

УДК 004.65

В. В. СОБЧУК, канд. фіз.-мат. наук, доцент,
Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк;

А. П. МУСІЄНКО, канд. фіз.-мат. наук, доцент;

О. Ю. ІЛЬІН, доктор техн. наук, професор,
Державний університет телекомунікацій, Київ;

О. Й. МАЦЬКО, канд. техн. наук, професор,
Національний університет оборони імені І. Черняхівського, Київ

Методика оцінювання якості функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством з ієрархічною організацією засобів забезпечення функціональної стійкості

Запропонована методика оцінювання якості функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством з ієрархічною організацією засобів забезпечення функціональної стійкості дозволяє визначати доцільність функціонально стійкого проекту всієї системи порівнянням витрат на його здійснення з очікуваним позитивним ефектом (за показником середнього напрацювання об'єкта на повну відмову); виявляти слабкі місця в ієрархічно організованих засобах забезпечення функціональної стійкості, які, у свою чергу, також знижують загальну надійність об'єкта; правильно використовувати додаткові ресурси для подальшого підвищення ймовірності безвідмовної роботи.

Ключові слова: функціональна стійкість; автоматизована система управління підприємством; зовнішні і внутрішні дестабілізуючі фактори.

Вступ

Нині складні технічні системи виконують різні функції. До таких систем належать, зокрема, системи автоматичного управління підприємством. Вони функціонують під впливом зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів. Через негативний вплив останніх частини системи можуть виходити з ладу. За цих умов забезпечити безперервне автономне функціонування автоматизованих систем управління підприємством можливо завдяки забезпеченню властивості функціональної стійкості. Під *функціональною стійкістю об'єкта* розуміється його властивість зберігати протягом заданого часу здатність до виконання своїх основних функцій у межах, установлених нормативними вимогами, за умов впливу потоків відмов, несправностей, збоїв [1]. Уперше поняття функціональної стійкості складних технічних систем упровадив професор О. А. Машков [1]. Сутність принципів функціональної стійкості систем полягає у збереженні здатності до виконання функцій усією системою, можливо, зі зниженням якості, при дії на неї внутрішніх (відмови, збої) і зовнішніх (умисні uszkodження, помилки обслуговуючого персоналу) впливів. Як відомо, структура автоматизованої системи управління підприємством є динамічно змінюваною у процесі виявлення і усунення фактів порушення функціонування підсистем. При цьому функціонування всієї системи не порушується, і вона постійно виконує свої основні функції, хоча, можливо, зі зниженням якості за рахунок зменшення надмірності при реструктуризації. Для кінцевих користувачів події з настання відмов і процес відновлення залишаються непомітними.

Аналіз публікацій

Дослідження показали, що функціональна стійкість інформаційної системи поєднує властивості надійності (безвідмовності), відмовостійкості і живучості. Реалізація функціональної стійкості досягається за рахунок використання у складній технічній системі різних уже існуючих видів надмірності (інформаційної, функціональної, структурної, часової, навантажувальної тощо) шляхом перерозподілу ресурсів із метою парирування наслідків позаштатних ситуацій. Принциповим є те, що на етапі проектування не повинна вводитися додаткова надмірність, а парирування наслідків позаштатних ситуацій здійснюється перерозподілом наявних ресурсів. Проблема полягає у виявленні вже існуючої надмірності та формуванні сигналів у потрібний момент її перерозподілу [2]. У цьому полягає основна відмінність задачі щодо забезпечення функціональної стійкості від задачі з побудови структурно надмірних систем.

Вирішенню проблеми забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем присвячено низку наукових праць таких учених, як О. А. Машков, О. В. Барабаш, Ю. В. Кравченко, С. М. Неділько, Д. М. Обідін та ін. Проте широке їх використання в практичних задачах оцінювання функціональної стійкості різних варіантів побудови складних технічних систем стикається з труднощами за багатьох причин.

Мета статті

Розробити методику оцінювання якості функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством з ієрархічною організацією засобів забезпечення функціональної стійкості.

© В. В. Собчук, А. П. Мусієнко, О. Ю. Ільїн, О. Й. Мацько, 2018

Основний матеріал

Поняття ієрархії стосується процесів ухвалення складних рішень. Такі рішення характеризуються, з одного боку, необхідністю негайних дій, а з другого — такою самою необхідністю, перш ніж приступити до дій, спробувати якомога краще зрозуміти ситуацію. При використанні ієрархічного підходу складна проблема ухвалення рішення розбивається на сімейство послідовно розташованих простіших підпроблем. Розбиття виконується так, що вирішення всіх підпроблем дозволяє розв'язати і початкову проблему. Така ієрархія називається *ієрархією шарів ухвалення рішень*, а вся система ухвалення рішень — *багат шаровою системою* (ухвалення рішень). Ієрархія шарів є сукупністю вертикально розташованих вирішувальних підсистем S_i [3; 4].

Кожна з таких підсистем може бути, по-перше, описана як відображення $S_i : G_i \rightarrow G_{i-1}$, а по-друге, подана у вигляді вирішувального елемента. При цьому самі задані множини вирішуваних завдань $D_i(\gamma_i)$, $\gamma_i \in G_i$, і перетворення T_i , такі, що для будь-якого входу γ_i вихід $\gamma_{i-1} = S_i(\gamma_i)$ визначається функцією $\gamma_{i-1} = T(x_i)$, де x_i — рішення задачі $D_i(\gamma_i)$.

Отже, входи γ_i виступають параметрами (що задаються безпосередньо елементом, котрий перебуває на вищому рівні ієрархії), тих, що конкретизують вирішувані завдання в S_i ; відповідно виходи γ_{i-1} перетворення T_i , що виникають після застосування, є, у свою чергу, параметрами, які задаються безпосередньо елементу, що перебуває на нижчому рівні.

Особливістю формального опису організаційної ієрархії є необхідність якомога точнішого визначення взаємодії підсистем по вертикалі. В ієрархії, утвореній зі страт, або шарів, на кожному рівні формально перебуває один елемент. А в ешелонній ієрархії на цьому рівні, як правило, міститься кілька елементів. У такому разі стає особливо важливим правильне взаємне розташування елементів системи відповідно до пріоритету дії.

Якщо Ξ — (скінченне) сімейство систем S_i , $i \in I$, де I — скінченна множина значень індексу i , а $>$ частково (але строго) упорядковує відношення в I , тоді $(\Xi >)$ називається *ієрархією систем*. Якщо ж $(\Xi >)$ — ієрархія вирішувальних систем (систем ухвалення рішень), а відношення $>$ таке, що $i > j$, коли S_i має пріоритет дії щодо відношення S_j , то $(\Xi >)$ називається *ієрархічною схемою*, або просто *ієрархією ухвалення рішень*.

Виділення ешелонів в ієрархії ухвалення рішень легко здійснюється за допомогою строгого (часткового) відношення порядку $>$, дії, що описує пріоритет. Таким чином, маємо: перший ешелон становлять мінімальні елементи з Ξ ; сімейство $\Xi^1 = \{S_i : i \in I_1 \subset I\}$ називається *першим ешелоном*, якщо $I_1 = \{i : i \text{ — мінімальний елемент в } \Xi\}$. Аналогічна множина $\Xi^k = \{S_i : i \in I_1 \subset I\}$ називається *k-м ешелоном*, якщо $I_k = \{i : i \text{ — мінімальний елемент множини } I - [I_1 \cup I_2 \cup \dots \cup I_{k-1}]\}$.

Якщо кожний ешелон містить не більш ніж один елемент, то маємо *багат шарову ієрархію* за умови, що впорядкування за допомогою відношення $>$ визначено належним чином.

Багатоешелонні ієрархії можна визначити як підклас ієрархій ухвалення рішень.

Ієрархія ухвалення рішень $(\Xi >)$ є багатоешелонною ієрархією, якщо для будь-яких i та $j \in I$ існує не більш як одне $k \in I$, таке, що для будь-якого $i \in I$ співвідношення $l > i$ та $l > j$ тягнуть за собою $l > k$. Ця умова означає, що для будь-якого члена ієрархії Ξ в ешелоні, розташованому безпосередньо над ним, знайдеться принаймні один елемент, котрий має пріоритет дії щодо нього. Багатоешелонну ієрархію можна інтерпретувати так.

Якщо відношення $>$ таке, що $i > j$ тоді і тільки тоді, коли S_j є підсистемою S_i , то утворюється *стратифікована система*, тобто така, що системи нижнього рівня є підсистемами систем, розташованих на рівнях, розмішених вище.

Багаторівневі структури дозволяють для вирішення завдання, що постає перед усією системою в цілому, використати сукупності елементів, кожний з яких окремо не в змозі вирішити це завдання. Тоді глобальне завдання розбивається на частинні завдання, розв'язання яких відбувається за допомогою групових зусиль.

Для опису реальних складних систем можуть використовуватися всі три поняття рівнів, кожний з яких має свою сферу застосування, а саме: концепція страт уводиться для моделювання, концепція шарів — для вертикальної декомпозиції проблеми на підпроблеми, а концепція ешелонів стосується взаємного зв'язку між системоутворюючими елементами ухвалення рішення; випадок, коли застосовується тільки одна з концепцій, швидше виняток, ніж правило. Приклади взаємодії цих концепцій при опису складних систем розглянуто в [5; 6].

Рівень 1 визначає, які функції з обробки даних виконує система в цілому. Над цим рівнем розташовано «зовнішній світ» (користувачі, оператори тощо), з яким рівень 1 взаємодіє за допомогою засобів діалогу (мови спілкування із системою, команд оператора та ін.).

Рівень 2 визначає мови застосовних програм, які сприймаються системою. Для мовних процесорів написані програми, у свою чергу, є «зовнішнім світом». Транслятори цих мов взаємодіють із нижчими рівнями програмного забезпечення.

Рівень 3 (управління логічними ресурсами) виконує завдання управління файлами, віртуальною пам'яттю тощо.

Рівень 4 (управління фізичними ресурсами) включає в себе функції управління зовнішньою і оперативною пам'яттю, а також процесами керування завданнями, чергами, синхронізацією тощо.

До **рівня 5** можна віднести мікропрограмне управління, використання логічних схем, процесорів, тобто безпосередньо мікропроцесорну та апаратну частини обчислювальної системи.

Якщо йти далі в розгляді рівнів ієрархії, то функції апаратури слід поділяти в такий спосіб: контролери введення-виведення (**рівень 6**), облаштування введення-виведення (**рівень 7**), пам'ять (**рівень 8**) і власне процесор (**рівень 9**). Функції процесора можуть, у свою чергу, бути поділені між співпроцесорами та іншими процесорами в мультипроцесорній системі.

Властивість функціональної стійкості збільшує надійність автоматизованої системи управління підприємством під час її роботи за призначенням. Тому під **якістю** слід розуміти різницю між показниками, які підвищують надійність функціонально стійкої системи порівняно з аналогічною системою того самого функціонального призначення, яка не використовує засобів забезпечення функціональної стійкості.

У цій статті розробляється методика оцінювання якості функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством, якщо відома ієрархічна структура, відповідно до якої побудовано цю систему.

Якість системи оцінюватиметься ймовірністю її безвідмовної роботи.

Нехай на рівні i ієрархії засобів забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством виконуються s різних функцій для забезпечення функціональної стійкості F_s^i , загальна кількість яких дорівнює $R^i (s = 1, \dots, R^i)$.

При цьому кожна з функцій F_s^i має множину альтернатив $f_{l_s}^i$, де $l_s = 1, \dots, R_s^i$ — загальна кількість альтернатив виконання F_s^i . Кожна з альтернативних функцій $f_{l_s}^i$ виконується на множині аргументів $f_{l_s}^i(j) (j = 1 \dots A_{l_s}^i)$, де $A_{l_s}^i$ — кількість аргументів функції $f_{l_s}^i$. Виконання $f_{l_s}^i$ триває протягом $\Delta t_{l_s}^i$ з ймовірністю $P(f_{l_s}^i)$ і завершується успішно.

Визначення $P_{l_s}^i$ безпомилковості алгоритму виконання функції $f_{l_s}^i$ вимагає пояснень. Річ у тім, що точне її визначення пов'язане з труднощами. У принципі, її потрібно розглядати як нечітку величину, залежну від надійності носіїв програмного коду [7], а також від якості тестування та відповідності вхідних даних специфікаціям програмного продукту. Деякі автори пропонують оцінювати надійність програмного забезпечення щодо тієї частини вхідних наборів даних, на яких програмний продукт був тестований стосовно загальної кількості можливих вхідних наборів даних [8]. Надалі передбачається, що в якийсь спосіб значення $P_{l_s}^i$ було визначено і воно відоме.

Ймовірність успішного обчислення $f_{l_s}^i$ визначається як ймовірність настання спільної події:

$P(f_{l_s}^i) = \{ \text{ймовірність доступності всіх } x_{l_s}^i(j) | j = 1 \dots A_{l_s}^i \text{ протягом } \Delta t_{l_s}^i \text{ починаючи з моменту } t_{l_s}^i \text{ за умови, що алгоритм функції безпомилковий} \}$.

Ймовірність доступності аргументів під час обчислення $f_{l_s}^i$ дорівнює добутку

$$P_{t_0}(x_{l_s}^i) \cdot P_{\Delta t}(x_{l_s}^i),$$

де $P_{t_0}(x_{l_s}^i)$, $P_{\Delta t}(x_{l_s}^i)$ — відповідні ймовірності доступності аргументу $x_{l_s}^i$ у момент початку обчислення функції $f_{l_s}^i$ та протягом виконання її алгоритму.

Якщо ймовірність безпомилковості алгоритму функції f не залежить від доступності аргументів (незалежні події), то шукана ймовірність спільної події визначається як

$$P(f_{l_s}^i) = P_{l_s}^i \cdot \prod_{j=1}^{A_{l_s}^i} \{ [P_{t_0}(x_{l_s}^i(f))] \cdot P_{\Delta t}(x_{l_s}^i(j)) \}.$$

Ймовірність успішного обчислення функції F_s^i дорівнює ймовірності успішного обчислення принаймні однієї з її альтернатив. Отже, успішне обчислення функції F_s^i як складної події є об'єднання подій «успішне обчислення альтернативної функції $f_{l_s}^i$ » для всіх R_s^i можливими альтернативами функції F_s^i . Ймовірність такої спільної події буде визначатись за формулою

$$P(F_s^i) = R \sum_{l_s=1}^{R_s^i} P(f_{l_s}^i) - \sum_{l_s=1}^{R_s^i-1} \sum_{j_s=l_s+1}^{R_s^i} P(f_{l_s}^i) \cdot P(f_{j_s}^i) + \sum_{l_s=1}^{R_s^i-2} \sum_{j_s=l_s+1}^{R_s^i-1} \sum_{k_s=l_s+1}^{R_s^i} P(f_{l_s}^i) \cdot P(f_{j_s}^i) \cdot P(f_{k_s}^i) + \dots + (-1)^{R_s^i-1} \cdot \prod_{l_s=1}^{R_s^i} P(f_{l_s}^i).$$

Цю ймовірність слід помножити на ймовірність успішного виконання «диспетчера» функції F_s^i , який і «відповідальний» за правильний вибір альтернативного варіанта, і т. д.

Таким чином, у рамках зроблених припущень про існування перерахованої ймовірності, використовуючи викладену методику, можна визначити ймовірність успішного обчислення довільної функції F_s^i рівня i ієрархії засобів забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством.

Оскільки функції рівня i виступають сервісними послугами для рівня, тобто є аргументами для функцій рівня $i + 1$, то, застосовуючи запропоновану методику для функцій рівня $i + 1$, можна визначити ймовірність успішного обчислення будь-якої функції цього рівня.

Практичне значення

Використання отриманої методики дозволить:

- по-перше, порівняти отримані значення ймовірності для функціонально стійкого варіанта системи з функціонально нестійким варіантом і зіставити отриманий ефект від використання засобів забезпечення функціональної стійкості з витратами на отримання цього ефекту, аби прийняти або відкинути проект функціонально стійкої системи. Якщо існує кілька альтернатив, то можна порівняти їх між собою і вибрати оптимальний варіант щодо витрат і отримуваного позитивного ефекту;
- по-друге, виявити слабкі місця в засобах забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством, а також оптимальні витрати наявних запасів ресурсів на отримання позитивного ефекту стосовно функціональної стійкості.

Висновки

При аналізі і синтезі складних технічних систем, таких як автоматизовані системи управління підприємством, доцільно використовувати ієрархічний підхід. Його застосування з метою забезпечення функціональної стійкості дозволяє досягати компромісу між простотою опису процедур і необхідністю врахування численних чинників, що впливають на функціонування автоматизованої системи управління підприємством.

Запропонована методика щодо оцінювання якості функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством з ієрархічною організацією засобів забезпечення функціональної стійкості дозволяє:

- ◆ визначати доцільність функціонально стійкого проекту всієї системи шляхом зіставлення витрат на його здійснення з очікуваним позитивним ефектом (за показником середнього напрацювання об'єкта на повну відмову);
- ◆ виявляти слабкі місця в ієрархічно організованих засобах забезпечення функціональної стійкості, які, у свою чергу, також знижують загальну надійність об'єкта;
- ◆ правильно використовувати додаткові ресурси для подальшого підвищення ймовірності безвідмовної роботи об'єкта.

Список використаної літератури

1. *Mashkov V. A., Barabash O. V. Self-checking and Self-diagnosis of Module Systems on the Principle of Walking Diagnostic Kernel // Engineering Simulation. Amsterdam: OPA, 1998. Vol. 15. P. 43–51.*
2. *Саланда І. П., Барабаш О. В., Мусієнко А. П. Система показників та критеріїв формалізації процесів забезпечення локальної функціональної стійкості розгалужених інформаційних мереж // Системи управління, навігації та зв'язку. 2017. Вип. 1 (41). С. 122–126.*
3. *Мусієнко А. П., Саланда І. П., Барабаш О. В. Методи пошуку оптимальних маршрутів графа структури розгалуженої інформаційної мережі за заданим критерієм оптимальності при різних обмеженнях // Наукові записки УНДІЗ. 2016. №2 (42). С. 99–106.*
4. *A decision tree in a classification of fire hazard factors / N. Pashynska, V. Snytyuk, V. Putrenko, A. Musienko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. № 5/10(83). P. 32–37.*
5. *Забезпечення функціональної стійкості інформаційних мереж на основі розробки методу протидії DDoS-атакам / А. П. Мусієнко, О. В. Барабаш, Н. В. Лукова-Чуйко, В. В. Собчук // Сучасні інформаційні системи. 2018. Т. 2. № 1. С. 56–64.*
6. *Аналіз застосування мереж Петрі для підтримки функціональної стійкості інформаційних систем / А. П. Мусієнко, О. В. Барабаш, Н. В. Лукова-Чуйко, О. Ю. Ільїн // Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2018. № 1 (58). С. 11–18.*
7. *Diagnostic model of wireless sensor network based on the random test of checks / A. P. Musienko, O. V. Barabash, N. V. Lukova-Chuiko, I. P. Salanda // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. Issue 158, Budapest, Hungary, 2018. VI (18). P. 25–28.*
8. *Information Technology of Targeting: Optimization of Decision Making Process in a Competitive Environment / A. Musienko, O. Barabash, G. Shevchenko [et al.] // International Journal of Intelligent Systems and Applications. Hong Kong: MECS Publisher, 2017. Vol. 9, № 12. P. 1–9.*

Рецензент: доктор техн. наук, професор **Ю. В. Кравченко**, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ.

В. В. Собчук, А. П. Мусиенко, О. Ю. Ільїн, А. І. Мацько

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Предложенная методика по оценке функциональной устойчивости автоматизированной системы управления предприятием с иерархической организацией средств обеспечения функциональной устойчивости позволяет определить целесообразность функционально устойчивого проекта всей системы путем сопоставления затрат на его осуществление с ожидаемым положительным эффектом (по показателю средней наработки объекта до полного отказа) выявлять слабые места в иерархически организованных средствах обеспечения функциональной устойчивости, которые, в свою очередь, также снижают общую надежность объекта; правильно использовать дополнительные ресурсы на дальнейшее повышение вероятности безотказной работы.

Ключевые слова: функциональная устойчивость; автоматизированная система управления предприятием; внешние и внутренние дестабилизирующие факторы.

V. V. Sobchuk, A. P. Musienko, O. Yu. Ilyin, O. I. Matsko

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITY OF FUNCTIONAL STABILITY OF THE AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEM OF THE ENTERPRISE WITH THE HIERARCHICAL ORGANIZATION OF MEANS OF ENSURING FUNCTIONAL STABILITY

When analyzing and synthesizing complex technical systems, such as automated enterprise management systems, it is advisable to apply a hierarchical approach. Its application to providing functional stability allows us to reach a compromise between the simplicity of describing procedures and the need to account for numerous factors that affect the functioning of an automated enterprise management system.

The proposed methodology for evaluating the quality of functional stability of an automated enterprise management system with the hierarchical organization of means of providing functional stability allows:

- to determine the expediency of a functionally sustainable project of the whole system by comparing the costs of its implementation with the expected positive effect (on average of the object before the complete failure);

- to identify weaknesses in hierarchically organized means of ensuring functional stability, which, in turn, also reduce the overall reliability of the object;

- it is right to use additional resources to further increase the probability of failure-free operation.

Keywords: functional stability; automated enterprise management system; external and internal destabilizing factors.

УДК 621.372.852

О. В. БАРАБАШ, доктор техн. наук, професор;

Н. О. ЛІЩИНОВСЬКА, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ;

Ю. П. БОЙКО, канд. техн. наук, доцент,

Національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ДОБРОТНОСТІ РЕЗОНАТОРА НЕРЕГУЛЯРНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕДАВАННЯ

У наближенні малих втрат отримано аналітичні вирази для визначення добротності резонаторів на основі нерегулярних ліній передавання. У результаті дослідження з'ясовано, що завдання синтезу резонатора полягає у визначенні такого закону розподілу сумарних втрат в діелектрику і провідниках, а також такого закону зміни хвильового опорного вздовж лінії, при яких значення добротності буде максимальне.

Ключові слова: добротність резонатора; нерегулярні лінії передавання; селективні властивості; спектр частот; електромагнітне поле; хвильовий опір; крутизна схилів.

Вступ

Резонатори є найважливішим елементом селективних пристроїв, що визначають основні характеристики телекомунікаційних систем. Одним із головних параметрів резонансних систем, як відомо, є добротність, що характеризує селективні властивості резонаторів і визначає крутизну схилів амплітудно-частотної характеристики фільтруючих пристроїв, побудованих на їх основі.

Аналіз дослідження. Одним із напрямків підвищення селективних властивостей резонаторів є збільшення їх добротності завдяки зниженню втрат і використанню ліній зі змінним за довжиною хвильовим опором (нерегулярних ліній). Проте під час використання нерегулярних ліній із втратами виникає проблема з визначенням добротності таких резонаторів, оскільки точного розв'язку телеграфних рівнянь для нерегулярних ліній не існує, є лише точні розв'язки для окремих випадків [1–3] (лінія

© О. В. Барабаш, Н. О. Ліщиновська, Ю. П. Бойко, 2018