарної корисністю. Критерієм знаходження такої альтернативи буде число, обчислене як

$$К_О = \max_i \max_j q_{ij}, j = 1,2,...n, i = 1,2,...m. \quad (7)$$

Лінійна норма для інших альтернатив визначається за порядком з однаковим збільшенням від нижньої до верхньої межі. Лінійна норма ризиків вводиться аналогічно.

Перспективним є використання кутової норми. Кут між альтернативою і набором максимальних корисностей станів обчислюється так:

$$\tau_a = \arccos(\frac{\sum_{j=1}^{n} q_{ij} \max_i q_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n} q_{ij}^2}\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(\max_i q_{ij})^2}}, \quad (8)$$

$$i = 1,2,..m, 0 \le \tau \le \pi.$$

Кутовою нормою $\|\tau_a\|$ m-кількості альтернатив є значення її кута у n-вимірному просторі, розділене на максимальне значення із цих кутів.

Для визначення трикутної норми альтернатив необхідно, крім верхньої межі (значення 1), і нижньої межі (значення 0), знайти ще одну альтернативу, норма якої буде мати значення 0.5. Альтернативу зі значенням норми 0.5 можна знайти методом обережного ризику.

Методом обережного ризику визначається альтернатива, яка містить найменший ризик. Трикутна норма для інших альтернатив обчислюється з однаковим збільшенням від нижньої межі до цієї альтернативи та від неї до верхньої межі також з однаковим збільшенням.

У методі обережного ризику використовується критерій, чисельне значення якого можна знайти за формулою

$$K_O = \min_i \min_j r_{ij}, \quad (9)$$

$$j = 1,2,...,n, \ i = 1,2,...,m,$$

де r_{ij} – ризики, що визначаються за формулою

$$\|r_{ij}\| = \left\|\max_i q_{ij} - q_{ij}\right\|, \ i = 1,2,...,m, \quad (10)$$

$$j = 1,2,...,n.$$

Експонентна норма альтернатив визначається за допомогою функції $en(x) = b \cdot e^{-(a\cdot(x-c))^2}$. $en(x)$ є неперервною та має один максимум і дві точки перегину, які є симетричними відносно прямої, що паралельна осі ординат і проходить через максимум.

Оскільки норма повинна мати значення із відрізку $[0,1]$, тому коефіцієнт $b = 1$. Коефіцієнт a визначаємо за допомогою точок перегину графіка $y(x)$, абсциси яких

$$x_1 = c - \frac{1}{a\cdot\sqrt{2}} \quad (11)$$

і

$$x_2 = c + \frac{1}{a\cdot\sqrt{2}}. \quad (12)$$

Коефіцієнт c є номером найкориснішої альтернативи за методом крайнього оптимізму.

Альтернатива, що відповідає точкам перегину є найкориснішою альтернативою згідно з методом обережного ризику [7]. Для знаходження коефіцієнта a використовується x_1 або x_2 залежно від того, чи номер цієї альтернативи менший, чи більший від c.

Обчислення норми для кожної із заданих альтернатив проводиться за допомогою знайденої функції. Аргументом цієї функції є номер альтернативи, а значенням – експонентна норма альтернатив.

У деяких випадках важливо провести згладжування. Використовуємо його у випадках, коли додаткова інформація про корисність альтернатив не завжди узгоджується з аксіомами теорії ймовірностей. Таку інформацію іноді називають „суб'єктивною" достовірністю. Її часто використовують для аналізу наслідків прийняття рішення. Їх, як правило, визначають на основі експертних оцінок. Проте, в ряді випадків їх можна отримати шляхом статистичних досліджень. Вважається, що чим складніша ситуація, у якій приймається рішення, тим значення коефіцієнта впевненості потрібно брати ближчим до одиниці, тобто перестраховуватися.

Згладжування [8] пропонується виконувати за допомогою критерію згладженого оптимізму-песимізму K_{GQ}. Цим зроблено спробу поєднати для аналізу найбільші та найменші корисності альтернатив. Критерій K_{GQ} цього методу іноді називають критерієм виграшу Гурвіца

$$K_{GQ} = \min_i[\lambda \max_j q_{ij} + (1-\lambda)\min_j q_{ij}], \quad (13)$$

$$j = 1,2,...,n, \ i = 1,2,...,m,$$

де λ – коефіцієнт упевненості.

Аналіз прийняття рішення [9] за критерієм ризику Гурвіца схожий на аналіз за критерієм згладженого оптимізму-песимізму. Обчислення проводяться з ризиками альтернатив, які у випадку визначення альтернатив корисностями обчислюються за допомогою критерію

$$K_{GR} = \min_i[\lambda \min_j r_{ij} + (1-\lambda)\max_j r_{ij}], \quad (14)$$

$$j = 1,2,...,n, \; i = 1,2,...,m.$$

Критерій Ходжеса-Лемана [10] дозволяє враховувати як „об'єктивну", так і „суб'єктивну" додаткову інформацію про корисність альтернатив. Критерій Ходжеса-Лемана можна записати як

$$K_{XL} = \max_i[\lambda \sum_{j=1}^{n} p_{ij} q_{ij} + (1-\lambda)\min_j q_{ij}]. \quad (15)$$

Висновок

Запропонований метод оцінювання надійності газотранспортних систем дає змогу використовувати статистичні дані, які були отримані раніше в процесі експлуатації останніх, та кількісно оцінювати поточний стан.

Література

1 Грудз В.Я. Обслуживание газотранспортных систем / В.Я.Грудз, Д.Ф.Тымкив, Е.И.Яковлев. – К.: УМКВО, 1991. – 159 с.

2 Сухарев М.Г. Оптимальное развитие систем газоснабжения / М.Г.Сухарев, Е.Р.Ставровский, В.Е.Брянских. – М.: Недра, 1981. – 294 с.

3 Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А.Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

4 Шер А.П. Согласование нечетких экспертных оценок и функция принадлежности в методе размытых множеств / А.П.Шер. – Владивосток: ДВИЦ АН СССР, 1978. – 143 с.

5 Мелихов А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А.Н.Мелихов, Л.С. Бернштейн, С.Я.Коровин. – М.: Наука, 1990. – 234 с.

6 Юрчишин В.М. Практикум з теорії прийняття рішення / В.М. Юрчишин, М.В.Крихівський, Р.І.Храбатин. – Івано-Франківськ.: Факел, 2004. – 57 с.

7 Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А.Орловський. – М.: Наука, 1981. – 206 с.

8 Трухаев Р.И. Модели принятия решений в условиях неопределенности / Р.И.Трухаев. – М.: Наука, 1981. – 258 с.

9 Информационно-вычислительные системы принятия решений / В.В.Хаджинов, В.А.Быков, И.А.Храмова., В.Т.Усачев. – К.: Наукова думка, 1993. – 140 с.

10 Ларичев О.И. Качественные методы принятия решений: Вербальный анализ решений / О.И.Ларичев, Е.М.Мошкович. – М.: Наука: Физматлит, 1996. – 207 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії 17.02.10

Рекомендована до друку професором ***Грудзом В.Я.***