

УДК 629.039.58

С.В. Ленков, доктор технічних наук, професор,
С.П. Гришин,
І.М. Плосконос

ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИКИ МЕТОДОМ РЕЗЕРВУВАННЯ

Розглянуто метод, який дає можливість шляхом вибору оптимального значення ймовірності безвідмовної роботи прогнозувати надійність безпечного функціонування технологічних систем, що дозволяє утримувати їх на належному рівні, а також підвищувати функціональну стійкість.

Ключові слова: технологічні системи, системи енергетики, енергоносії, функціональна стійкість, метод резервування, воєнна безпека стратегічних об'єктів.

Рассмотрен метод, позволяющий путем выбора оптимального значения вероятности безотказной работы прогнозировать надежность безопасного функционирования технологических систем, что позволяет удерживать их на должном уровне, а также повышать функциональную устойчивость.

Ключевые слова: технологические системы, системы энергетики, энергоносители, функциональная устойчивость, метод резервирования, военная безопасность стратегических объектов.

Method, allowing by a choice of an optimum value of the probability of non-failure operation to predict the reliability of safe technological systems functioning, is considered.

Keywords: technological systems, power systems, energy carriers, functional stability, reservation method, military safety of strategic objects.

Могутня й надійна енергетика країни є однією з головних передумов функціонування усіх сфер її діяльності, а тому стає найважливішою системою стратегічних об'єктів "відповідальності" для сфери воєнної безпеки країни. Об'єкти систем енергетики завжди відносять до об'єктів захисту ("відповідальності") найбільшої оперативно-стратегічної важливості, які є для супротивника одними з "першочергових" об'єктів знищення або захоплення. Тому забезпечення воєнної безпеки об'єктів систем енергетики (СЕ) є одним з найважливіших та першочергових завдань як держави в цілому, так і безпосередньо її Збройних сил. Вона досягається утриманням високої функціональної стійкості (надійності) "технологічної системи" (ТС) СЕ, систематичною профілактикою відмов ТС з екологічно небезпечними наслідками, захистом об'єктів СЕ від ураження засобами супротивника та швидкою ліквідацією екологічних наслідків при надзвичайних ситуаціях (НС) техногенного характеру.

Утримання функціональної стійкості ТС СЕ досягається такими заходами: структурною перебільшеністю ТС (резервуванням) щодо надійності її безпечного функціонування;

наявністю “власних” засобів контролю безпечного ходу технологічного процесу (із запобіганням аварійним режимам);

наявністю захисту ТС від небезпечних помилок та несанкціонованих дій персоналу;

модернізацією ТС щодо її безпеки;

підтриманням потрібного рівня кваліфікації персоналу, організаційних заходів і техніки воєнної безпеки.

Для технологічної системи об'єкта “системи енергетики” важливого значення набуває питання рівня конструктивних одиниць (КО), на якому доцільно застосовувати резервування. Резервування може бути “простим”, коли функцію “робочого” елемента m при його відмові оперативно бере на себе один з резервних ($m-1$) елементів. У “інформаційних” системах (обчислювальних, управління, контролю тощо) застосовується “мажоритарне” резервування, коли одночасно функціонують усі m однакових “робочих” елементів, а вихідний “функціонал” цієї системи формується “мажоритарним” елементом як результат збігу вихідних функцій більшості “робочих” елементів.

Потрібна кратність резервування підсистем ТС обґрунтовується наступним чином.

Відомо, що ймовірність безвідмовної роботи (ІБР) системи, яка є сукупністю n різнофункціональних підсистем, дорівнює

$$PS = \prod_{j=1}^n P_j, \quad (1)$$

де P_j – ІБР j -ої підсистеми. Зрозуміло, що загальне значення добутку PS буде меншим від мінімального значення множника через те, що завжди $P_j < 1, j = 1, n$. Тому бажано ІБР підсистем зробити якомога ближчими між собою (з однаковим середнім значенням P) при забезпеченні загального потрібного рівня ІБР системи в цілому, що задовольняє нерівність –

$$PS^{nomp} < \prod_{j=1}^n P = P^n. \quad (2)$$

Звідси “середнє” значення ІБР підсистем повинно бути

$$P > \sqrt[n]{PS}. \quad (3)$$

Якщо для певної підсистеми $P_j < P$, то “резервуванням” потрібно довести її ІБР до значення $P_j > P$. Відомо, що при резервуванні з кратністю m ІБР підсистеми дорівнюватиме

$$P_j^{(m)} = 1 - (1 - P_j)^m, \quad j = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Тому потрібна кратність резервування підсистеми визначається умовою

$$P \leq 1 - (1 - P_j)^m. \quad (5)$$

З даної нерівності знаходимо остаточно

$$m_j > \frac{\log(1-P)}{\log(1-P_j)}, j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Розглянемо крайні випадки рівня КО, на якому зроблено “просте” резервування – “канали” і “підсистеми” (які складають кожний “канал”).

Відомо, що при резервуванні ТС, коли вона має всього m “каналів” у складі n функціональних “підсистем” із імовірністю безвідмовної роботи (ІБР) кожного

$$p_j, j = \overline{1, n} \quad (7)$$

загальна імовірність безвідмовної роботи ТС складе

$$PS^{(k)} = 1 - \left(1 - \prod_{j=1}^n p_j\right)^m. \quad (8)$$

При m -кратному резервуванні кожної j -ої функціональної “підсистеми” в єдиному “каналі” загальна імовірність безвідмовної роботи ТС складе

$$PS^{(e)} = \prod_{j=1}^n [1 - (1 - p_j)^m]. \quad (9)$$

Аналіз даних функцій показує, що при $p_j > 0.5, j = \overline{1, n}$ (що практично завжди має місце) справедлива нерівність

$$PS^{(k)} < PS^{(e)} \quad (10)$$

за однакової вартості варіантів такої ТС.

Таким чином, рівень КО при “простому” резервуванні повинен бути можливо нижчим (бажано – на рівні “елементів”), але при цьому значно зростають труднощі технічного діагностування і відновлення здатності ТС при відмові її основних чи резервних КО “низького” рівня, ускладнюється процес переходу з основної КО на резервну через їх велику кількість. Тому резервування в ТС доцільно на нижчому рівні “змінних” КО, які при експлуатації ТС можуть бути замінені на справні зусиллями й засобами персоналу СЕ.

Для функціональної стійкості СЕ в системах управління технологічними процесами та системах контролю ТС застосовується їх мажоритарне резервування. Розглянемо особливості мажоритарного резервування в ТС.

Проаналізуємо, порівняно з одноелементною, систему з 3-х елементів, для яких “мажоритарний” принцип вибору функціонала системи полягає у збізі вихідної функції у будь-яких двох або в усіх трьох елементів.

Якщо елементи системи однакові щодо імовірності їх безвідмовної роботи взяти за p , а імовірність безвідмовної роботи мажоритарного елемента – за p^m , то ІБР системи, згідно з теорією ймовірностей та алгеброю подій, складе

$$P("2/3", "3/3") = \{3p^2(1-p) + p^3\} \cdot p^m. \quad (11)$$

Графік даної функції, залежно від рівня ІБР “робочих” елементів p та “мажоритарного” елемента p^* , показано на рис. 1.

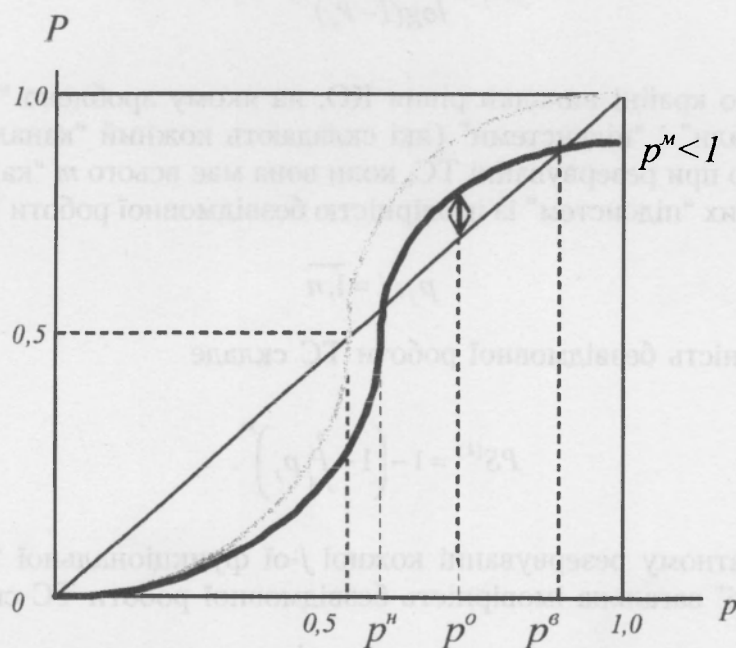


Рис.1. “Мажоритарне” резервування за принципом (“2/3”, “3/3”)

Сірим кольором показаний графік даної функції при $p^* = 1$. Легко побачити, що в цьому випадку мажоритарне резервування доцільне лише при ІБР робочих елементів $p > 0.5$, коли графік кривої $P = \{.\}$ перевищує пряму $P = p$ нерезервованої системи. Оскільки реальна ІБР мажоритарного елемента завжди $p^* < 1$, то мажоритарне резервування буде доцільне лише в діапазоні значень ІБР робочих елементів

$$p^* < p < p^e. \quad (12)$$

Зрозуміло, що “нижнє” та “верхнє” значення ІБР робочих елементів є “коренями” алгебраїчного рівняння, що відображає точки перетину кривої P (11) та прямої $P = p$ (одноканальна система)

$$\{3p^2(1-p) + p^3\} \cdot p^* = p. \quad (13)$$

Таким чином,

$$p^* = \frac{3p^* - \sqrt{9(p^*)^2 - 8p^*}}{4p^*}; \quad p^e = \frac{3p^* + \sqrt{9(p^*)^2 - 8p^*}}{4p^*}. \quad (14)$$

Існує таке (оптимальне) значення ІБР робочого елемента, при якому “виграш” мажоритарного резервування (перевищення ІБР системи ІБР елемента) є максимальним; знайдемо його з очевидного рівняння –

$$P\{2/3, 3/3\} - p = \{3p^2(1-p) + p^3\} \cdot p^n - p = \Delta. \quad (15)$$

Умовою максимуму різниці Δ є рівняння нулю її похідної за p –

$$\frac{d\Delta}{dp} = -(6p^n)p^2 + (6p^n)p - 1 = 0 \quad (16)$$

Рішенням даного алгебраїчного рівняння і є “оптимальне” значення ІБР робочого елемента для заданого значення ІБР мажоритарного елемента –

$$p^o = \frac{-6p^n - \sqrt{36(p^n)^2 + 24p^n}}{-12p^n} \quad (17)$$

Існує також мінімальне значення для ІБР “мажоритарного” елемента: коли мажоритарне резервування доцільне; воно надається очевидною умовою, коли “верхнє” й нижнє “значення” інтервалу (14) дорівнюють одне одному, тобто збігаються у “точці дотику” кривої “троїрованої” системи $P(3)$ до прямої $P(1)=p$ нерезервованої системи. Із (14) випливає, що

$$p^n = p^o \quad (18)$$

за умови рівняння нулю виразу під коренем для даних ІБР –

$$9(p^n)^2 - 8p^n = 0. \quad (19)$$

Остаточно –

$$p^n = 8/9 = 0.(8). \quad (20)$$

Розглянутий у роботі метод дає можливість шляхом вибору оптимального значення імовірності безвідмовної роботи прогнозувати надійність безпечного функціонування технологічних систем, що дозволяє утримувати на належному рівні, а також підвищувати функціональну стійкість системи енергетики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Ленков С.В.* Надійність системи неперервного використання з часовим і структурним резервуванням / С.В. Ленков, Б.П. Креденцер, В.В. Вишнівський, А.В. Краснік // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. – 2006. – № 13. – С. 65–68.
2. *Креденцер Б.П.* Модели технического обслуживания систем с избыточностью: Монография / Б.П. Креденцер, С.В. Ленков, М.И. Резников, В.В.Зубарев. – К. : Фенікс, 2002. – 192 с.
3. *Невольніченко А.І.* Проблематика управління сферою воєнної безпеки / А.І. Невольніченко, В.І. Шарий // Наука і оборона. – 2000. – № 1. – С. 52–65.
4. *Качинський А.Б.* Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи / А.Б. Качинський. – К. : Інститут проблем національної безпеки, 2004. – 204 с.

Отримано 13.10.2011