Міністерство освіти і науки України

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

ПАВЛИК ГАННА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 681.32

МЕТОДИ ФОРМАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі авіаційних приладів та вимірювань Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут" Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Кошовий Микола Дмитрович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
завідувач кафедри авіаційних приладів та вимірювань

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Дербунович Леонід Вікторович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри автоматики та управління в технічних системах

кандидат технічних наук, доцент
Шкіль Олександр Сергійович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
доцент кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки

Захист відбудеться “27” січня 2015 р. о 12.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий “24” грудня 2014 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради І.Г. Ліберг

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Комп'ютерні системи знаходять широке застосування в різних галузях науки і техніки при побудові систем керування, регулювання, передачі та обробки дискретної інформації. Для забезпечення необхідного рівня якості їх функціонування і надійності застосовуються різні підходи: вдосконалення існуючих та організація принципово нових систем, їх апаратних і програмних засобів, створення алгоритмічного, апаратно-програмного, контрольно-діагностичного забезпечення, розробка та застосування методів і засобів функціонального і тестового діагностування на етапах проектування, виготовлення та експлуатації комп'ютерних систем і їхніх компонентів.

У розвиток теорії діагностування об'єктів істотний внесок внесли вчені В.Л. Гуляєв, В.В. Карибський, А.С. Кулік, П.П. Пархоменко, Є.С. Согомонян, І.А. Чегис, С.В. Яблонський, Р. Беннетс, Р. Глас, Г. Уільямс та ін., які розробили теоретичні основи створення і вдосконалення високоефективних технічних і програмних компонентів комп'ютерних систем.

У сфері виробництва та експлуатації комп'ютерних систем значну роль відіграє технічна діагностика. Інформація, що одержується за допомогою засобів діагностики про справність пристроїв, місце та причини відмов дозволяє встановити прямі й зворотні зв'язки керування якістю та надійністю технічної системи, що експлуатується. Для скорочення строків проектування засобів діагностування бажано мати стандартні рішення з організації ефективних процесів перевірки комп'ютерних систем і їхніх компонентів. Сучасні методи діагностування орієнтовані на порівняно вузькі класи дискретних пристроїв, що потребує розробки нових методів й засобів забезпечення ефективності, надійності, контролю, діагностики, а також проектування високоефективних, надійних, придатних для контролю та діагностики комп'ютерних систем та мереж, їх пристроїв та компонентів.

Таким чином, науково-прикладна задача щодо розробки методів формального перетворення діагностичних моделей в автоматизованих системах контролю є актуальною та визначила напрямок досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі авіаційних приладів та вимірювань Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» відповідно до планів держбюджетних робіт МОН України: «Енергоефективні і ресурсозберігаючі технології та засоби моделювання і перетворення процесів та енергоносіїв літальних апаратів і паливно-енергетичних комплексів» (№ ДР 0109U001089); «Методологія проектування елементів та інформаційно-вимірювальних систем контролю параметрів авіаційних двигунів і промислових паливно-енергетичних комплексів» (№ ДР 0111U001072), в яких здобувач була виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності контролю і діагностування шляхом розробки методів формального перетворення діагностичних моделей в автоматизованих системах контролю за рахунок вибору оптимальної структури контрольно-діагностичного забезпечення.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

1) розробити метод функціонального контролю комбінаційних пристроїв;

2) удосконалити метод конструктивного перерахування діагностичних моделей за рахунок класифікації та генерації типових представників;

3) розробити спосіб вибору структури схеми функціонального контролю;

4) удосконалити спосіб оцінки ефективності схем функціонального контролю за рахунок аналізу множини типових комбінаційних пристроїв;

5) розробити програмно-апаратні засоби комп'ютерної автоматизації розробки діагностичного забезпечення;

6) застосування результатів досліджень при розробці контрольно-діагностичного забезпечення автоматизованих систем контролю.

Об'єкт дослідження – процес контролю і діагностики дискретних пристроїв.

Предмет дослідження – методи, моделі та програмно-апаратні засоби розробки схем функціонального контролю комбінаційних пристроїв.

Методи дослідження. Теоретичні аспекти роботи ґрунтуються на комплексному використанні методів дискретної математики, комбінаторики, математичної логіки. Для побудови схем функціонального контролю комбінаційних пристроїв застосовуються комбінаторний аналіз, булева алгебра. При виборі структури схеми функціонального контролю використовуються теорія графів, комбінаторний аналіз, булева алгебра. Для конструктивного перерахування діагностичних моделей використовується теорія чисел, теорія множин. При оцінці ефективності схем функціонального контролю застосовується булева алгебра, комбінаторний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів:

вперше одержано:

- метод функціонального контролю комбінаційних пристроїв, заснований на формуванні множини перевірок і їхніх формальних перетворень, що дозволяє будувати засоби контролю без перебору варіантів;

- спосіб вибору структури схеми функціонального контролю, заснований на алгебраїчних перетвореннях логічних функцій виявлення помилок і формуванні каталогів типових варіантів побудови схем контролю, що дозволяє визначати структуру з мінімальною вартістю;

удосконалено:

- метод конструктивного перерахування діагностичних моделей, заснований на їхній класифікації, виборі інваріанта і генерації типових представників, що дозволяє створювати каталоги типових представників за допомогою комплексу комп'ютерних програм;

- спосіб оцінки ефективності схем функціонального контролю, заснований на аналізі множини типових комбінаційних пристроїв, що скорочує кількість варіантів, що розглядаються.

Практичне значення одержаних результатів для приладобудівної галузі полягає в розробці математичних моделей і методів ефективного виявлення несправностей, в удосконаленні засобів контролю технічних систем на основі діагностичних моделей. Розроблені методи та програмно-апаратні засоби дозволяють автоматизувати процес розробки діагностичного забезпечення

(формування діагностичних моделей, побудова контрольних та діагностичних тестів, створення каталогів типових схем контролю), скоротити строки розробки і підвищити його якість за рахунок формування мінімальних тестових послідовностей та спрощення схеми контролю.

Результати дисертації впровадженні на:

- Харківському державному авіаційному виробничому підприємстві (ХДАВП), (м. Харків). Впроваджені "Автоматизовані системи контролю" (патенти України №№ 21000, 21379), комп'ютерні програми "Програма синтезу контрольних тестів" (Свід. про реєстрацію № 9115 від 29.12.2003), "Програмне забезпечення автоматизованої системи контролю" (Свід. про реєстрацію № 20591 від 21.05.2007) для автоматизації процесу розробки й проведення контрольних тестів автоматизованих систем контролю;
- ПрАТ "Авіаконтроль" (м. Харків) впроваджено алгебраїчний метод побудови діагностичних моделей комбінаційних схем, метод побудови мінімального діагностичного тесту. Застосування розроблених методів дозволило скоротити час побудови діагностичного забезпечення та підвищити достовірність отриманих результатів;
- у навчальному процесі кафедри авіаційних приладів та вимірювань Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» в дисциплінах «Контроль і діагностика засобів вимірювальної техніки», «Інформаційно-діагностичні системи».

Особистий внесок здобувача. Основні результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Серед них: метод функціонального контролю комбінаційних пристроїв, заснований на формуванні множини перевірок і їхніх формальних перетворень; спосіб вибору структури схеми функціонального контролю, заснований на алгебраїчних перетвореннях логічних функцій виявлення помилок і формуванні каталогів типових варіантів побудови схем контролю; метод конструктивного перерахування діагностичних моделей, заснований на їхній класифікації, виборі інваріанта і генерації типових представників; спосіб оцінки ефективності схем функціонального контролю, заснований на аналізі множини типових комбінаційних пристроїв; спосіб оцінки мінімального числа необхідних перевірок; алгоритмічне забезпечення систем технічного діагностування; процедури та програмні модулі побудови контрольних тестів; структура системи контролю та алгоритм її функціонування.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися і обговорювалися на: Міжнародних науково-технічних конференціях «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні - ІКТМ» (м. Харків, 2004 – 2008 р.); І Міжнародній науково-практичній конференції «Науковий потенціал світу «2004» (м. Дніпропетровськ, 2004 р.); VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Наука і освіта – 2005» (м. Дніпропетровськ, 2005 р.); Міжнародних науково-практичних конференціях «Наукові дослідження - теорія та експеримент» (м. Полтава, 2005, 2007-2010 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Дні науки «2005» (м. Дніпропетровськ, 2005 р.); Міжнародних науково-практичних конференціях «Розвиток наукових досліджень» (м. Полтава, 2005, 2007, 2008 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено в 27 наукових публікаціях, з них: 4 статті в наукових фахових виданнях України, 4 статті в закордонних періодичних фахових виданнях, 5 патентів України, 8 свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерна програма), 5 публікацій у матеріалах конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 174 сторінки, з них 39 рисунків по тексту, 6 рисунків на 4 окремих сторінках, 48 таблиць по тексту, 12 таблиць на 9 окремих сторінках, 178 найменувань використаних науково-технічних джерел на 20 сторінках, 2 додатки на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано її мету і задачі, визначено об’єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

У першому розділі проведено аналіз методів та засобів забезпечення відмовостійкості та живучості комп'ютерних систем та компонентів, концепції розвитку та методи проектування контрольно-діагностичного забезпечення.

Аналіз забезпечення відмовостійкості і живучості показав, що одним із найбільш ефективних шляхів є застосування технічного діагностування. Основними задачами контролю і діагностики є розробка методів і способів побудови алгоритмів контролю й діагностики; оцінка складності контролю і діагностики; розробка контролепридатних систем.

Зараз використовуються два основні підходи до діагностування комп'ютерних систем та компонентів: функціональне і тестове діагностування. При тестовому діагностуванні для перевірки справності роботи схема переводиться в тестовий режим, на її входи подається спеціальні тестові набори, і аналізується реакція схеми на ці набори. Метод функціонального діагностування не передбачає переводу схеми в спеціальний режим, справність схеми щодо деякої множини несправностей визначається в процесі нормального функціонування схеми.

Розробка діагностичного забезпечення є складною задачею, тому що необхідно задовольняти цілому ряду найчастіше суперечливих вимог до швидкодії, апаратурних витрат, надійності функціонування і т.д. Тому одержує поширення системний підхід до дослідження та проектування структури засобів діагностування, що дозволяє врахувати множину факторів і знайти оптимальну реалізацію системи. Також певну проблему представляє контроль складних цифрових систем у зв'язку з великою кількістю можливих станів і труднощів моделювання та значна функціональність. Типові задачі: пошук мінімальних тестів, вибір оптимального складу перевірок та ін. є логіко-комбінаторними задачами з перебором значної кількості варіантів. Рівень складності сучасних автоматизованих систем діагностування настільки високий, що для їхнього проектування, як і для проектування самих систем, застосовують автоматизовані методи, що дозволяють скоротити строки та поліпшити якість процесу проектування.

Проведений аналіз методів контролю та діагностики, методів розробки діагностичного забезпечення дозволив сформулювати основну задачу: розробка методів формального перетворення діагностичних моделей в автоматизованих системах контролю.

Другий розділ присвячено розробці методу функціонального контролю комбінаційних пристроїв (КП), які реалізують задану множину логічних функцій.

Для оперативного виявлення помилок використовується функціональне діагностування, що здійснюється в процесі безпосереднього використання об'єкта контролю за призначенням, коли на нього надходять тільки робочі впливи, що забезпечує можливість негайного реагування системи контролю й керування об'єктом при наявності несправностей.

Розроблений метод функціонального контролю КП, заснований на комбінаторному підході до класифікації об'єктів. Пошук оптимального рішення серед заданої множини варіантів надзвичайно складний і вирішується шляхом перебору, однак у більшості задач такий повний перебір нездійсненний. Для зменшення кількості варіантів, що розглядаються, на множині всіх об'єктів вводяться відношення еквівалентності й множина всіх об'єктів розбивається на класи еквівалентності. Будь-який об'єкт із класу еквівалентності за допомогою заданих перетворень переходить в інший об'єкт із цього ж класу еквівалентності. Для одержання інформації про множину всіх об'єктів достатньо вибрати типового представника від кожного класу еквівалентності. При класифікації об'єктів вирішуються задачі завдання відносин еквівалентності, вибору представників класів, підрахунок кількості класів еквівалентності, генерування типових представників і побудови каталогів.

Реальний КП має n входів, значення яких описуються множиною $X=\{x_1,\ldots,x_n\}$ і k виходів, значення яких описуються множиною логічних функцій $Y = \{y_1(X),\ldots,y_k(X)\}$.

Множина різних вихідних слів при відсутності помилок $Y^*=\{Y^*_1,\ldots,Y^*_s\}$. Розіб'ємо множину вхідних слів (наборів) на підмножини $X^*_1, \ldots, X^*_s$, названих групами. До однієї групи відносяться вхідні слова, яким відповідають однакові вихідні слова. Тоді при правильному функціонуванні: якщо $X \in X^*_i$, то $Y = Y^*_i$ і якщо $Y = Y^*_i$, то $X \in X^*_i$. Кількість слів у групах (склад груп) D визначається в такий спосіб

$$D = \{ \left| X^*_1 \right|, \ldots, \left| X^*_s \right| \}.$$

Між групами вхідних слів X^* і множиною вихідних слів Y^* установлюється взаємно однозначна відповідність $X^*_i \leftrightarrow Y^*_i$, $i = 1,\ldots, s$ (рис. 1).

У результаті несправностей у КП на його виходах формуються помилкові значення, і ця відповідність порушується. Для контролю роботи КП доцільно виконати перевірку виконання зазначених відповідностей для всіх груп. Перевірка P - це процес визначення відповідності між вибраними групами. Склад перевірки описується множиною $A = \{a_1,\ldots, a_s\}$, де $a_i \in \{0,1\}$, $i = 1,\ldots, s$; $a_i=1$, якщо i-та група бере участь у перевірці і $a_i=0$ у протилежному випадку.

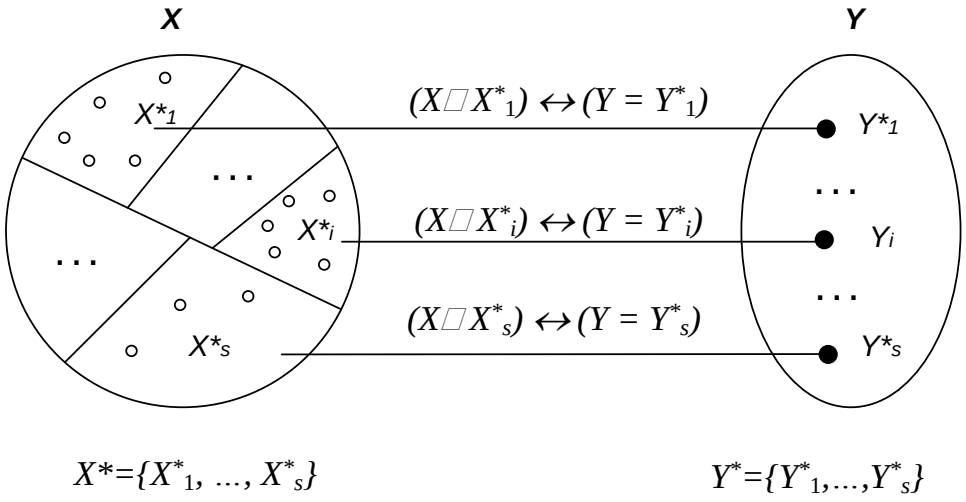

Рисунок 1 – Взаємно однозначна відповідність для груп

Рангом перевірки *r* називається кількість груп, що беруть участь у перевірці

$$r = \sum_{i=1}^{s} a_i \ .$$

Загальна кількість перевірок $\eta(s)$ визначається в такий спосіб

$$\eta(s) = \sum_{r=1}^{s} C_s^r = 2^s - 1.$$

Перевірка P зі складом $A = \{a_1, \ldots, a_s\}$ визначає відповідність між множинами X^P і Y^P, де:

$$X^P = \bigcup_{i=1}^{s} a_i X_i^* , \qquad Y^P = \bigcup_{i=1}^{s} a_i Y_i^* .$$

Логічна функція перевірки P зі складом A має вигляд

$$R(P) = H(X,A) \oplus Q(Y,A),$$

де $H(X,A)$ – логічна функція, що приймає значення "1" на множині наборів X^P,

$Q(Y,A)$ – логічна функція, що приймає значення "1" на множині наборів Y^P.

На множині перевірок введені наступні операції:

а). Об'єднанням перевірки P^1 зі складом $A^1 = \{a^1_1, \ldots, a^1_s\}$ і перевірки P^2 зі складом $A^2 = \{a^2_1, \ldots, a^2_s\}$, називається перевірка $P^3 = P^1 \cup P^2$ зі складом $A^3 = \{a^3_1, \ldots, a^3_s\}$, де $a^3_i = a^1_i \vee a^2_i$, $i = 1, \ldots, s$. Логічна функція виявлення помилок для об'єднання перевірок має вигляд

$$R(\bigcup_{i=1}^{t} P^i) = H(X, \bigcup_{i=1}^{t} A^i) \oplus Q(Y, \bigcup_{i=1}^{t} A^i),$$

де t - кількість перевірок, що беруть участь в об'єднанні.

б). При композиції перевірок кожна визначає виконання співвідношень для заданого складу. Логічна функція виявлення помилок для композиції перевірок має вигляд

$$R(\bigotimes_{i=1}^{t} P^i) = \bigvee_{i=1}^{t} (H(X, A^i) \oplus Q(Y, A^i)),$$

де t - кількість перевірок, що беруть участь у композиції.

Реалізація композиції перевірок наведена на рис. 2.

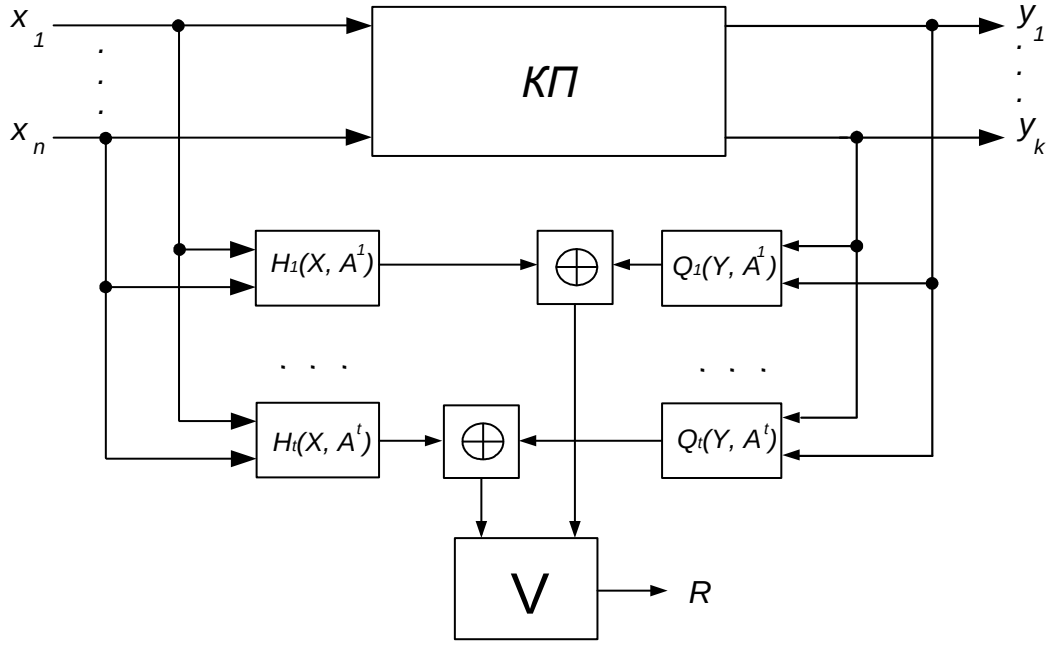

Рисунок 2 - Реалізація композиції перевірок

в). Перевірка P^1 зі складом $A^1 = \{a^1_1, ..., a^1_s\}$ називається інверсною стосовно перевірки P^2 зі складом $A^2 = \{a^2_1, ..., a^2_s\}$, позначається $P^1 = \bar{P}^2$, якщо $a^2_i = 1 - a^1_i$, $i = 1, ..., s$. Кількість помилок $E(A)$, що виявляються перевіркою P зі складом A, рангом r_i і кількістю слів у групах D, визначається в такий спосіб

$$E(A) = (2^k - r)(\sum_{j=1}^{s} a_j d_j) + r(2^n - \sum_{j=1}^{s} a_j d_j).$$

Множина помилок, що виявляються перевіркою P, подається у вигляді двочасткового графа перевірки G^p, що містить дві групи вершин: вершини першої

групи відповідають підмножинам вхідних слів, що входять у відповідну групу, а вершини другої групи відповідають вихідним словам для кожної групи. Ребро *(i,j)* графа перевірки з'єднує *i*-ту вершину з X^* і *j*-ту вершину з Y^* якщо $a_i \neq a_j$ ($i = 1,..., s;$ $j=1,..., s)$. Досліджено властивості графів перевірок для інверсних перевірок та для різних значень *s, k* та *r*.

Для спрощення процедури побудови схеми контролю удосконалено метод конструктивного перерахування діагностичних моделей (ДМ), заснований на їхній класифікації, виборі інваріанта і генерації типових ДМ. Результатом класифікації є побудова каталогів типових ДМ, які використовуються при побудові схем комп'ютерного контролю.

На рис. 3 показана класифікація ДМ. ДМ відносяться до одного класу еквівалентності, представником якого є типова ДМ (ТДМ), якщо мають однакові значення *n, k, s* і однакові лексикографічно впорядковані множини *D*.

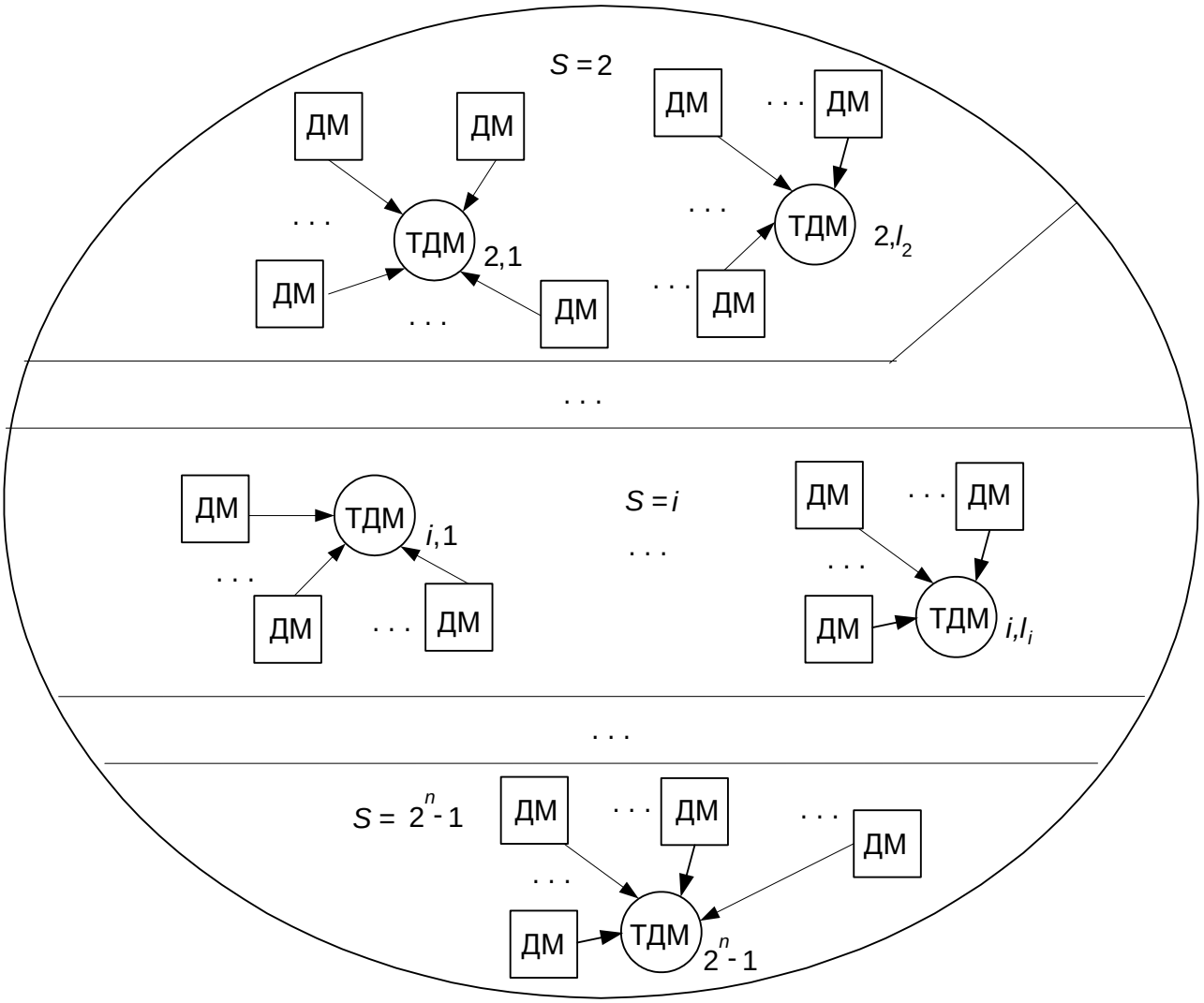

Рисунок 3 - Класифікація ДМ

Конструктивне перерахування типових ДМ зводиться до побудови повного списку типових представників ДМ, які описуються у вигляді відповідних серійних

символьних послідовностей.

Серійна символьна послідовність містить підпослідовності з однакових символів. Серії описуються у вигляді $S_i(u_i,v_i)$, де u_i – символ, що утворює i-ту серію, v_i – довжина i-й серії (кількість символів u_i). Символьна послідовність W, що складається з h серій подається у вигляді

$$W = S_1(u_1,v_1)S_2(u_2,v_2)\ldots S_h(u_h, v_h).$$

Множина $U = \{u_1, u_2,\ldots, u_h\}$ називається структурою серійної послідовності, а множина $V = \{v_1, v_2,\ldots, v_h\}$ – складом серійної послідовності. На множині символьних послідовностей введені операції злиття, вставки, з'єднання послідовностей та виділення підпослідовностей.

Множина типових ДМ (каталог) для заданих значень n позначається $T(2^n)$, а їх кількість $p(2^n)$. Для побудови каталогів типових ДМ розроблено рекурентний метод, заснований на послідовному формуванні каталогів. Доведено, що множина типових ДМ $T(2^n)$ складається із двох підмножин $T(2^n) = \{T^1(2^n), T^2(2^n)\}$, які відрізняються способом формування своїх елементів.

До підмножини $T^1(2^n)$, відносяться типові ДМ, сформовані на підставі каталогу $T(2^n - 1)$ типових ДМ у такий спосіб

$$t_i(2^n) = \vartheta(S(1,1), t_i(2^n-1)),$$

де $t_i(2^n) \in T(2^n)$, $t_i(2^n-1) \in T(2^n - 1)$, $i = 1,\ldots, p(2^n-1)$; символ "ϑ" означає операцію злиття послідовностей.

До підмножини $T^2(2^n)$ відносяться типові ДМ, сформовані на підставі каталогів типових ДМ $T(2^n - s)$ для $s = 1,\ldots, 2^{n-1}$ у такий спосіб: послідовно вибираються в каталозі $T(2^n - s)$ представники, що мають задане значення s, підмножина яких позначена $T(2^n – s, s)$, а його потужність $p(2^n – s, s)$. Початкові умови $p(1,1)=1$. Опис типового представника каталогу $T^2(2^n)$, $W(2^n)= S_1(u_1,v_1)\ldots S_h(u_h,v_h)$ формується на основі опису типового представника каталогу $T(2^n – s, s)$, $W(2^n-s)= = S^*_1(u^*_1,v^*_1)\ldots S^*_h(u^*_h,v^*_h)$ наступним чином

$$S_i(u_i,v_i)= S^*_i(u^*_i+1,v^*_i),\ i=1,\ldots,h.$$

Кількість типових ДМ $p(2^n)$ визначається залежністю

$$p(2^n) = p(2^n - 1) + \sum_{s=1}^{2^{n-1}} p(2^n - s, s).$$

У табл. 1 наведені значення $p(2^n, s)$ для $n = 2,\ldots, 5$.

У результаті класифікації множина ДМ розбивається на класи еквівалентності, потужність яких $O(n, s, D, V)$ визначається складом перевірки $D = \{d_1,\ldots, d_s\}$, складом серійних послідовності $V = \{v_1, v_2, ., v_h\}$, і для заданих значень n, k та s визначається наступним чином

$$O(n, s, D,V) = LX(n, s , D, V)\times LY(k, s),$$

де $LX(n, s, D, V)$ - кількість варіантів побудови підмножин $X^*_1, \ldots, X^*_s$,

$$LX(n,s,D,V) = C^{d_1}_{2^n} \times \prod_{i=2}^{s} C^{d_i}_{2^n - \sum_{j=1}^{i-1} d_j} \Big/ \prod_{j=1}^{h} v_j!,$$

Таблиця 1 - Значення $p(2^n, s)$ для $n = 2,\ldots, 5$, $s = 2,\ldots, 2^n$

s	n					s	n		s	n=5	s	n=5
	1	2	3	4	5		4	5				
2	1	2	4	8	16	9	15	887	17	176	25	15
3		1	5	21	85	10	11	807	18	135	26	11
4		1	5	34	249	11	7	695	19	101	27	7
5			3	37	480	12	5	582	20	77	28	5
6			2	35	709	13	3	471	21	56	29	3
7			1	28	860	14	2	378	22	42	30	2
8			1	22	919	15	1	295	23	30	31	1
						16	1	231	24	22	32	1

$LY(k, s)$ - кількість варіантів побудови множин вихідних слів $Y^*_1, \ldots, Y^*_s$.

$$LY(k,s) = \prod_{j=1}^{s} (2^k - j + 1).$$

Запропонований метод перерахування ДМ дозволяє оцінити кількість типових ДМ, формувати каталоги типових ДМ для побудови засобів комп'ютерного контролю.

У третьому розділі проведено обґрунтування способу вибору структури схеми функціонального контролю для дискретних систем.

У загальному випадку задача вибору структури схеми функціонального контролю формулюється наступним чином в вигляді екстремальної задачі.

Задано граф помилок G^z, які необхідно виявити. Схема функціонального контролю реалізує перевірки $P^1, \ldots, P^t$ зі складами $A^1, \ldots, A^t$ і графами перевірок $G^p(A^1), \ldots, G^p(A^t)$. Вартість реалізації перевірок $C_1, \ldots, C_t$. Необхідно знайти склад перевірок $A^1, \ldots, A^t$ таких, що

$$G^z \in \bigcup_{i=1}^{t} G^P(A^i), \qquad \sum_{i=1}^{t} C_i \to min. \tag{1}$$

Рішення поставленої задачі (1) складається з наступних етапів.

Етап 1. Для ребра e_i графа помилок G^z формується множина перевірок $P(e_i)_1, \ldots, P(e_i)_m$, графи перевірок яких мають ребро e_i, $(i = 1,\ldots, \lambda)$, де λ - кількість помилок.

Етап 2. Визначається логічна функція виявлення всіх помилок

$$F(E) = (P(e_1)_1 \vee \ldots \vee P(e_1)_m) \wedge \ldots \wedge (P(e_\lambda)_1 \vee \ldots \vee P(e_\lambda)_m). \tag{2}$$

Етап 3. Логічна функція *F(E)* зводиться до нормального вигляду

$$F(E) = П_1 \vee \ldots \vee П_\mu, \qquad (3)$$

де μ - кількість отриманих рішень; $П_i$ – добуток перевірок, що реалізують *i*-ий варіант рішення, $i=1,\ldots,\mu$.

Етап 4. Для перевірок, що входять в здобуті варіанти, визначаються логічні функції *H(X,A)* і *Q(Y,A)*.

Етап 5. Проводиться оцінювання вартості реалізації кожного варіанта рішення та обирається мінімальний за вартістю варіант.

В результаті тотожних перетворень логічної функції виявлення всіх помилок (2) та приведення її до нормального вигляду (3) формуються усі можливі варіанти рішень задачі.

Застосування розробленого методу дозволило спростити схему контролю в 1,2 – 1,8 рази в порівнянні з дублюванням для різних варіантів графів помилок.

У частковому випадку, коли граф помилок G^z є повним графом G^o, тобто схема контролю виявляє усі помилки, запропонована наступна схема рішення задачі (1).

Граф помилок G^o розглядається як повний двочастковий *s*-хроматичний граф, який представляється об'єднанням 2-розфарбованих двочасткових графів перевірок. Кількість графів перевірок, які беруть участь у декомпозиції графа G^o, $t =]log_2 s[$, де $]\psi[$ означає найближче ціле, не менше ψ.

Кольори вершин графа G^o, позначені $a^o_1,\ldots, a^o_s$, представляються у вигляді двійкових *t*-розрядних кодів $a^o_i = a^1_i a^2_i \ldots a^t_i$, $i=1,\ldots,s$. Перевірки, що реалізуються схемою контролю, мають склад $A^1 = \{a^1_1,\ldots,a^1_s\}$, ..., $A^t=\{a^t_1,\ldots,a^t_s\}$. Множина різних розфарбувань графа G^o розбивається на класи еквівалентності. Еквівалентними називаються розфарбування вершин графа G^o, яким відповідають однаковий вид графів перевірок.

При такому підході задача побудови схеми контролю зводиться до формування каталогів типових варіантів і вибору з них мінімального за вартістю. Типовий представник описується за допомогою лексикографічно впорядкованої множини номерів перевірок, що відповідають підмножині еквівалентних розфарбувань.

Формування каталогів типових варіантів побудови схеми контролю складається із послідовного розгляду варіантів розфарбування вершин графа G^o, який розкладається на 2–розфарбовані графи перевірок $G^p_1, \ldots, G^p_t$, визначається вид типового представника та його наявність у каталозі. Наведено приклади побудови каталогів типових схем контролю.

Розроблений метод проектування засобів функціонального контролю КП дозволяє побудувати схеми контролю з мінімальною кількістю перевірок і відбирати мінімальний за вартістю. Вид логічних функцій істотно впливає на одержувані результати. Для оцінки ефективності розроблених методів необхідно побудувати схеми контролю для комбінаційних пристроїв з різною кількістю входів і виходів і різних реалізуючих функцій. Але кількість КП істотно зростає з ростом значень *n* і

k. Для скорочення кількості варіантів, що розглядаються, розроблено спосіб класифікації КП щодо групи *P* перетворень (перестановки) і групи *N* перетворень (інверсії). Множина КП розбивається на класи еквівалентності щодо групи *PN* перетворень вхідних змінних і групи *P* перетворень вихідних функцій (рис. 4). Фізичний зміст такої класифікації полягає в тому, що однотипні логічні функції мають однакову (з точністю до інверсій) схемну реалізацію й мають однакову вартість.

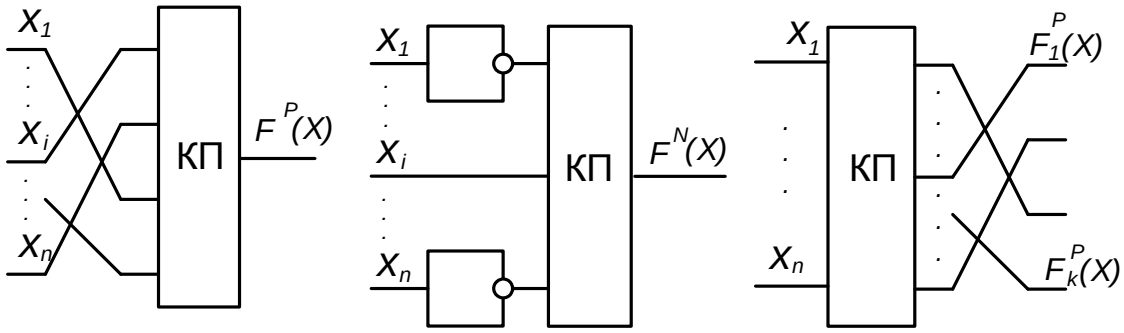

Рисунок 4 - *PNP* перетворення КП

Визначена кількість перетворень, складені каталоги типових представників класів еквівалентності логічних функцій щодо групи *PN* перетворень. Частка типових логічних функцій щодо всієї кількості логічних функцій для $n = 3$ становить 7,8%, а для $n = 4$ - 0,6% і з ростом n їхня частка істотно падає.

Залежно від алгоритму функціонування КП використовуються відповідні підмножини типових логічних функцій. Для усіх варіантів типових КП побудовані схеми контролю, визначені значення складності схем контролю ($C_{ск}$) у порівнянні зі схемою контролю, що реалізує метод дублювання ($C_{дуб}$). На рис. 5 наведений розподіл КП для різних значень $V = C_{дуб}/C_{ск}$ ($n = 3$, $k = 3$, $s = 8$).

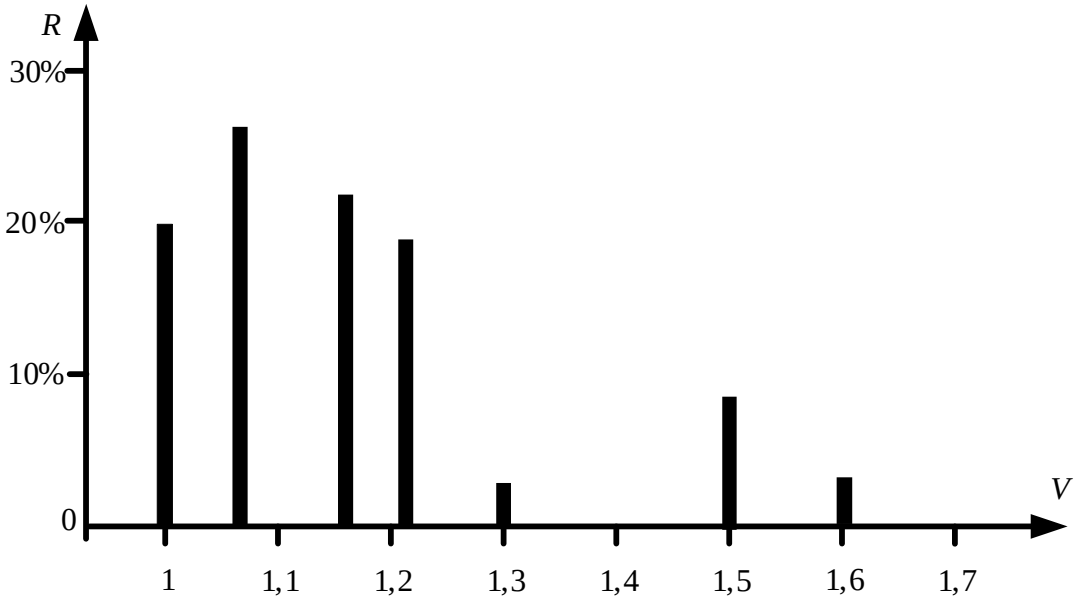

Рисунок 5 - Розподіл КП для різних значень *V*

Наведені результати показують, що для 20% КП $V = 1$. Це підтверджує результати, отримані В. Петерсоном і М. Рабином, що для деяких КП не існує схем контролю, що виявляють усі помилки, простіших, ніж дублювання. Для 80% КП запропонований метод дозволяє проектувати схеми контролю, що мають вартість в 1,07 - 1,6 рази меншу, ніж дублювання.

Четвертий розділ присвячений автоматизації розробки діагностичного забезпечення систем контролю комп'ютерних систем та компонентів.

Усі теоретичні аспекти дисертаційної роботи реалізовані у вигляді розроблених програмно-апаратних засобів.

Програмний комплекс вирішує наступні задачі розробки діагностичного забезпечення: побудова та аналіз діагностичних моделей, синтез мінімальних контрольних та діагностичних тестів, вирішення задачі покриття, пошуку оптимального покриття, формування символьних послідовностей, формування структур типових серійних символьних послідовностей, програмне забезпечення автоматизованої системи контролю. В основі алгоритмічного забезпечення програмного комплексу лежать розроблені методи та способи. Програми пройшли реєстрацію в Державному департаменті інтелектуальної власності України.

Розроблені апаратні засоби вирішують наступні задачі: автоматизована система контролю послідовно реалізує задану множину перевірок, автоматизована система параметричного контролю проводить оцінювання технічного стану об’єкту шляхом перевірки значень параметрів у контрольних точках об'єкта, інформаційно-діагностична система виконує аналіз стану об'єкта та формує вихідну діагностичну інформацію, комбінаторно-логічний процесор вирішує логіко-комбінаторні задачі. На розроблені пристрої отримані патенти України.

Розроблені методи та програмно-апаратні засоби дозволяють автоматизувати процес розробки діагностичного забезпечення, скоротити строки розробки і підвищити його якість за рахунок формування мінімальних тестових послідовностей та спрощення схеми контролю.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-прикладна задача розробки методів формального перетворення діагностичних моделей в автоматизованих системах контролю.

1. Розроблено метод функціонального контролю комбінаційних пристроїв, в основі якого лежить розбиття множини вхідних і вихідних слів на групи та встановлення відповідності між ними. Введено поняття перевірки, досліджені їхні властивості. Запропоновано способи перетворення діагностичних моделей, як структурних елементів комп’ютерних систем.

2. Удосконалено метод конструктивного перерахування діагностичних моделей, за рахунок їх класифікації, виборі інваріанта і генерації типових ДМ. Отримані оцінки їх кількості, сформовані каталоги типових представників, необхідні при побудові засобів контролю.

3. Розроблено спосіб вибору структури схеми функціонального контролю комбінаційних пристроїв, в основі якого лежить визначення логічної функції виявлення заданої множини помилок, перетворення її до нормального вигляду, визначення логічних функцій перевірок, оцінка вартості реалізації кожного варіанту рішення та вибір мінімального за вартістю варіанта. Застосування розробленого способу дозволяє спростити схему контролю в 1,2 - 1,8 рази в порівнянні з дублюванням.

4. Удосконалено спосіб оцінки ефективності схем функціонального контролю, заснований на аналізі множини типових комбінаційних пристроїв, що скорочує кількість варіантів, що досліджуються. Запропоновано класифікацію комбінаційних пристроїв. Побудовано каталоги типових представників комбінаційних пристроїв. Наведено оцінку складності схем контролю, у яких $s = 2^k$, $t = k$. Показано, що для $n = 3$ розроблений спосіб дозволяє скоротити складність схеми контролю в порівнянні з дублюванням в 1,07 - 1,6 рази в залежності від вигляду логічних функцій.

5. Всі теоретичні аспекти дисертаційної роботи реалізовані у вигляді програмно-апаратних засобів автоматизації розробки діагностичного забезпечення. Програмний комплекс вирішує наступні задачі: аналіз і формування діагностичних моделей, аналіз серійних послідовностей і побудова каталогів типових представників, побудова контрольних тестів для різних видів діагностичних моделей. Апаратні засоби вирішують наступні задачі: автоматизована система контролю послідовно реалізує задану множину перевірок, автоматизована система параметричного контролю проводить оцінювання технічного стану об’єкту шляхом перевірки значень параметрів у контрольних точках об'єкта, інформаційно-діагностична система виконує аналіз стану об'єкта та формує вихідну діагностичну інформацію, комбінаторно-логічний процесор вирішує логіко-комбінаторні задачі.

Розроблені методи та програмно-апаратні засоби дозволяють автоматизувати процес розробки діагностичного забезпечення, скоротити строки розробки, і підвищити його якість за рахунок формування мінімальних тестових послідовностей та спрощення схеми контролю.

6. Результати роботи впровадженні на Харківському державному авіаційному виробничому підприємстві (ХДАВП), ПрАТ «Авіаконтроль» (м. Харків) та використовуються у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Павлик А.В. Выбор структуры системы с функциональным резервированием [Текст] / Н.В. Доценко, А.И. Шипулин, А.В. Павлик, Н.А. Дидык // Системи управління, навігації та зв’язку. – К.: Центральний науково–дослідний інститут навігації і управління, 2007. – Вип. 4. – С. 118–120.

Здобувачем розроблена процедура формування та перетворення розрізнювальних функцій при вирішенні задачі покриття.

2. Павлик А.В. Применение инвариантов в комбинаторных исследованиях [Текст] / Н.Д. Кошевой, А.В. Павлик, В.П. Сироклын, Н.А. Дидык // Зб. наук. пр. військ. ін–у Київського нац. ун–ту ім. Т. Шевченка, 2008. – Вип. 14. – С. 83 – 87.

Здобувачем запропоновано спосіб визначення мінімальних канонічних форм для опису типових представників класів еквівалентності.

3. Павлик А.В. Метод перечисления символьных последовательностей [Текст] / Н.Д. Кошевой, Е.М. Костенко, Н.В. Доценко, А.В. Павлик // Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 2012. – № 3(55). – С. 45 – 49.

Здобувачем досліджені властивості символьних серійних послідовностей.

4. Павлик А.В. Функциональный контроль комбинационных устройств [Текст] / Н.Д. Кошевой, А.В. Павлик // Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 2013. – № 1(60). – С. 111 – 114.

Здобувачем запропоновано метод функціонального контролю комбінаційних схем.

5. Павлик А.В. Адаптивные схемы контроля [Текст] / А.В. Павлик // Журнал публикаций докторантов и аспирантов. – Курск, 2013. – № 7. – С. 74 –76.

6. Павлик А.В. Метод построения минимальных контрольных и диагностических тестов [Текст] / А.В. Павлик // Современная техника и технологии. – М.: 2013. – № 3. – С. 17–22.

7. Павлик А.В. Программно–аппаратные средства контроля [Электронный ресурс] / В.А. Дергачев, А.С. Савельев, А.Н. Аникин, М.В. Цеховской, А.В. Павлик // Современные научные исследования и инновации. – М.: 2013. – № 7. – Режим доступа: URL: http://web.snauka.ru/issues/2013/07/25508.

Здобувачем розроблено структуру апаратних засобів контролю.

8. Павлик А.В. Конструктивное перечисление диагностических моделей [Текст] / А.В. Павлик // Современная техника и технологии. – М., 2014. – № 4. – С. 3 – 10.

9. Пат. 69823, Україна, МПК G06F17/27. Комбінаторно–логічний процесор / Савельєв А.С., Анікін А.М., Лопатин В.В., Дергачова Г.В. (Павлик Г.В.); Заявник і патентовласник Нац. аерокосм. ун–т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». – № U20031211247; заявл. 09.12.2003; опубл. 15.09.2004, Бюл. № 9, 2004. – 3 с.

Здобувачем розроблено алгоритм роботи пристрою для вирішення комбінаторно-логічних задач.

10. Пат. 21000, Україна, МПК G06F 11/30. Автоматизована система контролю / Кошовий М.Д., Дергачова Г.В. (Павлик Г.В.), Цеховський М.В., Сіроклин В.П.; Заявник і патентовласник Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». – №U200609956; заявл. 18.09.2006; опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2. – 3 с.

Здобувачем запропоновано структура системи контролю та алгоритм її функціонування.

11. Пат. 21379, Україна, МПК G06F 11/30. Автоматизована система параметричного контролю / Кошовий М. Д., Дергачова Г. В. (Павлик Г.В.), Цеховський М. В., Сіроклин В. П., Троненко Д.С.; Заявник і патентовласник Нац. аерокосм. ун–т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». – №U200609963; заявл. 18.09.2006; опубл. 15.03.2007, Бюл. № 3.– 3 с.

Здобувачем розроблено структуру блока формування діагностичних ознак в

системі параметричного контролю.

12. Пат. 76138, Україна, МПК G06 F11/30. Автоматизована система контролю / Кошовий М.Д., Дергачов В.А., Савельєв А.С., Анікін А.М., Цеховський М.В., Павлик Г.В.; Заявник і патентовласник Нац. аерокосм. ун–т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». – №U201206824; заявл. 05.06.2012; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24. – 3 с.

Здобувачем запропоновано спосіб реалізації перевірок на основі настроювальних алгоритмічних перетворювачів.

13. Пат. 76141, Україна, МПК G06 F7/04. Інформаційно–діагностична система / Кошовий М.Д., Дергачов В.А., Павлик Г.В., Шелапутін О.В, Чернявська М.М.; Заявник і патентовласник Нац. аерокосм. ун–т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». – №U201206831; заявл. 05.06.2012; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24. – 3 с.

Здобувачем запропоновано спосіб формування вихідної діагностичної інформації.

14. Комп'ютерна програма "Програма синтезу мінімальних контрольних тестів" / М.Д. Кошовий, А.С. Савельєв, Г.В. Дергачова (Павлик Г.В.) // Свідоцтво про реєстр. авторського права на твір № 9115. – Зареєстр. в Держ. департ. інтелектуальної власності Мін. освіти і науки України 29.12.2003 р.

Здобувачем розроблено алгоритм та програмні модулі формування варіантів побудови контрольних тестів.

15. Комп'ютерна програма "Програма вирішення задачі покриття"/ І.В. Чумаченко, Н.В. Доценко, О.І. Шипулін, Г.В. Дергачова (Павлик Г.В.) // Свідоцтво про реєстр. авторського права на твір № 16001. – Зареєстр. в Держ. департ. інтелектуальної власності Мін. освіти і науки України 17.03.2006 р.

Здобувачем розроблено алгоритм та програмні модулі аналізу результату покриття.

16. Комп'ютерна програма "Програма пошуку оптимального покриття" / І.В. Чумаченко, Н.В. Доценко, О.І. Шипулін, Г.В. Дергачова (Павлик Г.В.)// Свідоцтво про реєстр. авторського права на твір № 18152. – Зареєстр. в Держ. департ. інтелектуальної власності Мін. освіти і науки України 03.10.2006 р.

Здобувачем розроблено алгоритм та програмні модулі визначення оптимального покриття.

17. Комп'ютерна програма "Програмне забезпечення автоматизованої системи контролю" / М.Д. Кошовий, Г.В. Павлик, М.В. Цеховський, В.П. Сіроклин // Свідоцтво про реєстр. авторського права на твір № 20591. – Зареєстр. в Держ. департ. інтелектуальної власності Мін. освіти і науки України 21.05.2007 р.

Здобувачем розроблено алгоритм та програмні модулі допускового контролю параметрів.

18. Комп'ютерна програма "Програма побудови та аналізу діагностичних моделей" / М.Д. Кошовий, Г.В. Павлик // Свідоцтво про реєстр. авторського права на твір № 36462. – Зареєстр. в Держ. департ. інтелектуальної власності Мін. освіти і науки України 10.01.2011 р.

Здобувачем запропоновано структуру мови опису комбінаційних схем та алгоритм моделювання відмов у комбінаційних пристроях.

19. Комп'ютерна програма "Програма формування діагностичних моделей" / В.А. Дергачов, Г.В. Павлик, М.М. Чернявська // Свідоцтво про реєстр. авторського

права на твір № 46692. – Зареєстр. в Держ. департ. інтелектуальної власності Мін. освіти і науки України 10.12.2012 р.

Здобувачем розроблено алгоритм та програмні модулі визначення суттєвих перевірок та множини станів об'єкта діагностування.

20. Комп'ютерна програма «Програма формування символьних послідовностей» / М.Д. Кошовий, О.М. Костенко, Н.В. Доценко, Г.В. Павлик // Свід. про реєстр. автор. права на твір № 45746. – Зареєстр. в Держ. службі інтелектуальної власності України 25.09.2012 р.

Здобувачем розроблено алгоритм та програмні модулі формування каталогів символьних послідовностей.

21. Комп'ютерна програма «Програма формування структур типових серійних символьних послідовностей» / М.Д. Кошовий, О.М. Костенко, Н.В. Доценко, Г.В. Павлик // Свід. про реєстр. автор. права на твір № 45747. – Зареєстр. в Держ. службі інтелектуальної власності України 25.09.2012 р.

Здобувачем розроблено алгоритм та програмні модулі генерації типових варіантів структур серійних символьних послідовностей.

22. Дергачева А.В. (Павлик А.В.) Алгоритмическое обеспечение систем технического диагностирования / А.В. Дергачева// Матеріали VIII Міжнар. наук.–практ. конф. "Наука і освіта – 2005". – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – Т. 62. – С. 8–9.

23. Дергачева А.В. (Павлик А.В.) Оценка минимального числа требуемых проверок / А.В. Дергачева // Матеріали Міжнародної науково–практичної конференції "Розвиток наукових досліджень 2005". – Полтава: ІнтерГрафіка, 2005. – Т. 8. – С. 19–20.

24. Павлик А.В. Тестовые задачи для анализа алгоритмов решения комбинаторных задач / Н.В. Доценко, А.И. Шипулин, А.В. Павлик, Н.А. Дидык, В.П. Сироклин // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Наукові дослідження - теорія та експеримент 2008". - Полтава: ІнтерГрафіка, 2008. - Т. 9. – С. 52-55.

Здобувачем запропоновано спосіб формування тестових задач для аналізу ефективності алгоритмів вирішення комбінаторних задач.

25. Павлик А.В. Программный комплекс для решения логико–комбинаторных задач / Н.Д. Кошевой, А.В. Павлик // Матеріали V Міжнародної науково–практичної конференції "Наукові дослідження – теорія та експеримент 2009". – Полтава: ІнтерГрафіка, 2009. – Т. 6. – С. 119–121.

Здобувачем запропоновано комбінаторний підхід до вирішення логіко-комбінаторних задач.

26. Павлик А.В. Автоматизированная система контроля / В.А. Дергачев, А.С. Савельєв, А.Н. Аникин, А.В. Павлик, Е.В. Сидоренко, Е.А. Сухобрус // Матеріали VI Міжнародної науково–практичної конференції "Наукові дослідження – теорія та експеримент 2010". – Полтава: ІнтерГрафіка, 2010. – Т. 6. – С. 30-31.

Здобувачем розроблена структура блока формування перевірок при функціональному контролі.

27. Павлик А.В. Методы разработки диагностического обеспечения средств измерительной техники [Текст] / В.А. Дергачев, А.С. Савельев, А.Н. Аникин,

А.В. Павлик // Учебное пособие. – Х.: Нац. аерокосм. ун–т ім. М.Є. Жуковського «Харк. авіац. ін.–т», 2011. – 71 с.

Здобувачем запропоновано спосіб моделювання відмов у комбінаційних пристроях.

АНОТАЦІЇ

Павлик Г.В. Методи формального перетворення діагностичних моделей в автоматизованих системах контролю. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків 2014.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-прикладної задачі розробки методів формального перетворення діагностичних моделей в автоматизованих системах контролю.

Розроблено метод функціонального контролю комбінаційних пристроїв, в основі якого лежить розбиття множини вхідних і вихідних слів на групи та встановлення відповідності між ними. Удосконалено метод конструктивного перерахування діагностичних моделей, отримані оцінки кількості типових діагностичних моделей, сформовані каталоги типових діагностичних моделей, необхідні при побудові засобів контролю. Розроблено спосіб вибору структури схеми функціонального контролю комбінаційних пристроїв. Удосконалено спосіб оцінки ефективності схем функціонального контролю, заснований на аналізі множини типових комбінаційних пристроїв. Розроблені методи та програмно-апаратні засоби дозволяють автоматизувати процес розробки діагностичного забезпечення, скоротити строки його розробки і підвищити його якість.

Ключові слова: методи діагностування, функціональний контроль, діагностична модель, комбінаційний пристрій, класифікація, клас еквівалентності, типовий представник, конструктивне перерахування, діагностичне забезпечення.

Павлик А.В. Методы формального преобразования диагностических моделей в автоматизированных системах контроля. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Компьютерные системы и компоненты. - Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков 2014.

Диссертационная работа посвящена решению научно-прикладной задачи разработки методов формального преобразования диагностических моделей в автоматизированных системах контроля.

Проведен анализ методов функционального диагностирования комбинационных устройств (КУ), которое осуществляется в процессе непосредственного использования объекта контроля по назначению, когда на него поступают только рабочие воздействия, предусмотренные алгоритмом функционирования объекта. Показано, что известные методы решений данной задачи отличаются по сложности реализации, а некоторые не всегда применимы.

Разработан метод функционального диагностирования комбинационных

устройств, в основе которого лежит разбиение множества входных и выходных слов на группы и установление соответствия между ними. Введено понятие проверки, исследованы их свойства. Предложены способы преобразования диагностических моделей. Введены операции на множестве проверок: объединение проверок, композиция проверок, инверсия проверок. Приведены логические функции обнаружения ошибок для введенных операций и способы их реализации.

Рассмотрены способы представления множества обнаруживаемых проверками ошибок и получены оценки его мощности в зависимости от состава проверки, ранга и количества слов в группах. Множество ошибок, обнаруживаемых проверкой представляется в виде нагруженного двудольного графа. Исследована зависимость вида графа ошибок в зависимости от состава проверок и количества слов в группах. Рассмотрены особенности графа ошибок для инверсных проверок.

Усовершенствован метод конструктивного перечисления диагностических моделей, получены оценки количества типовых диагностических моделей, сформированы каталоги типовых диагностических моделей, необходимые при построении средств контроля.

Разработан способ выбора оптимального состава средств функционального контроля комбинационных устройств. Сформулирована постановка задачи и предложено решение поэтапных задач. В основе метода лежит определение логической функции обнаружения заданного множества ошибок, преобразование ее к нормальному виду, определение логических функций проверок, оценка стоимости реализации каждого варианта решения и выбор минимального по стоимости варианта. Приведенные примеры показывают, что применение разработанного метода позволяет упростить схему контроля в 1,2 – 1,8 раза по сравнению с дублированием. Рассмотрено проектирование средств функционального контроля для случая, если граф ошибок представляет собой полный граф. Показано, что в этом случае задача сводится к определению раскраски исходного графа и его декомпозиции на 2-раскрашенные графы проверок. При таком подходе задача выбора оптимального варианта построения схемы контроля сводится к формированию каталогов типовых вариантов построения схемы контроля для заданного вида графа ошибок и выбора оптимального по стоимости. Предложены процедуры генерации вариантов решения. Рассмотрена возможность сокращения множества рассматриваемых вариантов за счет рационального выбора состава перспективных проверок. Исследованы свойства проверок входящих в решение.

Усовершенствован способ оценки эффективности схем функционального контроля, основанный на анализе множества типовых комбинационных устройств, что сокращает количество рассматриваемых вариантов. Предложена классификация комбинационных устройств. Построены каталоги типовых представителей комбинационных устройств. Рассмотрена оценка сложности схем контроля, в которых $s=2^k$, $t = k$. Показано, что для $n=3$ разработанный метод позволяет сократить сложность схемы контроля по сравнению с дублированием в 1,07 – 1,6 раза в зависимости от вида логических функций.

Разработаны программно-аппаратные средства автоматизации разработки диагностического обеспечения. Программный комплекс решает следующие задачи: анализ и формирование диагностических моделей, анализ серийных

последовательностей и построения каталогов типовых представителей, построения контрольных тестов для различных видов диагностических моделей. Применение разработанного программного обеспечения позволит сократить сроки разработки диагностического обеспечения и средств контроля, повысить достоверность и качество получаемых результатов. Разработанные программы прошли регистрацию в Государственном департаменте интеллектуальной собственности Украины.

Разработаны автоматизированная система контроля, комбинаторно-логический процессор, информационно-диагностическая система, автоматизированная система параметрического контроля. На разработанные аппаратные средства получены патенты Украины.

Ключевые слова: методы диагностирования, функциональный контроль, диагностическая модель, комбинационное устройство, классификация, класс эквивалентности, типовой представитель, конструктивное перечисление, диагностическое обеспечение.

Pavlik A.V. Methods of diagnostic models formal transformation in computer-aided test system. - Manuscript.

Thesis for scientific degree candidate of technical sciences in the specialty 05.13.05 - computer systems and components. - National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov 2014.

Dissertational work is devoted to the decision of scientifically-applied task of development of diagnostic models formal transformation methods in the automated control systems.

The method of the combinational devices functional control in which basis splitting set of entrance and target words into groups and an establishment of conformity between them lays is developed. The method of diagnostic models constructive enumeration is advanced, estimations of quantity of typical diagnostic models are received, is generated the catalogues of typical diagnostic models necessary at construction of control means. The method of scheme structure choice of the combinational devices functional control is developed. The method of an estimation of functional control schemes efficiency, based on the analysis of typical combinational devices set is advanced. The developed methods and hardware-software means allow to automate process of diagnosability provision development, to reduce terms of its development and to increase its quality.

Keywords: methods of diagnosing, the functional control, diagnostic model, the combinational device, classification, a class of equivalence, the typical representative, constructive enumeration, diagnosability provision.

Відповідальний за випуск: к.т.н., доц. кафедри авіаційних приладів та вимірювань Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» Заболотний О.В.

Підп. до друку 11.12.14. Формат 60×84 1/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим.
Зам. № 1/12. Ціна договірна.

ХНУРЕ. Україна. 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано ФОП Андреєв К.В.
61166, Харків, вул. Серпова, 4