

УДК 656.02:338.47

І.О.ГАВРИЛЕНКО, Т.С.СЕНЧУК

Харківський національний університет міського господарства імені О.М.Бекетова

ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ РОЗРАХУНКУ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ

Проведено обчислювальний експеримент розрахунку моделей функціональної надійності трубопровідних систем з урахуванням надійності запірної арматури трубопроводів.

Проведен вычислительный эксперимент расчета моделей функциональной надежности трубопроводных систем с учетом надежности запорной арматуры трубопроводов.

The computed experiment of models calculation for functional reliability of pipeline systems is carried out taking into account the reliability of pipeline valves.

Ключові слова: трубопровідна система, аварійно-ремонтна зона (АРЗ), моделі функціональної надійності, обчислювальний експеримент.

Моделі функціональної надійності трубопровідних систем, які одержані за допомогою аналітичного методу побудови математичних моделей для розрахунку ймовірності безперебійної поставки цільового продукту споживачам (методу АРЗ) повинні бути перевірені на відповідність. Доказ відповідності моделей стійкості функціонування трубопровідних систем підтверджує правомірність розробленого в [1] аналітичного методу і свідчить про безпомилковість проведення багатоетапної процедури побудови даних моделей.

Аналіз досліджень з даної проблеми дозволив визначити різні підходи до перевірки відповідності моделей для трубопровідних систем з різними структурами [2,3]. При різних структурах систем алгоритми, що визначають залежність стійкості поставки цільового продукту різним споживачам від відмови в системі, також є різними. Виникає необхідність у розробці автоматизованої генерації програми, що дозволяє перевіряти відповідність математичних моделей функціональної надійності систем з довільною структурою і складом трубопровідних мереж.

Метою роботи є проведення обчислювального експерименту з перевірки відповідності моделей стійкості функціонування трубопровідних систем.

Розглянемо обчислювальний експеримент розрахунку моделей функціональної надійності, враховуючи надійність запірної арматури.

Для трьох різних за структурою систем наведені графі АРЗ, що відрізнятимуться один від одного (рис. 1-3).

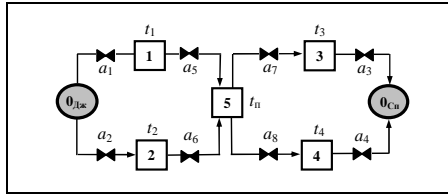


Рис. 1 – Граф АРЗ для системи двох паралельних трубопроводів, сполучених однією перемичкою з чотирма засувками

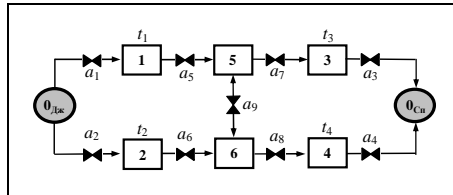


Рис. 2 – Граф АРЗ для системи двох паралельних трубопроводів, сполучених однією перемичкою з п'ятьма засувками

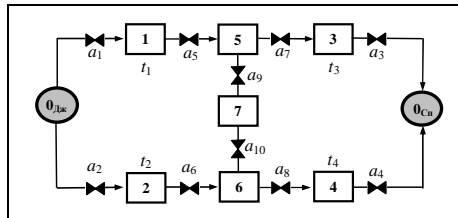


Рис. 3 – Граф АРЗ для системи двох паралельних трубопроводів, сполучених однією перемичкою з шістьма засувками

Для системи, що зображена на рис. 3, скласти однозначну розрахункову схему не має можливості. Суто мостова схема графа АРЗ стосовно 7-зони вимагає розрахунку функціональної надійності системи за допомогою теореми про повну імовірність. У даному випадку використання цієї теореми здійснюють за виразом

$$P^{f_3} = (1 - p_7) P_{AP3}^{f_3} + p_7 P_{AP3}^{f_3}, \quad (1)$$

де P^{f_3} – шукана функціональна надійність трубопровідної мережі, що зображена на рис. 3; p_7 – ймовірність безвідмовної роботи АРЗ № 7; $P_{AP3}^{f_3}$ – умовна функціональна надійність трубопровідної мережі за умови непрацездатності АРЗ № 7; $P_{AP3}^{f_3}$ – умовна функціональна надійність трубопровідної мережі за умови працездатності АРЗ № 7.

Згідно виразу (1) для розрахунку функціональної надійності системи P^{f_3} треба попередньо побудувати дві розрахункові схеми: одну – для визначення умовної функціональної надійності $P_{AP3}^{f_3}$, другу – для визначення умовної функціональної надійності $P_{AP3}^{f_3}$, та визначити їх.

Нехай трубопровідні ділянки t_i ($i=\overline{1,4}$) всіх систем на рис. 1-3 мають однакові параметри, а саме: довжина $l_i = 100$ км.; інтенсивність відмов $\lambda = 0,1$ км.-1год-1; інтенсивність відновлення $\mu_t = 365$ год⁻¹.
Хай також імовірність безвідмовної роботи p_a кожної засувки дорівнює 0,9918, а інтенсивність відновлення співпадає з інтенсивністю відновлення трубопровідних ділянок, тобто $\mu_a = \mu_t = 365$ год⁻¹.

Оскільки довжини всіх трубопровідних ділянок перемички і трубопровідних ділянок, що сполучають напірні агрегати з найближчими засувками або споживача з трубопровідною мережею, на декілька порядків менше будь-якої трубопровідної ділянки мережі t_i ($i=\overline{1,4}$), то приймаємо довжини перших рівними нулю. Тоді технічні надійності $p_5 = p_6 = p_7 = 1$ відповідно для АРЗ № 5, № 6 і № 7 дорівнюватимуть одиниці.

Підстановка у вираз (1) одиниці замість ймовірності p_7 зводить його до рівності

$$P^{f_3} = P_{AP3}^{f_3} . \quad (2)$$

З урахуванням зроблених припущень математичні моделі функціональної надійності, що генеруються методом АРЗ, матимуть вигляд:

– для системи на рис. 1 відповідно до розрахункової моделі

$$P^{f_1} = p_a^4 \left[1 - \left(1 - \frac{1+p}{2} p_a \right)^2 \right]^2 ; \quad (3)$$

– для системи на рис. 2 відповідно до розрахункової моделі

$$P^{f_2} = p_a \left[1 - \left(1 - \frac{1+p}{2} p_a \right)^2 \right]^2 \left[1 - (1 - p_a^2)^2 \right]; \quad (4)$$

– для системи на рис. 3 відповідно до розрахункової моделі та згідно з виразом (2)

$$P^{f_3} = \left[1 - \left(1 - \frac{1+p}{2} p_a \right)^2 \right]^2 \left[1 - (1 - p_a^3)^2 \right]. \quad (5)$$

У математичних моделях (3) – (5), згідно виразу

$$p = 1 - \frac{l\lambda}{\mu} = 1 - \frac{200 \cdot 0,1}{365} = 0,9452. \quad (6)$$

Тоді чисельне значення показника функціональної надійності для системи на рис. 1 відповідно до математичної моделі (3) $P^{f_1} \approx 0,9652$; для системи на рис. 2 відповідно до математичної моделі (4) $P^{f_2} \approx 0,9890$; для системи на рис. 3 відповідно до математичної моделі (5) $P^{f_3} \approx 0,9969$.

Поетапно порахуємо дані ймовірності за допомогою обчислювального експерименту.

Одна з процедур визначає кількість відмов m на запірній арматурі протягом розрахункового періоду часу T . У разі однорідності всіх засувок кількість відмов на запірній арматурі розраховують за формулою

$$m = \text{int}[365 \cdot (1 - p_a) m_a + 0,5], \quad (7)$$

де $p_a = 0,9918$ – ймовірність безвідмовної роботи засувки протягом періоду часу T ; m_a – загальна кількість засувки в системі. Кількість відмов m відповідно до (7):

Для системи на рис. 1 $m_a = 8$, набуває значення 24.

Для системи на рис. 2 $m_a = 9$, набуває значення 27.

Для системи на рис. 3 $m_a = 10$, набуває значення 30.

Дискретний характер величини m є причиною погрішності при визначенні m_a . Чим менше похибка, тим точніше результат обчислювального експерименту відповідатиме дійсному значенню P^f .

Обчислення кількості відмов m для всіх трьох систем має погрішність $\varepsilon_a = 0,23\%$. З урахуванням того, що обчислення кількості відмов n на трубопровідних ділянках здійснювалося без погрішності ($\varepsilon_r = 0\%$), а відновлення трубопровідних ділянок и запірної арматури мають однаковий термін, то загальна погрішність в експерименті визначається за формулою

$$\varepsilon_\Sigma = \frac{n \cdot \varepsilon_r + m \cdot \varepsilon_a}{n + m} \quad (8)$$

і становить:

Результати обчислювального експерименту за викладеним алгоритмом подані у вигляді таблиці і діаграми на рис. 5.

Дані в таблиці і діаграма залежності $P_{\text{ср.}}^{f_1}$ від числа експериментів n на рис. 5 свідчать про відповідність математичної моделі (3).

Аналогічні обчислювальні експерименти з перевірки відповідності були проведені для математичних моделей (4) і (5).

Результати обчислювального експерименту ОЕ-1

Кількість експ., n	$\tilde{P}_n^{f_1}$	$P_{\text{ср.}}^{f_1}$
1	0,967123	0,967123
2	0,972603	0,969863
3	0,972603	0,970776
4	0,964384	0,969178
5	0,961644	0,967671
6	0,972603	0,968493
7	0,956164	0,966732
8	0,975342	0,967808
9	0,950685	0,965906
10	0,964384	0,965753
20	0,967123	0,964795
30	0,969863	0,965571
40	0,967123	0,964863
50	0,964384	0,965205
Кількість експ., n	$\tilde{P}_n^{f_1}$	$P_{\text{ср.}}^{f_1}$
60	0,956164	0,965023
70	0,964384	0,965479
80	0,967123	0,965514
90	0,969863	0,965693
100	0,956164	0,965616
200	0,967123	0,965795
300	0,969863	0,965616
400	0,956164	0,965623
500	0,950685	0,965452

Кількість експ., n	$\tilde{P}_n^{f_1}$	$P_{\text{ср.}}^{f_1}$
600	0,967123	0,965388
700	0,967123	0,965198
800	0,961644	0,965257
900	0,964384	0,965196
1000	0,956164	0,965214
1100	0,975342	0,965275
1200	0,953425	0,965279
1300	0,980822	0,965338
1400	0,980822	0,96526
1500	0,967123	0,96514
1600	0,964384	0,965139
1700	0,961644	0,965189
1800	0,961644	0,965108
1900	0,964384	0,965045
Кількість експ., n	$\tilde{P}_n^{f_1}$	$P_{\text{ср.}}^{f_1}$
2000	0,967123	0,964974
3000	0,961644	0,964962
4000	0,972603	0,964993
5000	0,956164	0,964996
6000	0,967123	0,965065
7000	0,956164	0,965081
8000	0,964384	0,965073
9000	0,961644	0,965082
10000	0,975342	0,965133

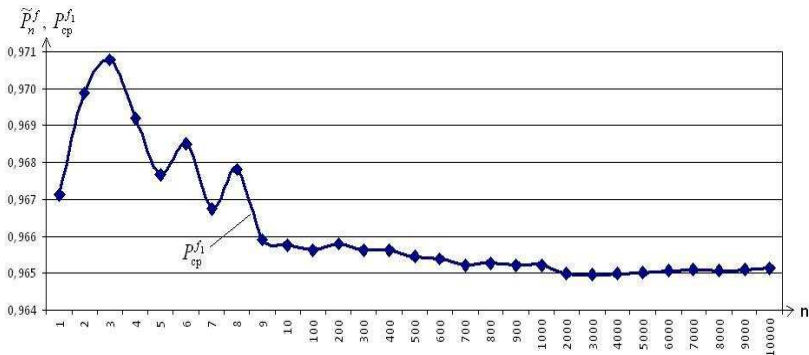


Рис. 5 – Діаграма $P_{ср}^{f_1}$ залежно від кількості експериментів n

Висновки. Таблиці результатів експериментів і відповідні діаграми свідчать про відповідність моделей (4) і (5). Незначні відхилення результатів експерименту від розрахункових значень пояснюються вимушеним округленням числа відмов на запірній арматурі до цілої величини. Для забезпечення повного збігу результатів розрахунку і експерименту необхідно так підбирати параметри системи, що беруть участь у визначенні числа відмов, щоб процедура округлення була відсутня. Проведення обчислювальних експериментів з перевірки відповідності математичних моделей, отриманих методом АРЗ, переконливо підтверджує теоретичну спроможність самого методу АРЗ й правомірність його використання для отримання математичних моделей функціональної надійності трубопроводних систем будь-якої складності.

1. Гавриленко И.А., Самойленко Н.И. Метод расчета функциональной надежности трубопроводных транспортных систем // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 2008. – № 81. – С. 176-183.

2. Беляев Ю.К. Статистические методы в теории надежности. – М.: Знание, 1978. – 66 с.

3. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. – М.: Наука, 1984. – 328 с.

Отримано 28.10.2013