

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О. С. ПОПОВА

Кафедра автоматизації технологічних процесів та електроживлення

Збаражська О.П., Макодзєб В.М., Швайко І. Г.

ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

ЧАСТИНА ПЕРША

**АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА
ДІАГНОСТИКИ, СИНТЕЗ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИЧНИХ
ТЕСТІВ**

Навчальний посібник

Одеса 2018

Рецензент:

Доцент кафедри інформаційної безпеки та передачі даних кандидат технічних наук М.М. Балан.

Збаражська О.П., Макодзєб В.М., Швайко І. Г.

Технічна експлуатація автоматизованих систем. Ч.1. Аналіз функціональної моделі об'єкта діагностики, синтез системи діагностичних тестів. Навчальний посібник. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 64 с.

Розглядаються принципи побудови автоматизованих систем контролю та діагностики технічних засобів автоматизації технологічних процесів, методи аналізу формалізованого опису функціональної моделі засобів автоматизації як об'єктів діагностики стосовно синтезу системи їх діагностичних тестів у вигляді кон'юнктивної форми бульового опису, його мінімізації та перетворення в диз'юнктивну форму з застосуванням відповідних програмних модулів як віртуальних пристроїв контролю та діагностики.

Навчальний посібник з дисциплін
“Технічна експлуатація автоматизованих систем поштового зв'язку”,
“Проектування автоматизованих систем поштового зв'язку”
для підготовки бакалаврів за напрямом
6.050904 – Мережі та системи поштового зв'язку

УХВАЛЕНО
на засіданні кафедри
технологічних процесів та
електроживлення
і рекомендовано до друку.
Протокол № 3
від 19 жовтня 2018 р

ЗАТВЕРДЖЕНО
методичною радою
академії зв'язку
ім. О. С. Попова
Протокол № 4
від 27 грудня 2018 р

© Збаражська О.П., Макодзєб В. М,
Швайко І. Г., 2018
© ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2018

ЗМІСТ

Передмова	4
1 Аналіз функціональної моделі об'єкта діагностики	5
1.1 Діагностична та функціональна моделі об'єкта діагностики	5
1.2 Вибір методу контролю та сукупності контрольованих параметрів	6
Контрольні питання	9
2 Синтез мінімально-достатньої сукупності діагностичних тестів	11
2.1 Синтез бульового опису функціональної моделі об'єкта діагностики	11
2.2 Мінімізація та перетворення бульового опису функціональної моделі об'єкта діагностики у сукупність діагностичних тестів	13
Контрольні питання	15
3 Аналіз функціональних моделей та синтез діагностичних тестів технічних засобів автоматизації технологічних процесів	17
3.1 Автоматизовані лінії обробки письмової кореспонденції	17
3.2 Загальний автоматизований виробничий процес поштового зв'язку, як об'єкт контролю та діагностики	28
3.3 Керуючі пристрої маніпулятора систем автоматизованого складування об'єктів технологічної обробки	31
Контрольні питання	40
Додаток 1: Програмне забезпечення синтезу мінімально-достатньої системи діагностичних тестів	41
Додаток 2: Варіанти функціональних моделей об'єкта діагностики	48
Перелік посилань	63

ПЕРЕДМОВА

Сучасні автоматизовані виробничі процеси оснащені складним обладнанням з впровадженням промислових роботів та інтегрованих інформаційно-комп'ютерних технологій, що у свою чергу підвищує вимоги до вдосконалення засобів та заходів підтримки їх роботоздатності та контролю показників якості функціонування.

За широкого використання засобів автоматизації й механізації зростає залежність успішності виробництва від якості функціонування обладнання яка обумовлена ефективністю проведення планово-профілактичних обслуговувань та ремонтів механізмів, машин та їх керуючих пристроїв. Підвищення якості роботи обладнання та подовження її тривалості потребує скорочення термінів ремонтних робіт, використання досконалих методів контролю, виявлення та усунення несправностей. Для прискорення процесу виявлення відмов технічних засобів автоматизації, що мають у своєму складі велику кількість взаємозв'язаних вузлів та елементів застосовуються методи та засоби технічної діагностики з безперервним контролем їх роботоздатності для своєчасного виявлення їх відмов та скорочення вимушених зупинок виробничого процесу.

Організація автоматичного контролю технічного стану обладнання стосовно працездатності, пошуку несправностей за їх виникнення та виявлення елементів і вузлів, параметри яких наближаються до гранично допустимих для прогнозування відмов є одним з найдієвіших заходів підвищення надійності та ефективності автоматизованого технологічного процесу. Саме тому в навчальному посібнику приділяється основна увага питанням синтезу формалізованого опису технічних засобів автоматизації з застосуванням їх діагностичної та функціональної моделі, його аналізу для пошуку мінімально достатньої сукупності контрольованих параметрів у вигляді мінімального тесту за з урахуванням кількості перевірок, ймовірності відмов елементів, часу перевірок їх вихідних параметрів та середнього часу пошуку несправності, повноти та достовірності контролю. Як приклади практичного застосування якості, розглядається функціональні моделі та синтез мінімально достатньої сукупності діагностичних тестів автоматизованих ліній обробки письмової кореспонденції та керуючих пристроїв, а також відповідне програмне забезпечення віртуальних пристроїв контролю та діагностики.

1. АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТИКИ

1.1. Діагностична та функціональна моделі об'єкта діагностики

Досвід експлуатації технічних засобів автоматизації свідчить, що одним з найдієвіших заходів підвищення надійності функціонування машин і механізмів є організація ефективного контролю їх технічного стану стосовно працездатності, пошуку (локалізації) несправностей за їх виникнення та виявлення елементів і вузлів, параметри яких наближаються до гранично допустимих для прогнозування відмов. У відповідності з наведеними основними функціями контролю розрізняють три основні його види [3].

Контроль працездатності, за результатами якого приймається рішення про справний або несправний стан обладнання (об'єкта). Контроль працездатності виконується у процесі введення об'єкта експлуатацію, а також у процесі його експлуатації – постійно або періодично.

Діагностичний контроль (локалізація несправностей) виконується після виявлення появи несправності з метою встановлення її місцезнаходження в об'єкті.

Профілактичний контроль виконується для виявлення таких елементів та вузлів обладнання, характеристики яких стали близькими до гранично допустимих значень. Таким чином, за результатами профілактичного контролю прогнозується надійність роботи об'єкта та встановлюються терміни планово-профілактичних заходів.

Процес контролю дійсного стану технічного об'єкта передбачає необхідність визначення специфіки стосовно того, що саме і яким методом необхідно перевіряти та які для цього необхідні технічні засоби. Це передбачає вирішення двох основних завдань: аналіз об'єкта та вибір оптимального за витратами, швидкістю і надійністю методу контролю його технічного стану; вибір та за необхідності створення технічних засобів для контролю і локалізації несправностей.

Проведення аналізу об'єкта та вибору методу ефективного контролю його технічного стану потребує побудови *діагностичної моделі*, що відображає основні експлуатаційні властивості реального технічного об'єкта. Для цього технічний об'єкт необхідно розчленувати на декілька взаємозалежних частин, кожна з яких має самостійне функціональне значення. С точки зору отримання мінімально достатньої інформаційної повноти діагностичної моделі доцільно використовувати структурну схему пристрою або системи, кожний структурний елемент якої несе тільки йому властиві функції і видалення якого з системи руйнує її цільову функцію.

Функціональна модель являє собою графічне зображення об'єкта, кожен елемент A_i якого позначається прямокутником з декількома входами й одним виходом Z_j . Один елемент функціональної моделі може мати у собі один або декілька функціональних елементів реального об'єкта, а також один або декілька функціональних вузлів об'єкта, що мають однакову фізичну структуру. Працездатний стан елемента оцінюється одним вихідним параметром Z_j , який є реакцією елемента A_i на вхідні впливи X_i . Для будь-яких двох пов'язаних елементів повинні виконуватись умови: допустима реакція Z_j елемента A_i має також бути допустимим впливом для розв'язаного з

ним елемента та навпаки, недопустима реакція Z_j елемента A_i повинна бути недопустимим впливом для пов'язаного з ним елемента. Вихід елемента може з'єднуватись з входами будь-якої кількості елементів. Вхід одного елемента може бути пов'язаний лише з одним виходом другого елемента. Входи, не з'єднані ні з одним виходом, є зовнішніми. Впливи, що надходять на такі входи, можуть використовуватись для урахування зовнішніх впливів.

1.2. Вибір методу контролю та сукупності контрольованих параметрів

Для контролю працездатності об'єкта виконується аналіз вихідних параметрів окремих найбільш інформативних (важливих) елементів або всіх елементів функціональної моделі об'єкта діагностики. Очевидно, що найбільш ефективною формою контролю є повний контроль, за якого може бути виявлений кожен несправний стан об'єкта. Отже, для реалізації контролю можуть використовуватись певні сукупності параметрів різноманітних елементів об'єкта. Контроль різних сукупностей елементів потребує переважно різних матеріальних та часових витрат, тому слід обирати сукупність параметрів, що контролюються з урахуванням забезпечення мінімізації матеріальних та часових витрат. Для виконання цих вимог у першу чергу необхідно обирати сукупність, що містить мінімальну кількість параметрів, які контролюються.

За умови відсутності у функціональній моделі об'єкта діагностики зворотних зв'язків, необхідна мінімальна сукупність вихідних параметрів, що забезпечує повний контроль працездатності, включає у себе параметри відповідні вільним виходам елементів, тобто таким, сигнали яких не надходять на входи інших елементів моделі [3].

У випадку необхідності забезпечення повного контролю працездатності об'єкта зі зворотними зв'язками необхідно обрати таку сукупність елементів, параметри яких є залежними від стану усіх елементів об'єкта.

Для подальшого розгляду застосування методів контролю та діагностики, у якості об'єкта контролю, як приклад, нижче розглядається система технічного зору, ефективно застосування якої має вирішальне значення для підвищення показників якості сучасних технічних автоматизованих систем поштового зв'язку з застосуванням промислових роботів на операціях завантаження-розвантаження поштооброблювальних машин, установок сортування важкої пошти та контейнерів її перевезення.

Система технічного зору, як об'єкт діагностування, задана гіпотетичною діагностичною моделлю у відповідності зі складом елементів структурної схеми якої і їх функціональними зв'язками [5] побудована функціональна модель об'єкта діагностики (рис. 1.1), за

наступної специфікації елементів, їх вхідних впливів та вихідних параметрів: A_1 – оптико-електричний перетворювач оптичного зображення в послідовність аналогових електричних сигналів, наприклад, адресних ознак поштової картки, у якості яких може використовуватись машинописна або рукописна поштова адреса, поштовий індекс або штриховий код у залежності від вимог до витрат на апаратне та програмне забезпечення СТЗ та її надійності; A_2 – підсилювач відеосигналу з корекцією та обмеженням його спектра; A_3 – пристрій формування оптимального порогового рівня квантування (бінаризації) відеосигналу, що забезпечує мінімальне значення загальної помилки виявлення ліній графічних зображень, у даному разі, ліній зображень алфавітно-цифрових символів; A_4 – аналого-цифровий перетворювач аналогового відеосигналу у цифровий багаторівневий сигнал; A_5 – пороговий пристрій двійкового квантування аналогового відеосигналу (бінаризації зображення). Подальша обробка сформованого в даній системі технічного зору цифрового зображення, може виконуватись в залежності від виду автоматизованої технологічної операції, наприклад, у пристрої розпізнавання адресних ознак листосортувальної машини – з виходу елемента A_5 (швидкодія 8...12 лист./с.) та у пристрої розпізнавання промислового робота укладання посилок в контейнери – з виходу елемента A_4 (швидкодія 1...2 пос./с.).

Для формалізованого опису та визначення вихідної сукупності контрольованих параметрів будується таблиця взаємозалежності вихідних параметрів (табл.1.1). Значення 1 на перетині i -го рядка та j -го стовпчика вказує на залежність вихідного параметра Z_j від стану елемента A_i . Належність будь якого параметра до вихідної сукупності контрольованих параметрів встановлюється за умови наявності у кожному рядку таблиці значення 1 в одному з її стовпців. У даному випадку цій умові задовольняє сукупність (набір) елементів Z_4 Z_5 . За наявності двох і більше таких сукупностей слід обирати таку, для якої контроль працездатності об'єкта пов'язаний з мінімальними часовими та матеріальними витратами, що у свою чергу потребує урахування крім часу перевірки стану елементів – ймовірності їх відмови [3].

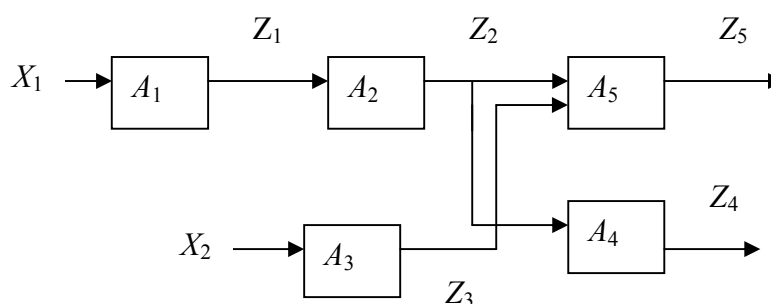


Рисунок 1.1

У процесі роботи технологічного обладнання можуть виникати відмови одного або декількох елементів одночасно, тому відмова одного елемента

об'єкта називається *одиночною*, а всі інші можливі комбінації відмов називаються *одночасними*. Так як виникнення відмов є наслідком декількох, переважно незалежних причин, то допустимо вважати, що практично будь-яка несправність об'єкта пов'язана з виникненням одиничних відмов[3]. За прийняття даного припущення, для спрощення подання, далі розглядаються моделі у яких несправний стан є наслідком тільки одиничних відмов. Проте побудована за такого припущення система контролю і локалізації несправностей може у більшості випадків виявляти також одночасні відмови. У такому разі, якщо після виявлення та усунення несправності першого елемента, пристрій контролю продовжує фіксувати несправний стан об'єкта, необхідно повторити процес локалізації несправності та виявити і усунути несправність наступного елемента, що відмовив. Такий багатоетапний процес виявлення та усунення несправностей продовжується до досягнення справного стану об'єкта.

Для визначення(синтезу) мінімально-достатньої сукупності контрольованих параметрів об'єкта та вибору методу локалізації несправностей, його формалізований опис подають у вигляді *таблиці станів функціональної моделі* об'єкта. За умови наявності n елементів, рядки таблиці подають $n + 1$ можливих станів об'єкта, а саме – n несправних станів та один справний стан об'єкта. Стовпці таблиці відповідають виходам елементів (параметрам) моделі.

За умови надходження на елемент A_i допустимих впливів та виникнення на його виході Z_i , допустимої реакції, стан елемента оцінюється як справний і умовно позначається символом 1. У випадку виникнення на виході Z_i недопустимої реакції приймається, що елемент A_i , є несправним і такий стан умовно позначається символом 0. За умови нормальної роботи об'єкта на виходах усіх n елементів моделі будуть допустимі реакції, тому у таблиці станів справний стан для всіх виходів позначається символом 1. У випадку відмови елемента A_i , в таблиці станів його вихід Z_i позначається символом 0. Символом 1 позначаються також виходи тих елементів моделі, які функціонально пов'язані (є залежними) з елементами A_i .

Таблиця 1.1 – Взаємозалежність вихідних параметрів.

№	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
A_1	1	1	0	1	1
A_2	0	1	0	1	1
A_3	0	0	1	0	1
A_4	0	0	0	1	0
A_5	0	0	0	0	1

Можливі стани елементів для функціональної моделі, зображеної на рис. 1.1, надані в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Можливі стани елементів.

№	Код стану	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
A_0	11111	1	1	1	1	1
A_1	01111	0	0	1	0	0
A_2	10111	1	0	1	0	0
A_3	11011	1	1	0	1	0
A_4	11101	1	1	1	0	1
A_5	11110	1	1	1	1	0

Положення символу 0 у коді стану визначає номер елемента, що відмовив. У справному стані на виходах усіх елементів допустимі реакції, тому перший рядок таблиці містить тільки символи 1. У випадку відмови елемента A_1 на його виходах і виходах зв'язаних з ним елементів A_2 , A_4 , A_5 також виникають недопустимі реакції. Тому у табл. 1.2 для першого стану виходи Z_1 , Z_2 , Z_4 , Z_5 позначені символом 0. Елемент A_3 не залежить від A_1 , тому у таблиці станів виходу Z_3 відповідає символ 1. У випадку, коли рядки таблиці станів мають однакові значення виходів Z_i для двох станів, то такі стани вважаються *попарно нерозрізненими*. Наслідком цього є, наприклад, неможливість встановлення несправності елемента A_1 , тому що на виході іншого елемента, наприклад A_2 , також виникає неприпустима реакція. У таких випадках для виявлення елемента, що відмовив, застосовується розривання зворотного зв'язку під час контролю.

Контрольні питання

1. Назвати основні види контролю.
2. З якою метою проводиться діагностичний контроль?
3. Для виявлення яких елементів та вузлів обладнання проводиться профілактичний контроль?
4. За якого виду контролю приймається рішення про справний або несправний стан обладнання?
5. Які властивості реального технічного об'єкта відображає його діагностична модель?

6. Дати тлумачення поняття «функціональна модель об'єкта діагностики», як його графічного зображення, стосовно позначень елементів, їх входів і виходів.
7. Назвати загальні рекомендації стосовно вибору сукупності контрольованих параметрів, з урахуванням повноти контролю та кількості параметрів, що контролюються.
8. Назвати специфікацію (перелік) елементів, вхідних впливів та вихідних параметрів функціональної моделі системи технічного зору як об'єкта діагностики.
9. За якими умовами складається таблиця взаємозалежності вихідних параметрів елементів для визначення вихідної сукупності контрольованих параметрів?
10. Дати тлумачення понять «одиночної» та «одночасної» відмов.
11. За яких значень рядків таблиці станів такі стани вважаються попарно нерозрізненими?
12. У чому полягає специфіка установлення елемента, що відмовив за наявності зворотних зв'язків?

2. СИНТЕЗ МІНІМАЛЬНО-ДОСТАТНЬОЇ СУКУПНОСТІ ДІАГНОСТИЧНИХ ТЕСТІВ

2.1. Синтез бульового опису функціональної моделі об'єкта діагностики

Виявлення несправного елемента виконується шляхом перевірки відповідності вихідних параметрів елементів їх допустимим значенням. Максимальна кількість перевірок дорівнює кількості елементів об'єкта. Сукупність перевірок, за якої всі стани об'єкта є розрізняваними, називається *діагностичним тестом*. Для встановлення несправного елемента достатньо виконати усі перевірки, що входять у тест. Проте у багатьох випадках для локалізації несправності немає необхідності перевіряти всі n елементів об'єкта. Це дозволяє зменшити кількість перевірок у тесті та як наслідок, зменшити необхідні часові і матеріальні витрати на програмне й апаратне забезпечення системи автоматизованого контролю. Саме тому, задача визначення мінімально-достатньої сукупності контрольованих параметрів (мінімального тесту) є однією з важливих задач технічної діагностики.

Найбільш поширеним та ефективним методом контролю вважається визначення мінімального діагностичного тесту шляхом побудови бульової матриці, отримання бульового опису, його мінімізації та перетворення в множину діагностичних тестів [3]. Для побудови бульової матриці використовується розглянута вище таблиця станів (табл. 1.2), яка перетворюється в матрицю несправностей шляхом заміни номерів елементів номерами станів, виходів елемента Z_j номерами перевірок P_j та вилучення рядка справний стан об'єкта діагностики. Після чого визначаються рядки бульової матриці шляхом попарного порівняння та логічного складання по mod 2 усіх рядків матриці несправностей, тобто усіх станів об'єкта. Якщо в j -му стовпці отриманої бульової матриці усі значення є рівними значенню 0, то така перевірка не несе інформації і вона може бути вилучена з бульової матриці. Стовпчики бульової матриці подають бульову змінну P_j , а її рядки – диз'юнкції тих змінних, які мають у відповідному рядку значення 1.

Формалізований бульовий опис функціональної моделі об'єкта діагностики визначається як кон'юнкція диз'юнкцій рядків бульової матриці. Для скорочення надлишкової інформативності та потужності опису за законами та наслідками бульової алгебри проводиться мінімізація отриманої повної кон'юнктивної форми бульової функції та її перетворення в диз'юнктивну форму, кожна кон'юнкція якої являє собою *елементарний тест* та у цілому, включає у себе усі можливі елементарні тести. Визначення пошукової мінімально-достатньої сукупності контрольованих параметрів (перевірок) як мінімального діагностичного тесту проводиться шляхом виявлення кон'юнкції

мінімальної довжини (кількості перевірок), змінні якої є номери перевірок, що утворюють пошуковий мінімальний тест.

Таблиця 2.1 – Матриця несправностей.

№	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅
1	0	0	1	0	0
2	1	0	1	0	0
3	1	1	0	1	0
4	1	1	1	0	1
5	1	1	1	1	0

Побудована для визначення кількості перевірок мінімального тесту за даним методом для наведеної вище функціональної моделі системи технічного зору, як об'єкта діагностики, шляхом модифікації матриці станів (табл.1.2), матриця несправностей показана в табл. 2.1. Усі стани об'єкта для перевірок П₁... П₄ є різними, тому після однієї серії перевірок однозначно виявляється номер несправного елемента.

Таблиця 2.2 – Бульова матриця.

№	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅
1.2	1	0	0	0	0
1.3	1	1	1	1	0
1.4	1	1	0	0	1
1.5	1	1	0	1	0
2.3	0	1	1	1	0
2.4	0	1	0	0	1
2.5	0	1	0	1	0
3.4	0	0	1	1	1
3.5	0	0	1	0	0
4.5	0	0	0	1	1

Побудована на основі матриці несправностей бульова матриця надана в табл. 2.2 і визначає бульову функцію в кон'юнктивній формі у вигляді

$$F_{\kappa} = \Pi_1(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4)(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_5)(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_4) \times \\ \times (\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4)(\Pi_2 + \Pi_5)(\Pi_2 + \Pi_4)(\Pi_2 + \Pi_6)(\Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5)\Pi_3(\Pi_4 + \Pi_5).$$

2.2. Мінімізація та перетворення бульового опису функціональної моделі об'єкта діагностики у сукупність діагностичних тестів

Після мінімізації за тотожностями бульової алгебри $X_1(X_1 + X_2)$, $X_1X_1 = X_1$ наведеної вище повної кон'юнктивної форми бульового опису функціональної моделі об'єкта діагностики, її мінімальна кон'юнктивна форми вона має вигляд

$$F_{\kappa\text{м}} = \Pi_1(\Pi_2 + \Pi_5)(\Pi_2 + \Pi_4)(\Pi_2 + \Pi_4)\Pi_3(\Pi_4 + \Pi_5).$$

Перетворення мінімальної кон'юнктивної форми бульової функції у диз'юнктивну форму, кожна кон'юнкція якої визначає діагностичний тест, відбувається шляхом поетапного логічного множення аргументів у вигляді

$$F_{\kappa\text{м}} = \Pi_1(\Pi_2 + \Pi_5)(\Pi_2 + \Pi_4)(\Pi_2 + \Pi_4)\Pi_3(\Pi_4 + \Pi_5) = \\ = (\Pi_1\Pi_2 + \Pi_1\Pi_5)(\Pi_1\Pi_2 + \Pi_1\Pi_4)(\Pi_2\Pi_3 + \Pi_3\Pi_4)(\Pi_3\Pi_4 + \Pi_3\Pi_5)$$

і далі за відповідних підстановок скорочення подання – у вигляді

$$F_{\kappa\text{м}} = (a + b)(a + c)(d + e)(e + g) = (aa + ac + ab + bc)(de + dg + ee + ed) = \\ = ade + adg + ae + aeg + acde + acdg + ace + ceg + abde + abdg + abe + \\ abeg + bcde + bcdg + bce + bceg = F_{\text{дм}}.$$

Після чого, за зворотних підстановок відповідних позначень перевірок, з урахуванням мінімізації за тотожністю бульової алгебри $X_1X_1 = X_1$ пошукова мінімальна диз'юнктивна форма має остаточний вигляд

$$F_{\text{дм}} = \Pi_1\Pi_2\Pi_3\Pi_4 + \Pi_1\Pi_2\Pi_3\Pi_5 + \Pi_1\Pi_2\Pi_3\Pi_4\Pi_5 + \Pi_1\Pi_3\Pi_4\Pi_5.$$

Чотири кон'юнкції, що входять у бульову функцію $F_{\text{дм}}$, утворюють чотири елементарних тести, з яких тести $\Pi_1\Pi_2\Pi_3\Pi_4$ та $\Pi_1\Pi_3\Pi_4\Pi_5$ мають мінімальну кількість перевірок. Із цих двох мінімальних тестів доцільно вибрати такий, для реалізації якого потрібні менші часові та матеріальні витрати.

З урахуванням наведеного вище, узагальнена постановка задачі синтезу мінімально-достатньої сукупності діагностичних тестів об'єкта діагностики може бути сформульована в наступному вигляді: Виконати синтез системи діагностичних тестів методом опису заданої функціональної моделі об'єкта

діагностики у вигляді подання через таблиці взаємозалежності вихідних параметрів, станів, матрицю несправностей та бульову матрицю у вигляді кон'юнктивної бульової функції з її мінімізацією і перетворенням у диз'юнктивну форму.

За такої постановки задачі синтез мінімально-достатньої сукупності діагностичних тестів містить у собі разом з визначенням мінімальної кількості діагностичних тестів також визначення мінімальних з них за кількістю перевірок і проводиться у відповідності з наступними етапами [3]:

1. Складання таблиці взаємозалежності вихідних параметрів елементів функціональної моделі.

2. Складання таблиці станів елементів.

3. Складання матриці несправностей шляхом модифікації матриці станів заміною параметрів Z_j номерами перевірок P_j , а також виключенням стовпця "код елемента" і рядка справного стану усіх елементів.

4. Складання бульової матриці на основі матриці несправностей шляхом попарного порівняння та складання по mod 2 усіх станів об'єкта діагностики. Після чого, кожний стовпчик бульової матриці подає змінну P_j , а кожний її рядок – диз'юнкцію змінних, які мають значення 1 у цьому рядку, що дозволяє отримати опис функціональної моделі об'єкта діагностики у вигляді бульової функції, як кон'юнкції диз'юнкцій рядків бульової матриці (у повній кон'юнктивній формі).

5. Запис на основі бульової матриці бульової функції у повній кон'юнктивній формі і її мінімізація відповідно до законів та тотожностей бульової алгебри.

6. Перетворення мінімізованої бульової функції в диз'юнктивну форму, як пошукову сукупність діагностичних тестів.

7. Визначення діагностичного тесту (тестів), що містить у собі мінімальну кількість перевірок.

За умови однакової кількості перевірок у отриманих в результаті синтезу мінімальних тестах, для діагностичного контролю, вибирається такий, який забезпечує мінімальний середній час контролю за комплексним критерієм, що враховує показники надійності елементів функціональної моделі та час контролю їх вихідних параметрів за використання оптимальної жорсткої або гнучкої послідовності (програми) перевірок [3].

У випадках виникнення труднощів контролю окремих параметрів, що входять у їх мінімально-достатню сукупність стосовно проблематики швидкодії, матеріальних витрат на апаратне та програмне забезпечення та ін. проводиться неповний контроль за умови забезпечення прийнятних заданих значень його повноти V_3 та достовірності $P_{дз}$ [3]. У такому разі, за відомих значень ймовірності безвідмовної роботи елементів функціональної моделі, визначається апріорна ентропія та інформативність контролю кожного з їх вихідних параметрів з урахуванням загальної апріорної ентропії контролю усіх параметрів. Після цього параметри включаються у пошукову їх

сукупність по низхідній, поетапно, починаючи з параметра з найбільшою інформативністю, з перевіркою повноти контролю V_n на поточному етапі, як відношення суми значень інформативності поточного та попередніх включених параметрів до значення загальної апіорної ентропії усіх параметрів функціональної моделі. За виконання умови $V_n \geq V_3$ – забезпечення необхідної повноти контролю проводиться перевірка умови $P_{дп} \geq P_{дз}$ – забезпечення необхідної достовірності контролю з визначенням поточного значення достовірності контролю $P_{дп}$, як добутку значень ймовірності безвідмовної роботи неперевірених елементів функціональної моделі. У випадку не виконання умови $P_{дп} \geq P_{дз}$, збільшують повноту контролю шляхом уведення в пошуковий мінімальний тест перевірок додаткових контрольованих параметрів [3].

Програмне забезпечення оптимізації сукупності контрольованих параметрів надано у Додатку 1 і включає у себе комп'ютерну програму та інтерфейс виконання операцій мінімізації повної кон'юнктивної форми бульового опису функціональної моделі з перетворенням у диз'юнктивну форму та вибору мінімального тесту за кількістю перевірок [8]. У Додатку 2 надано варіанти функціональних моделей об'єктів діагностики зі значеннями ймовірності відмови елементів для моделювання процесів аналізу інформативності та повноти контрольованих параметрів у автоматизованих системах [9].

Контрольні питання

1. Шляхом перевірки якої відповідності виконується виявлення несправного елемента?
2. Якому значенню дорівнює максимальна кількість перевірок об'єкта?
3. Яка сукупність перевірок називається діагностичним тестом?
4. У чому полягає перетворення таблиці станів у матрицю несправностей?
5. У який спосіб визначаються рядки бульової матриці?
6. За яких умов перевірка не несе інформації і вона може бути вилучена з бульової матриці?
7. У який спосіб визначається пошукова мінімально-достатня сукупність контрольованих параметрів (перевірок) як мінімальний діагностичний тест?
8. У який спосіб визначаються за бульовою матрицею бульова функція в повній кон'юнктивній формі?
9. За якими основними законами та тотожностями бульової алгебри проводиться мінімізація та перетворення повної кон'юнктивної

форми бульового опису функціональної моделі об'єкта діагностики у сукупність діагностичних тестів?

10. Дати узагальнене формулювання постановки задачі синтезу мінімально-достатньої сукупності діагностичних тестів об'єкта.
11. Назвати умови можливості ефективного застосування неповного контролю, стосовно забезпечення його необхідної повноти та достовірності.

3. АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ТА СИНТЕЗ ДІАГНОСТИЧНИХ ТЕСТІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

3.1. Автоматизовані лінії обробки письмової кореспонденції

Автоматизована лінія обробки письмової кореспонденції (Варіант 1). Автоматизована лінія обробки письмової кореспонденції (АЛ ОПК), як об'єкт діагностування, задана діагностичною моделлю у відповідності зі складом структурних елементів якої і їх функціональними зв'язками[4,6,7] побудована функціональна модель об'єкта діагностики (рис. 3.1) за наступної специфікації елементів, їх вхідних впливів та вихідних параметрів: A_1 – автоматична лицювальна-штемпелювальна машина; A_2 – автоматична листосортувальна машина; A_3 – комплекс формування постпакетів; A_4 – місця ручного оброблення; A_5 – установка сортування постпакетів; X_1 та X_2 – відповідно, стандартна та нестандартна (не розібрана) за розмірами, масою і жорсткістю письмова кореспонденція (ПК); Z_1 – лицювана та штемпелювана ПК; Z_2 – ПК детального сортування; Z_3 – сформовані постпакети ПК; Z_4 – ПК детального сортування з довідкових накопичувачів; Z_5 – мішки з розсортованими постпакетами ПК.

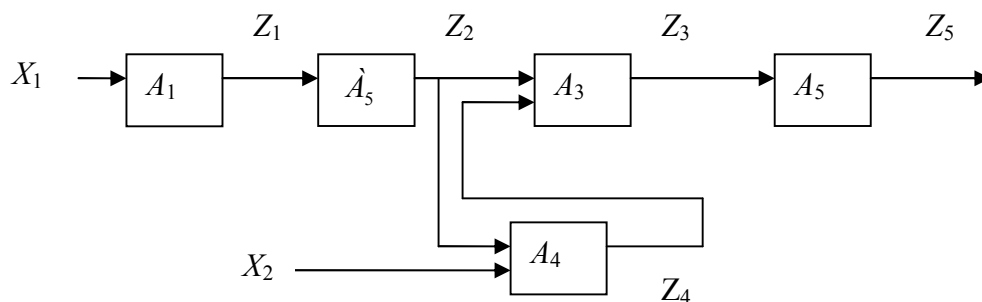


Рисунок 3.1 – Функціональна модель АЛ ОПК як об'єкта діагностики (варіант1)

Для синтезу мінімально достатньої системи діагностичних тестів, у відповідності з наведеною вище постановкою задачі складаються таблиці та матриці формалізованого опису функціональної моделі об'єкта діагностики: таблиця взаємозалежності вихідних параметрів та таблиця станів елементів; матриця несправностей та бульова матриця. За даними останньої записується бульова функція опису моделі, яка мінімізується та за перетворення в диз'юнктивну форму визначає мінімально достатню систему діагностичних тестів.

Взаємозалежність вихідних параметрів елементів функціональної моделі надана в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Взаємозалежність вихідних параметрів елементів.

№	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
A_1	1	1	1	1	1
A_2	0	1	1	1	1
A_3	0	0	1	0	1
A_4	0	0	1	1	1
A_5	0	0	0	0	1

Можливі стани елементів для функціональної моделі, зображеної на рис. 3.1, надані в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Можливі стани елементів.

№	Код стану	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
A_0	11111	1	1	1	1	1
A_1	01111	0	0	0	0	0
A_2	10111	1	0	0	0	0
A_3	11011	1	1	0	1	0
A_4	11101	1	1	0	0	0
A_5	11110	1	1	1	1	0

Матриця несправностей об'єкта діагностики надана в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Матриця несправностей.

№	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅
1	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0
3	1	1	0	1	0
4	1	1	0	0	0
5	1	1	1	1	0

Побудована на основі матриці несправностей бульова матриця надана в табл. 3.4, за аналізу якої нижче записується бульова функція в кон'юнктивній формі.

Таблиця 3.4 – Бульова матриця.

№	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅
1.2	1	0	0	0	0
1.3	1	1	0	1	0
1.4	1	1	0	0	0
1.5	1	1	1	1	0
2.3	0	1	0	1	0
2.4	0	1	0	0	0
2.5	0	1	1	1	0
3.4	0	0	0	1	0
3.5	0	0	1	0	0
4.5	0	0	1	1	0

Бульова функція в повній кон'юнктивній формі має вигляд

$$F_k = \Pi_1(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_4)(\Pi_1 + \Pi_2)(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4)(\Pi_2 + \Pi_4) \Pi_2(\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4)\Pi_4 \times \Pi_3(\Pi_3 + \Pi_4).$$

Пошукова бульова функція в мінімізованій (мінімальній) кон'юнктивній формі має вигляд

$$F_{\text{МК}} = \Pi_1 \Pi_2 \Pi_3 \Pi_4$$

та визначає один мінімальний діагностичний тест з чотирма перевірками

$$\Pi_1 \Pi_2 \Pi_3 \Pi_4.$$

Оптимальна послідовність виконання перевірок тесту стосовно мінімізації середнього часу локалізації несправності може визначатись за жорсткою або за гнучкою програмою перевірок [3].

Автоматизована лінія обробки письмової кореспонденції (Варіант 2). Автоматизована лінія обробки письмової кореспонденції (Варіант 2 – формування постпакетів проводиться також на місцях ручного

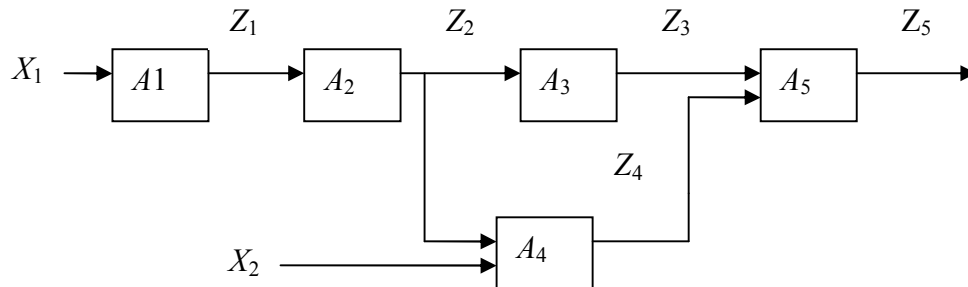


Рисунок 3.2 – Функціональна модель АЛ ОПК, як об'єкта діагностики (Варіант 2)

оброблення), як об'єкт контролю та діагностування задана функціональною моделлю, показаною на рис. 3.2 (специфікація елементів та вхідних впливів і вихідних параметрів аналогічна моделі Варіанта 1 за винятком того, що Z_4 – сформовані постпакети ПК), у відповідності з якою складена таблиця взаємозалежності вихідних параметрів (табл.3.5).

Таблиця 3.5 – Взаємозалежність вихідних параметрів.

№	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
A_1	1	1	1	1	1
A_2	0	1	1	1	1
A_3	0	0	1	0	1
A_4	0	0	0	1	1
A_5	0	0	0	0	1

Можливі стани елементів функціональної моделі, зображеної на рис. 3.2, надано в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Можливі стани елементів.

№	Код стана	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
A_0	11111	1	1	1	1	1
A_1	01111	0	0	0	0	0
A_2	10111	1	0	0	0	0
A_3	11011	1	1	0	1	0
A_4	11101	1	1	1	0	0
A_5	11110	1	1	1	1	0

Матриця несправностей об'єкта діагностики надана в (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Матриця несправностей.

№	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5
1	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0
3	1	1	0	1	0
4	1	1	1	0	0
5	1	1	1	1	0

Побудована на основі матриці несправностей бульова матриця надана в табл. 3.8, за аналізу якої нижче записується бульова функція у повній кон'юнктивній формі.

Таблиця 3.8 – Бульова матриця

№	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅
1.2	1	0	0	0	0
1.3	1	1	0	1	0
1.4	1	1	1	0	0
1.5	1	1	1	1	0
2.3	0	1	0	1	0
2.4	0	1	1	0	0
2.5	0	1	1	1	0
3.4	0	0	1	1	0
3.5	0	0	1	0	0
4.5	0	0	0	1	0

Бульова функція в повній кон'юнктивній формі має вигляд

$$F_k = \Pi_1(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_4)(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3)(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4)(\Pi_2 + \Pi_4)(\Pi_2 + \Pi_3)\Pi_3\Pi_4.$$

Бульова функція в мінімізованій(мінімальній) кон'юнктивній формі має вигляд

$$F_{mk} = \Pi_1\Pi_3\Pi_4$$

та визначає один мінімальний діагностичний тест з трьома перевітками.

Автоматизована лінія обробки письмової кореспонденції (Варіант 3). У даному варіанті АЛ ОПК застосовується разом з детальним сортуванням попередніх варіантів – загальне сортування ПК. Об'єкт заданий моделлю, показаною на рис. 3.3 (специфікація елементів та вхідних впливів і вихідних параметрів аналогічна моделі 2 за винятком того, що А₆ – автоматична листосортувальна машина загального сортування ПК) у відповідності з якою складена таблиця взаємозалежності вихідних параметрів (табл. 3.9).

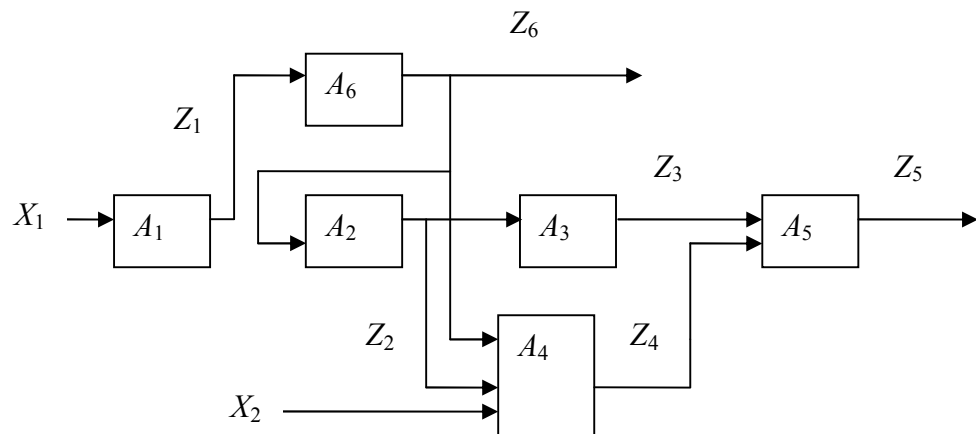


Рисунок 3.3 – Функціональна модель АЛ ОПК як об'єкта діагностики (Варіант 3).

Таблиця 3.9 – Взаємозалежність вихідних параметрів

№	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
A_1	1	1	1	1	1	1
A_2	0	1	1	1	1	0
A_3	0	0	1	0	1	0
A_4	0	0	0	1	1	0
A_5	0	0	0	0	1	0
A_6	0	1	1	1	1	1

Можливі стани елементів функціональної моделі, зображеної на рис. 3.3, надані в табл. 3.10.

Таблиця 2.10 – Можливі стани елементів функціональної моделі

№	Код стану	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
A_0	11111	1	1	1	1	1	0
A_1	01111	0	0	0	0	0	0
A_2	10111	1	0	0	0	0	1
A_3	11011	1	1	0	1	0	1
A_4	11101	1	1	1	0	0	1
A_5	11110	1	1	1	1	0	1
A_6	111110	1	0	0	0	0	0

Матриця несправностей об'єкта діагностики надана в табл. 3.11.

Таблиця.3.11 – Матриця несправностей

№	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆
1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1
3	1	1	0	1	0	1
4	1	1	1	0	0	1
5	1	1	1	1	0	1
6	1	0	0	0	0	0

Побудована на основі матриці несправностей бульова матриця надана в табл. 3.12, за аналізу якої нижче записується бульова функція в повній кон'юнктивній формі.

Таблиця 3.12 – Бульова матриця

№	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆
1.2	1	0	0	0	0	1
1.3	1	1	0	1	0	1
1.4	1	1	1	0	0	1
1.5	1	1	1	1	0	1
1.6	1	0	0	0	0	0
2.3	0	1	0	1	0	0
2.4	0	1	1	0	0	0
2.5	0	1	1	1	0	0
2.6	0	0	0	0	0	1
3.4	0	0	1	1	0	0
3.5	0	0	1	0	0	0
3.6	0	1	0	0	0	1
4.5	0	0	0	1	0	0
4.6	0	1	1	0	0	1
5.6	0	1	1	1	0	1

Бульова функція в повній кон'юнктивній формі має вигляд

$$F_k = \Pi_1 (\Pi_1 + \Pi_6)(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_4 + \Pi_6)(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_6)(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_6) \times \\ \times (\Pi_3 + \Pi_4)\Pi_3(\Pi_2 + \Pi_6)\Pi_4(\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_6) (\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_6)\Pi_6.$$

Бульова функція в мінімізованій кон'юнктивній формі має вигляд

$$F_{mk} = \Pi_1 \Pi_3 \Pi_6$$

та визначає один мінімальний діагностичний тест з трьома перевірками.

Автоматизована лінія обробки письмової кореспонденції (Варіант 4). У даному варіанті автоматизованої лінії обробки письмової кореспонденції застосовується система ручного відеокодування письмової кореспонденції з рукописною адресою за відсутності поштового індексу або за випадків відмови його автоматичного розпізнавання [4,5,6]. Об'єкт заданий моделлю, показаною на рис. 3.4 (специфікація елементів та вхідних впливів і вихідних параметрів аналогічна моделі 2 за винятком того, що A_6 – система ручного відеокодування письмової кореспонденції, X_2 – не кодована ПК, Z_6 – кодована ПК) у відповідності з якою складена таблиця взаємозалежності вихідних параметрів (табл. 3.13).

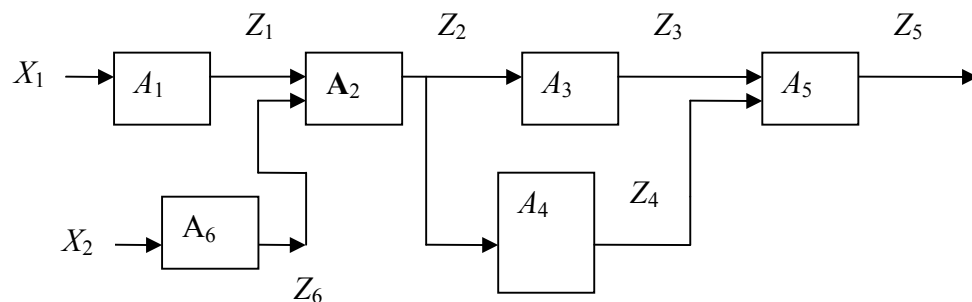


Рисунок 3.4 – Функціональна модель АЛ ОПК, як об'єкта діагностики (варіант 4)

Взаємозалежність вихідних параметрів. Таблиця табл.3.13

№	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
A_1	1	1	1	1	1	1
A_2	0	1	1	1	1	0
A_3	0	0	1	0	1	0
A_4	0	0	0	1	0	0
A_5	0	0	0	0	1	0
A_6	0	1	1	1	1	1

Можливі стани елементів функціональної моделі, зображеної на рис. 3.4, надані в табл. 3.14.

Таблиця 3.14 – Можливі стани елементів функціональної моделі

№	Код стана	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆
A ₀	11111	1	1	1	1	1	1
A ₁	01111	0	0	0	0	0	1
A ₂	10111	1	0	0	0	0	1
A ₃	11011	1	1	0	1	0	1
A ₄	11101	1	1	1	0	1	1
A ₅	11110	1	1	1	1	0	1
A ₆	111110	1	0	0	0	0	0

Матриця несправностей об'єкта діагностики надана в табл. 3.15.

Таблиця 3.15 – Матриця несправностей

№	Π ₁	Π ₂	Π ₃	Π ₄	Π ₅	Π ₆
1	0	0	0	0	0	1
2	1	0	0	0	0	1
3	1	1	0	1	0	1
4	1	1	1	0	1	1
5	1	1	1	1	0	1
6	1	0	0	0	0	0

Побудована на основі матриці несправностей бульова матриця надана в табл. 3.16, за аналізу якої нижче записується бульова функція в повній кон'юнктивній формі.

Бульова функція у повній кон'юнктивній формі має вигляд

$$F_k = \Pi_1(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_4)(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_5)(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4) \times \\ \times (\Pi_1 + \Pi_6)(\Pi_2 + \Pi_4)(\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_5)(\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4)\Pi_6(\Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5)(\Pi_2 + \Pi_6) \times \\ \times (\Pi_2 + \Pi_6)(\Pi_4 + \Pi_5)(\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_5 + \Pi_6) (\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_6)$$

Таблиця 3.16 – Бульова матриця

№	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6
1.2	1	0	0	0	0	0
1.3	1	1	0	1	0	0
1.4	1	1	1	0	1	0
1.5	1	1	1	1	0	0
1.6	1	0	0	0	0	1
2.3	0	1	0	1	0	0
2.4	0	1	1	0	1	0
2.5	0	1	1	1	0	0
2.6	0	0	0	0	0	1
3.4	0	0	1	1	1	0
3.5	0	0	1	0	0	1
3.6	0	1	0	0	0	1
4.5	0	0	0	1	1	0
4.6	0	1	1	0	1	1
5.6	0	1	1	1	0	1

та після мінімізації – в мінімальній кон'юнктивній формі

$$F_{\text{МК}} = \Pi_1(\Pi_2 + \Pi_4)(\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_5)(\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4)\Pi_6(\Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5)((\Pi_4 + \Pi_5).$$

Перетворення мінімальної бульової функції в диз'юнктивну форму, кожна кон'юнкція якої визначає діагностичний тест, має вигляд

$$\begin{aligned} F_{\text{МК}} &= \Pi_1(\Pi_2 + \Pi_4)(\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_5)(\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4)\Pi_6(\Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5)((\Pi_4 + \Pi_5) = \\ &= (\Pi_1\Pi_2 + \Pi_1\Pi_4)(\Pi_1\Pi_2 + \Pi_1\Pi_3 + \Pi_1\Pi_5) \Pi_1\Pi_6(\Pi_1\Pi_3 + \Pi_1\Pi_4 + \Pi_1\Pi_5) = \\ &= (\Pi_1\Pi_2\Pi_6 + \Pi_1\Pi_4\Pi_6)(\Pi_1\Pi_2\Pi_6 + \Pi_1\Pi_3\Pi_6 + \Pi_1\Pi_5\Pi_6)(\Pi_1\Pi_3\Pi_6 + \\ &+ \Pi_1\Pi_4\Pi_6 + \Pi_1\Pi_5\Pi_6)(\Pi_1\Pi_4\Pi_6 + \Pi_1\Pi_5\Pi_6), \end{aligned}$$

або після відповідних підстановок

$$\begin{aligned} (a + b)(a + c + d)(c + b + d)(b + d) &= (a + ac + ad + ab + bc + bd)(cb + cd + b + \\ &+ bc + d) = abc + acd + ab + abd + abd + ad + acb + acd + acb + acbd + acbd + \end{aligned}$$

$$acd + acbd + acd + abd + abc + ab + bc + bcd + bc + bc + bcd + bcd + bcd + bcd + bd + bcd + bcd + bd + bd = acb + acd + ab + abd + ad + acbd + bc + bcd + bd.$$

Мінімально-достатня сукупність діагностичних тестів буде включати в себе наступні тести

$$ab, ad, bc, bd$$

та після зворотних підстановок позначень номерів перевірок –

$$P_1P_2P_6P_1P_4P_6, P_1P_2P_6P_1P_5P_6, P_1P_4P_6 P_1P_3P_6, P_1P_4P_6P_1P_5P_6$$

й остаточно

$$P_1P_2P_4P_6, P_1P_2P_5P_6, P_1P_3P_4P_6, P_1P_4P_5P_6.$$

Для діагностичного контролю, за умови однакової кількості перевірок у тестах, як наведено вище, вибирається такий, який забезпечує мінімальний середній час контролю за комплексним критерієм, що враховує ймовірність відмов елементів функціональної моделі та необхідний час їх перевірки [1].

3.2. Загальний автоматизований виробничий процес поштового зв'язку, як об'єкт контролю та діагностики

Загальний автоматизований виробничий процес – послідовність певних технологічних процесів, що забезпечують переміщення поштового відправлення від відправника до одержувача (корисний ефект – послуга поштового зв'язку) [1,4], як об'єкт контролю та діагностики заданий діагностичною моделлю у відповідності зі складом структурних елементів якої і їх функціональними зв'язками [3] побудована функціональна модель об'єкта діагностики (рис 3.5), за наступної специфікації елементів їх вхідних впливів та вихідних параметрів: A_1 – виймання ПК з поштових ящиків; A_2 – попередня обробка ПК (розбирання, лицювання-штемпелювання); A_3 загальне сортування; A_4 – детальне сортування; A_5 – зовнішнє транспортування; A_6 – сортування та доставляння адресату; X_1 та X_2 – відповідно, ПК з поштових ящиків та вхідна ПК; Z_1 – ПК з поштових ящиків доставлена до сортувального центру; Z_2 – розібрана за розмірами, масою та жорсткістю, лицювана та штемпельована ПК; Z_3 – ПК загального сортування; Z_4 – ПК детального сортування; Z_5 – вхідна ПК доставлена до сортувального центру; Z_6 – сортована та доставлена адресату ПК. Таблиця взаємозалежності вихідних параметрів елементів ФМ ОД надана в табл. 3.17.

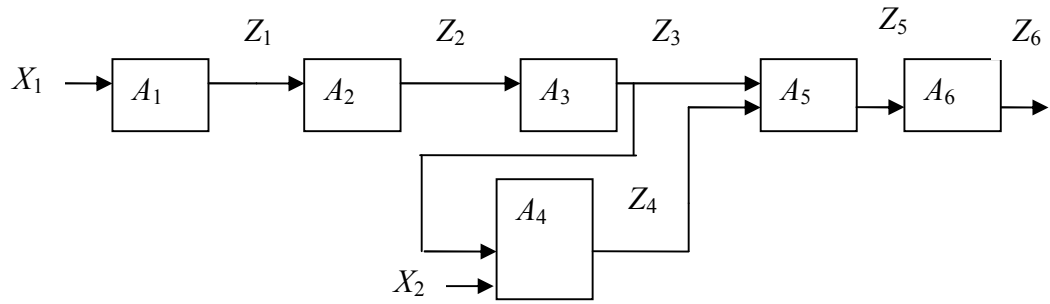


Рисунок 3.5 – Функціональна модель загального автоматизованого виробничий процесу як об'єкта діагностики.

Таблиця.3.17 – Взаємозалежність вихідних параметрів елементів

№	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
A_1	1	1	1	1	1	1
A_2	0	1	1	1	1	1
A_3	0	0	1	1	1	1
A_4	0	0	0	1	1	1
A_5	0	0	0	0	1	1
A_6	0	0	0	0	0	1

Можливі стани елементів функціональної моделі, зображеної на рис. 3.5, надані в табл. 3.18.

Таблиця 3.18 – Можливі стани елементів функціональної моделі

№	Код стана	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
A_0	11111	1	1	1	1	1	1
A_1	01111	0	0	0	0	0	0
A_2	10111	1	0	0	0	0	0
A_3	11011	1	1	0	0	0	0
A_4	11101	1	1	1	0	0	0
A_5	11110	1	1	1	1	0	0
A_6	111110	1	1	1	1	1	0

Матриця несправностей об'єкта діагностики надана в табл. 3.19

Таблиця 3.19 – Матриця несправностей

№	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆
1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0
4	1	1	1	0	0	0
5	1	1	1	1	0	0
6	1	1	1	1	1	0

Побудована на основі матриці несправностей бульова матриця надана в табл. 3.20, за аналізу якої нижче записується бульова функція в повній кон'юнктивній формі.

Таблиця 3.20 – Бульова матриця

№	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅
1.2	1	0	0	0	0
1.3	1	1	0	0	0
1.4	1	1	1	0	0
1.5	1	1	1	1	0
2.3	0	1	0	0	0
2.4	0	1	1	0	0
2.5	0	1	1	1	0
3.4	0	0	1	0	0
3.5	0	0	1	1	0
4.5	0	0	0	1	1

Бульова функція в повній кон'юнктивній формі має вигляд

$$F_k = \Pi_1(\Pi_1 + \Pi_2)(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3)(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4) \Pi_2(\Pi_2 + \Pi_3)(\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4) \Pi_3(\Pi_3 + \Pi_4)(\Pi_4 + \Pi_5).$$

Бульова функція опису функціональної моделі у мінімізованій кон'юнктивній формі має вигляд

$$F_{mk} = \Pi_1 \Pi_2 \Pi_3(\Pi_4 + \Pi_5) = (\Pi_1 \Pi_4 + \Pi_1 \Pi_5) (\Pi_2 \Pi_4 + \Pi_2 \Pi_5)(\Pi_3 \Pi_4 + \Pi_3 \Pi_5).$$

Перетворення мінімальної бульової функції, за відповідних підстановок, в диз'юнктивну форму, кожна кон'юнкція якої визначає діагностичний тест має вигляд

$$\begin{aligned} F_{mk} &= (a + b)(c + d)(e + g) = (ac + ad + bc + bd)(e + g) = \\ &= ace + acg + ade + adg + bce + bcg + bde + bdg = F_d \end{aligned}$$

та після зворотних підстановок відповідних позначень перевірок, з урахуванням мінімізації за тотожністю бульової алгебри $X_1 X_1 = X_1$ має остаточний вигляд

$$\begin{aligned} F_d &= \Pi_1 \Pi_4 \Pi_2 \Pi_4 \Pi_3 \Pi_4 + \Pi_1 \Pi_4 \Pi_2 \Pi_4 \Pi_3 \Pi_5 + \Pi_1 \Pi_4 \Pi_2 \Pi_5 \Pi_3 \Pi_4 + \Pi_1 \Pi_4 \Pi_2 \Pi_5 \Pi_3 \Pi_5 + \\ &+ \Pi_1 \Pi_5 \Pi_2 \Pi_4 \Pi_3 \Pi_4 + \Pi_1 \Pi_5 \Pi_2 \Pi_4 \Pi_3 \Pi_5 + \Pi_1 \Pi_5 \Pi_2 \Pi_5 \Pi_3 \Pi_4 + \Pi_1 \Pi_5 \Pi_2 \Pi_4 \Pi_3 \Pi_5 = \\ &= \Pi_1 \Pi_2 \Pi_4 \Pi_3 + \Pi_1 \Pi_2 \Pi_4 \Pi_3 \Pi_5 + \Pi_1 \Pi_2 \Pi_5 \Pi_3 \Pi_4 + \Pi_1 \Pi_4 \Pi_2 \Pi_3 \Pi_5 + \Pi_1 \Pi_5 \Pi_2 \Pi_3 \Pi_4 + \\ &+ \Pi_1 \Pi_2 \Pi_4 \Pi_3 \Pi_5 + \Pi_1 \Pi_2 \Pi_5 \Pi_3 \Pi_4 + \Pi_1 \Pi_2 \Pi_4 \Pi_3 \Pi_5 = \\ &= \Pi_1 \Pi_2 \Pi_4 \Pi_3 + \Pi_1 \Pi_2 \Pi_3 \Pi_4 \Pi_5 = F_{dm}. \end{aligned}$$

Дві кон'юнкції, що входять у пошукову бульову функцію F_{dm} , утворюють два елементарних тести, з яких тест $\Pi_1 \Pi_2 \Pi_3 \Pi_4$ має мінімальну кількість перевірок, тому є доцільним для використання як такого, для реалізації якого потрібні менші часові та матеріальні витрати.

3.3. Керуючі пристрої маніпулятора систем автоматизованого складування об'єктів технологічної обробки

Керуючий пристрій маніпулятора автоматизованого складу посилок на основі кінцевого автомата. Керуючий пристрій виконуючого органу (платформи) маніпулятора виконаний за архітектурою кінцевого автомата Мура, подається як об'єкт контролю у процесі функціонування маніпулятора автоматизованого складу та його діагностування структурною схемою (діагностичною моделлю) у відповідності зі

ДАЛ!!складом структурних елементів якої і їх функціональними зв'язками побудована функціональна модель об'єкта діагностики (рис. 3.6) за наступної специфікації елементів їх входних впливів та вихідних параметрів: A_1 – реєстр адреси поточної мікрокоманди в який записується адреса початкового номера мікропрограми формування керуючих дій платформи при увімкненні керуючого пристрою або адреса наступної мікрокоманди у процесі функціонування; A_2 – постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП) в який записується мікропрограма формування керуючих дій рухом робочих органів платформи; A_3 – схема синхронізації за тактовими імпульсами X_1 та сигналами давачів стану платформи $X_2...X_5$ процесу виконання мікрокоманд і формування умови переходу до наступної мікрокоманди; A_4 – тригерна схема формування керуючої дії «Рух платформи вправо», яка за імпульсом на виході ПЗП тривалістю в один тактовий імпульс формує сигнал «1» тривалістю певного циклу руху платформи вліво або вправо; A_5 – схема формування коду керуючої дії «Рух платформи вліво», що функціонує аналогічно A_4 ; Z_1 – двійковий код адреси поточної мікрокоманди; Z_2 – поточний код вихідної функції формування керуючої дії; Z_3 – двійковий код умови переходу до наступної адреси поточної мікрокоманди; Z_4 та Z_5 – двійковий код керуючої дії «Рух платформи вправо» та «Рух платформи вліво», відповідно; $X_6... X_7$ – команди напрямку руху платформи.

Взаємозалежність вихідних параметрів елементів функціональної моделі надана в табл. 3.21.

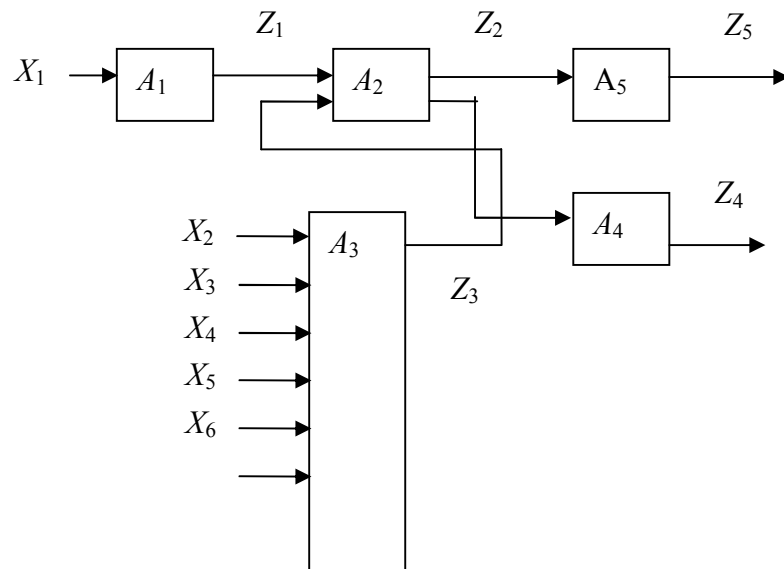


Рисунок 3.6 – Функціональна модель керуючого пристрою платформи маніпулятора на основі кінцевого автомата

Таблиця 3.21 – Взаємозалежність вихідних параметрів елементів

№	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
A_1	1	1	0	1	1
A_2	0	1	0	1	1
A_3	0	1	1	1	1
A_4	0	0	0	1	0
A_5	0	0	0	0	1

Можливі стани елементів функціональної моделі, зображеної на рис. 3.6, надані в табл. 3.22.

Таблиця 3.22 – Можливі стани елементів функціональної моделі

№	Код стана	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
A_0	11111	1	1	1	1	1
A_1	01111	0	0	1	0	0
A_2	10111	1	0	1	0	0
A_3	11011	1	0	0	0	0
A_4	11101	1	1	1	0	1
A_5	11110	1	1	1	1	0

Матриця несправностей об'єкта діагностики надана в табл. 3.23.

Таблиця 3.23 – Матриця несправностей керуючого пристрою платформи маніпулятора

№	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅
1	0	0	1	0	0
2	1	0	1	0	0
3	1	0	0	0	0
4	1	1	1	0	1
5	1	1	1	1	0

Побудована на основі матриці несправностей бульова матриця надана в табл. 3.24, за аналізу якої нижче записується бульова функція у повній кон'юнктивній формі.

Таблиця 3.24 – Бульова матриця

№	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅
1.2	1	0	0	0	0
1.3	1	0	1	0	0
1.4	1	1	0	0	1
1.5	1	1	0	1	0
2.3	0	0	1	0	0
2.4	0	1	0	0	1
2.5	0	1	0	1	0
3.4	0	1	1	0	1
3.5	0	1	1	1	0
4.5	0	0	0	1	1

Бульова функція в повній кон'юнктивній формі має вигляд

$$F_k = \Pi_1(\Pi_1 + \Pi_3)(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_5)(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_4)\Pi_3(\Pi_2 + \Pi_5)(\Pi_2 + \Pi_4)(\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_5)(\Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4)(\Pi_4 + \Pi_5)$$

та після мінімізації за тотожностями бульової алгебри $X_1(X_1 + X_2)$, $X_1X_1 = X_1$

$$F_{\text{км}} = \Pi_1(\Pi_2 + \Pi_5)(\Pi_2 + \Pi_4)\Pi_3(\Pi_4 + \Pi_5).$$

Перетворення мінімальної кон'юнктивної форми бульової функції у диз'юнктивну форму, кожна кон'юнкція якої визначає діагностичний тест, проводиться шляхом поетапного логічного множення її аргументів у вигляді

$$F_{\text{км}} = \Pi_1(\Pi_2 + \Pi_5)(\Pi_2 + \Pi_4)\Pi_3(\Pi_4 + \Pi_5) = (\Pi_1\Pi_2 + \Pi_1\Pi_5)(\Pi_1\Pi_2 + \Pi_1\Pi_4)(\Pi_3\Pi_4 + \Pi_3\Pi_5)$$

і далі, за відповідних підстановок:

- $\Pi_1\Pi_2 = a$;
- $\Pi_1\Pi_5 = b$;
- $\Pi_1\Pi_4 = c$;
- $\Pi_3\Pi_4 = d$;
- $\Pi_3\Pi_5 = e$,

та після скорочення подання

$$F_{\text{км}} = (a + b)(a + c)(d + e) = (aa + ac + ab + bc)(d + e) =$$

$$ad + ae + acd + ace + abd + abe + bcd + bce = F_{\text{д}}.$$

Після зворотних підстановок відповідних позначень перевірок, з урахуванням мінімізації за тотожністю бульової алгебри $X_1X_1 = X_1$ диз'юнктивна форма функції $F_{\text{д}}$ має остаточний вигляд

$$\begin{aligned} F_{\text{д}} &= \Pi_1\Pi_2\Pi_3\Pi_4 + \Pi_1\Pi_2\Pi_3\Pi_5 + \Pi_1\Pi_2\Pi_1\Pi_4\Pi_3\Pi_4 + \Pi_1\Pi_2\Pi_1\Pi_4\Pi_3\Pi_5 + \\ &+ \Pi_1\Pi_2\Pi_1\Pi_5\Pi_3\Pi_4 + \Pi_1\Pi_2\Pi_1\Pi_5\Pi_3\Pi_5 + \Pi_1\Pi_5\Pi_1\Pi_4\Pi_3\Pi_4 + \Pi_1\Pi_2\Pi_1\Pi_4\Pi_3\Pi_5 = \\ &= \Pi_1\Pi_2\Pi_3\Pi_4 + \Pi_1\Pi_2\Pi_3\Pi_5 + \Pi_1\Pi_2\Pi_3\Pi_4 + \Pi_1\Pi_2\Pi_4\Pi_3\Pi_5 + \Pi_1\Pi_2\Pi_5\Pi_3\Pi_4 + \Pi_1\Pi_2\Pi_3\Pi_5 \\ &+ \Pi_1\Pi_5\Pi_3\Pi_4 + \Pi_1\Pi_2\Pi_4\Pi_3\Pi_5 = \Pi_1\Pi_2\Pi_3\Pi_4 + \Pi_1\Pi_2\Pi_3\Pi_5 + \Pi_1\Pi_2\Pi_4\Pi_3\Pi_5 + \\ &+ \Pi_1\Pi_5\Pi_3\Pi_4 \end{aligned}$$

і визначає пошукову мінімально достатню сукупність діагностичних тестів, що включає у себе три діагностичних тести з чотирма перевірками та один тест з п'ятьма перевірками.

Для вибору одного з трьох мінімальних тестів доцільно вибрати такий, для реалізації якого потрібні менші часові та матеріальні витрати. Для цього, як зазначалось вище, виконується вибір тестів з оптимізацією послідовності перевірок з використанням жорсткої програми контролю за комплексним критерієм, що враховує ймовірність відказів елементів та час їх перевірки і забезпечує мінімальний середній час локалізації несправності [3].

Керуючий пристрій виконуючого органу маніпулятора автоматизованого складу посилок з застосуванням мікроконтролерів.

Керуючий пристрій платформи маніпулятора побудований за архітектурою мікропроцесорної системи з застосуванням двох мікроконтролерів, наприклад, типу PIC16F690 подається як об'єкт контролю у процесі функціонування маніпулятора автоматизованого складу та його діагностування структурною схемою (діагностичною моделлю) у відповідності зі складом структурних елементів якої і їх функціональними зв'язками побудована функціональна модель об'єкта діагностики (рис. 3.7), за наступної специфікації елементів їх вхідних впливів та вихідних параметрів: A_1 – плата вводу-виводу; A_2 – перший мікроконтролер; A_3 – другий мікроконтролер; A_4 – плата узгодження з пультом керування; A_5 – плата формування керуючої дії «Рух платформи вправо»; A_6 – плата формування коду керуючої дії «Рух платформи вліво»; Z_1 – коди сигналів давачів поточного положення платформи; Z_2 – коди сигналів інформаційного зв'язку мікроконтролерів, стосовно формування керуючих дій; Z_3 – двійковий код керуючої дії; Z_4, Z_5 – двійковий код адреси поточної мікрокоманди формування керуючої дії, відповідно, «Рух платформи вправо» та «Рух платформи вліво»; $X_4 \dots X_7$ та X_2, X_3 , відповідно, сигнали давачів поточного положення платформи та сигнали команд з пульта керування напрямком її руху.

Взаємозалежність вихідних параметрів елементів функціональної моделі надана в табл. 3.25.

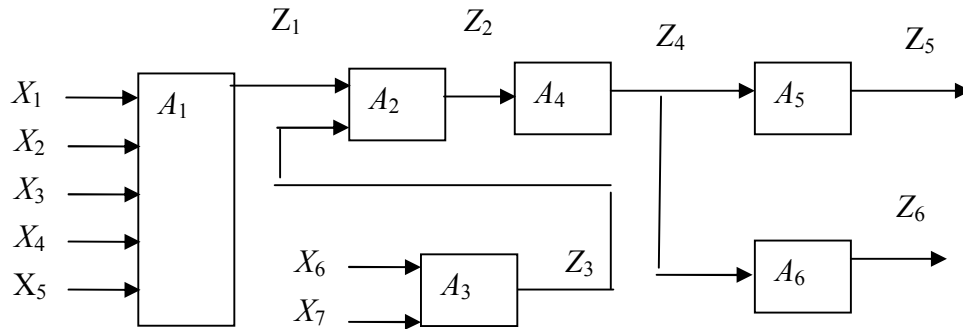


Рисунок 3.7 – Функціональна модель керуючого пристрою виконуючого органу маніпулятора з застосуванням мікроконтролерів

Таблиця 3.25 – Взаємозалежність вихідних параметрів елементів

№	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
A_1	1	1	0	1	1	1
A_2	0	1	0	1	1	1
A_3	0	1	1	1	1	1
A_4	0	0	0	1	1	1
A_5	0	0	0	0	1	0
A_6	0	0	0	0	0	1

Можливі стани елементів для функціональної моделі, зображеної на рис. 3.7, надані в табл. 3.26.

Таблиця 3.26 – Матриця станів елементів

№	Код стана	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
A_0	11111	1	1	1	1	1	0
A_1	01111	0	0	1	0	0	0
A_2	10111	1	0	1	0	0	0
A_3	11011	1	0	0	0	0	0
A_4	11101	1	1	1	0	0	0
A_5	11110	1	1	1	1	0	1
A_6	111110	1	1	1	1	1	0

Матриця несправностей об'єкта діагностики надана у табл. 3.27.

Таблиця 3.27 – Матриця несправностей

№	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆
1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0
4	1	1	1	0	0	0
5	1	1	0	1	0	1
6	1	1	0	1	1	0

Побудована на основі матриці несправностей бульова матриця надана в табл. 3.28, за аналізу якої нижче записується бульова функція у повній кон'юнктивній формі.

Таблиця 3.28 – Бульова матриця

№	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆
1.2	1	0	0	0	0	0
1.3	1	0	0	0	0	0
1.4	1	1	1	0	0	0
1.5	1	1	0	1	0	1
1.6	1	1	0	1	1	0
2.3	0	0	0	0	0	0
2.4	0	1	1	0	0	0
2.5	0	1	0	1	0	1
2.6	0	1	0	1	1	0
3.4	0	1	1	0	0	0
3.5	0	1	0	1	0	1
3.6	0	1	0	1	1	0
4.5	0	0	1	1	0	1
4.6	0	0	1	1	1	0
5.6	0	0	0	0	1	1

Бульова функція опису функціональної моделі у повній та мінімізованій кон'юнктивній формі має вигляд

$$F_K = \Pi_1 \Pi_2 (\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3) (\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_4 + \Pi_6) (\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_4 + \Pi_5) (\Pi_2 + \Pi_3) (\Pi_2 + \Pi_4 + \Pi_6) (\Pi_2 + \Pi_4 + \Pi_5) (\Pi_2 + \Pi_3) (\Pi_2 + \Pi_4 + \Pi_6) (\Pi_2 + \Pi_4 + \Pi_5) (\Pi_2 + \Pi_4 + \Pi_6) (\Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5) (\Pi_5 + \Pi_6) = \Pi_1 (\Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5) \Pi_2 (\Pi_5 + \Pi_6) = F_{MK}.$$

Перетворення мінімальної кон'юнктивної форми бульової функції в диз'юнктивну форму, кожна кон'юнкція якої визначає діагностичний тест має вигляд

$$F_{MK} = \Pi_1 (\Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5) \Pi_2 (\Pi_5 + \Pi_6) = (\Pi_1 \Pi_3 + \Pi_1 \Pi_4 + \Pi_1 \Pi_5) (\Pi_2 \Pi_5 + \Pi_2 \Pi_6)$$

і далі, за відповідних підстановок:

$$- \Pi_1 \Pi_3 = a;$$

$$- \Pi_1 \Pi_4 = b;$$

$$- \Pi_1 \Pi_5 = c;$$

$$- \Pi_2 \Pi_5 = d;$$

$$- \Pi_2 \Pi_6 = e,$$

скорочення подання, записується у вигляді

$$F_{KM} = (a + b + c)(d + e) = ad + ae + bd + be + cd + ce = F_D.$$

Після зворотних підстановок відповідних позначень перевірок, з урахуванням мінімізації за тотожністю бульової алгебри $X_1 X_1 = X_1$ диз'юнктивна форма функції F_D має остаточний вигляд

$$F_{DM} = \Pi_1 \Pi_3 \Pi_2 \Pi_5 + \Pi_1 \Pi_3 \Pi_2 \Pi_6 + \Pi_1 \Pi_4 \Pi_2 \Pi_5 + \Pi_1 \Pi_4 \Pi_2 \Pi_6 + \Pi_1 \Pi_5 \Pi_2 \Pi_5 + \Pi_1 \Pi_5 \Pi_2 \Pi_6 \\ = \Pi_1 \Pi_3 \Pi_2 \Pi_5 + \Pi_1 \Pi_3 \Pi_2 \Pi_6 + \Pi_1 \Pi_4 \Pi_2 \Pi_5 + \Pi_1 \Pi_4 \Pi_2 \Pi_6 + \Pi_1 \Pi_2 \Pi_5 + \Pi_1 \Pi_5 \Pi_2 \Pi_6$$

і визначає пошукову мінімально достатню сукупність діагностичних тестів, що включає у себе п'ять діагностичних тестів з чотирма перевірками та один тест з трьома перевірками.

Як зазначалось вище для проведення діагностичного контролю з отриманої сукупності тестів вибирається такий, який забезпечує мінімальний середній час контролю за комплексним критерієм, що враховує ймовірність відмов елементів функціональної моделі та необхідний час їх перевірки.

Надані вище функціональні моделі вузлів керуючого пристрою маніпулятора та синтезовані діагностичні тести призначені для розробки алгоритмічного, програмного забезпечення мікропроцесорної підсистеми контролю та діагностики автоматизованого складу, а також промислових робіт установок сортування важкої пошти та автоматизованих ліній оброблення письмової кореспонденції [4,5,6].

Контрольні питання

1. Дати специфікацію (перелік) елементів вхідних впливів та вихідних параметрів функціональної моделі автоматизованої лінії оброблення письмової кореспонденції як об'єкта діагностування.
2. За якими технічними характеристиками та з якою метою, проводиться розбирання письмової кореспонденції на стандартну та нестандартну.
3. Назвати складові операції автоматичного лицювання-штемпелювання, що потребують автоматичного контролю.
4. Пояснити необхідність застосування в автоматизованій лінії місць ручного оброблення письмової кореспонденції.
5. За якими адресними ознаками проводиться загальне та детальне сортування поштових відправлень.
6. Назвати складові операції формування постпакетів стосовно її автоматизації та контролю.
7. Які адресні ознаки поштових відправлень та за яких умов можуть підлягати ручному відеокодуванню.
8. Назвати специфікацію(перелік) елементів, вхідних впливів та вихідних параметрів функціональної моделі загального автоматизованого виробничого процесу поштового зв'язку.

Додаток 1

Програмне забезпечення синтезу мінімально-достатньої системи діагностичних тестів

1. Комп'ютерна програма оптимізації множини тестів у автоматизованих системах контролю і діагностики

Програмне забезпечення синтезу мінімально-достатньої системи діагностичних тестів включає у себе комп'ютерну програму та її інтерфейс(робоче вікно). призначені для визначення мінімальної кількості тестів в автоматизованих системах контролю і діагностики технічних засобів автоматизації технологічних процесів.

Повна кон'юнктивна форма бульового опису функціональної моделі об'єкта діагностики вводиться у верхнє поле робочого вікна комп'ютерної програми та після виконання операцій мінімізації і перетворення кон'юнктивної форми в диз'юнктивну форму бульового опису здійснюється вибір мінімального тесту за кількістю перевірок, з виводом результатів у нижнє поле робочого вікна комп'ютерної програми.

Текст програми:

```
unit MainUnit;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, StdCtrls, Menus;
```

```
type
```

```
TForm1 = class(TForm)
```

```
  Edit1: TEdit;
```

```
  btn1: TButton;
```

```
  btn2: TButton;
```

```
  btn3: TButton;
```

```
  Edit2: TEdit;
```

```
  Memo1: TMemo;
```

```
  lbl2: TLabel;
```

```
  lbl3: TLabel;
```

```
  lbl4: TLabel;
```

```
  lbl6: TLabel;
```

```
  Edit3: TEdit;
```

```
  procedure btn1Click(Sender: TObject);
```

```
  procedure btn2Click(Sender: TObject);
```

```
  procedure btn3Click(Sender: TObject);
```

```
  procedure N2Click(Sender: TObject);
```

```

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;
  s1: String;

implementation

{$R *.dfm}

procedure TForm1.btn1Click(Sender: TObject);

var s,ss:string;
    bs:array[1..30]of string[20];
    s1:string[20];
    i,j,k:integer;

    begin
  for i:=1 to 30 do
  bs[i]:= "";
  s:=Edit1.text;
  k:=1;
  s1:=copy(s,1,Pos('(',s)-1);
  bs[k]:=s1;
  delete(s,1,Pos('(',s)-1);
  k:=k+1;
  while Length(s)>0 do
  begin
  s1:=copy(s,1,Pos(')',s));
  bs[k]:=s1;
  delete(s,1,Pos(')',s));
  k:=k+1;
  end;
  for i:=2 to k do
  if pos(bs[1],bs[i])<>0 Then
  bs[i]:= "";
  s:= "";
  for i:=1 to k do
  s:=s+bs[i];
  Edit2.text:=s;
  end;

```

```
procedure TForm1.btn2Click(Sender: TObject);
```

```

var s:string;
    // s1:String;
    s2:String[30];
    s3:string[10];
    bs:array[1..30]of string;
    i,j,k:integer;
    ii,jj:integer;

begin
  for i:=1 to 30 do
    bs[i]:= "";
    s:=Edit2.text;
    k:=1;
    s1:=copy(s,1,Pos('(',s)-1);
    bs[k]:=s1;
    delete(s,1,Pos('(',s)-1);
    while Length(s)>0 do
      begin
        k:=k+1;
        s1:=copy(s,1,Pos(')',s));
        bs[k]:=s1;
        delete(s,1,Pos(')',s));
      end;
    for i:=1 to k do
      begin
        delete(bs[i],pos('(',bs[i]),1);
        delete(bs[i],pos(')',bs[i]),1);
      end;
      i:=2;
      ii:=i+1;
      while ii<=k do
        begin
          s1:= "";
          j:=1;
          while j<=Length(bs[i]) do
            begin
              s2:= "";
              s3:= "";
              if bs[i,j]='+' then
                begin
                  s3:='+';
                  inc(j);
                end;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;
```

```

while (bs[i,j]<>'') and (j<=length(bs[i])) do
begin
s2:=s2+bs[i,j];
inc(j);
end; //while <>'+'
for jj:=1 to length(bs[ii]) do
begin
if (bs[ii,jj]='+')then s1:=s1+bs[ii,jj]
else
begin
s1:=s1+s3+s2+bs[ii,jj];
s3:="";
end;
end; //for jj
end; //while j
ii:=ii+1;
bs[i]:=s1;
if (ii<=k) then s1:=s1+'+';
memo1.Lines.Add(bs[2]);
memo1.Lines.Add(' ');
end; //while ii
s1:="";
j:=1;
while j<=length(bs[2]) do
begin
s2:="";
s3:="";
if bs[2,j]='+' then
begin s3:='+';
inc(j);
end;
while (bs[2,j]<>'') and (j<=length(bs[2])) do
begin
s2:=s2+bs[i,j];
inc(j);
end; //while <>'+'
s1:=s1+s3+bs[1]+s2;
s3:="";
end;
Memo1.Clear;
Memo1.Lines.Add(s1);
end;

procedure TForm1.btn3Click(Sender: TObject);
var s,s2:string;

```

```
maxs:integer;
begin
s:=s1;
s:=s+'+';
s1:=copy(s,1,Pos('+',s)-1);
delete(s,1,Pos('+',s));
maxs:=length(s1);
s2:=s1;
while Length(s)>0 do
begin
s1:=copy(s,1,Pos('+',s)-1);
delete(s,1,Pos('+',s));
if length(s1)<maxs then
begin
maxs:=length(s1);
s2:=s1;
end;
end;
Edit3.Text:=s2;
end;
procedure TForm1.N2Click(Sender: TObject);
begin
  Close;
end;
end.
```

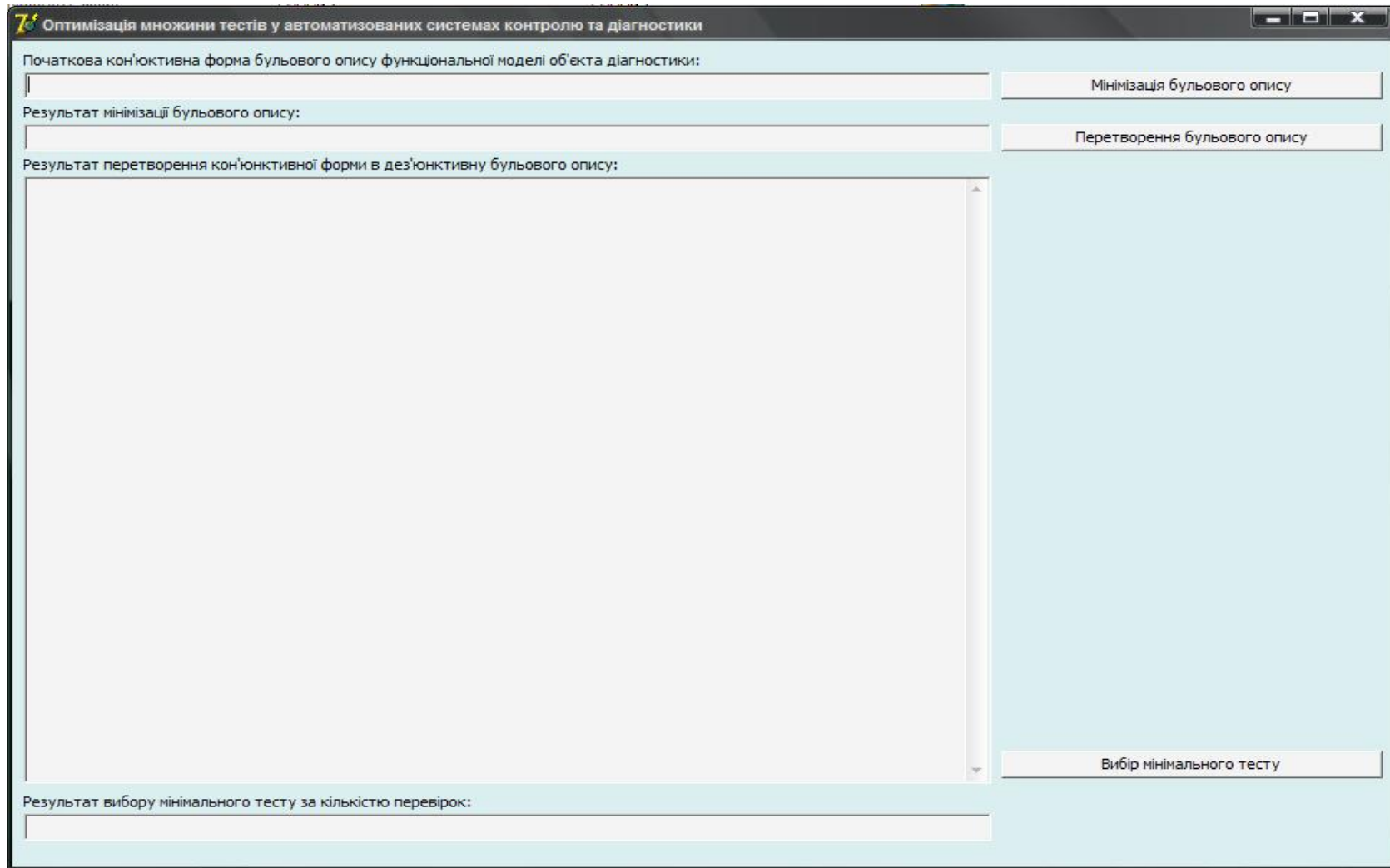


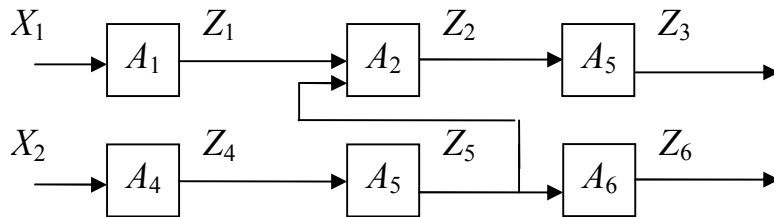
Рисунок Д.1 - Робоче вікно комп'ютерної програми "Оптимізація множини тестів в автоматизованих системах контролю та діагностики" після ініціалізації

Додаток 2.

Варіанти функціональних моделей об'єкта діагностики

Варіант № 1

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

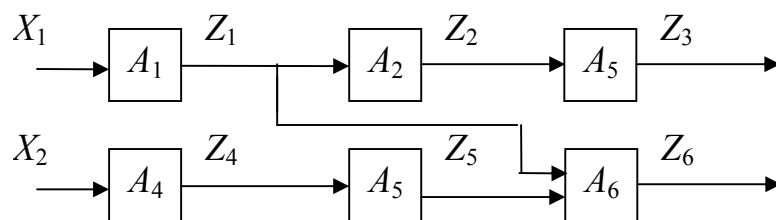
$$P_1 = 0,91; P_2 = 0,95; P_3 = 0,99; P_4 = 0, P_5 = 0,93; P_6 = 0,9.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,81.$$

Варіант № 2

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

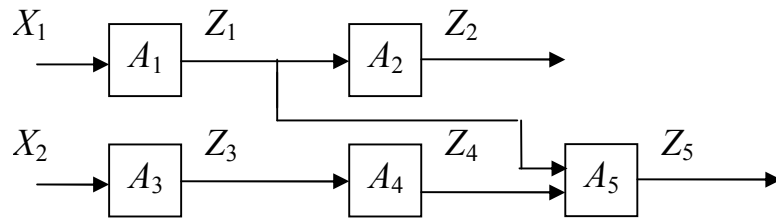
$$P_1 = 0,9; P_2 = 0,93; P_3 = 0,974; P_4 = 0,92; P_{A5} = 0,95; P_6 = 0,99.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,83.$$

Варіант № 3

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

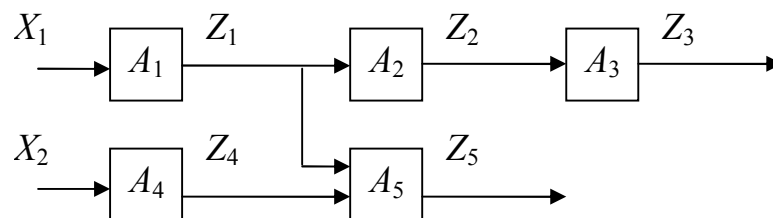
$$P_1 = 0,99; P_2 = 0,91; P_3 = 0,96; P_4 = 0,9; P_5 = 0,94.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,85.$$

Варіант № 4

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

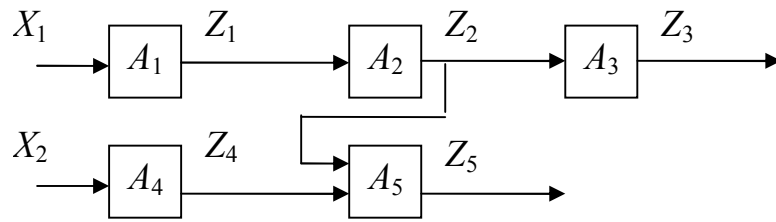
$$P_1 = 0,9; P_2 = 0,93; P_3 = 0,974; P_4 = 0,92; P_5 = 0,95.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,83.$$

Варіант № 5

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

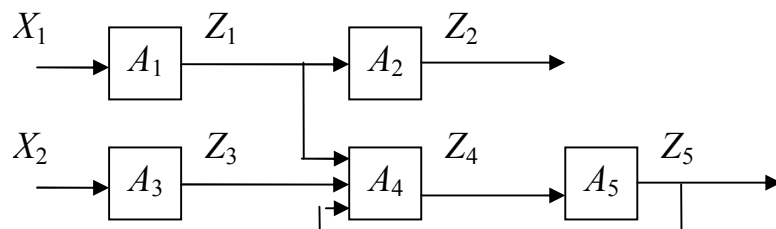
$$P_1 = 0,9; P_2 = 0,93; P_3 = 0,974; P_4 = 0,92; P_5 = 0,95.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,83.$$

Вариант № 6

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

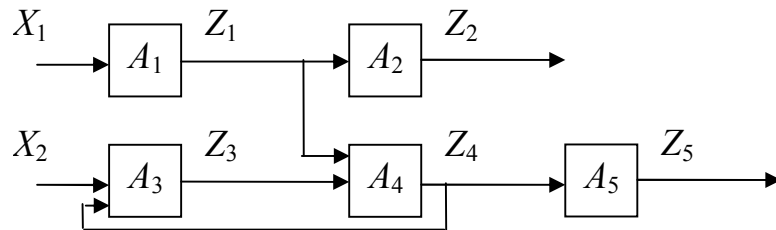
$$P_1 = 0,9; P_2 = 0,92; P_3 = 0,95; P_4 = 0,91; P_5 = 0,93.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,81.$$

Вариант № 7

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

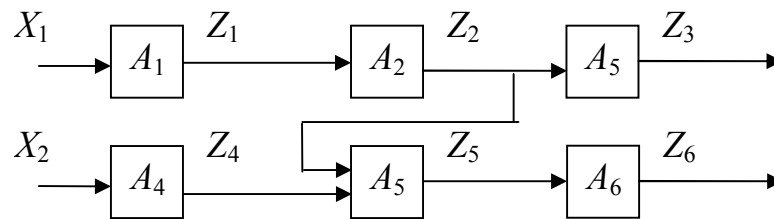
$$P_1 = 0,9; P_2 = 0,92; P_3 = 0,94; P_4 = 0,96; P_5 = 0,91.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0.83.$$

Вариант № 8

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

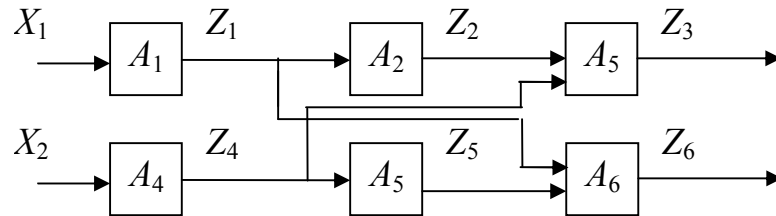
$$P_1 = 0,9; P_2 = 0,97; P_3 = 0,99; P_4 = 0,96; P_5 = 0,93; P_6 = 0,92.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,85.$$

Вариант № 9

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

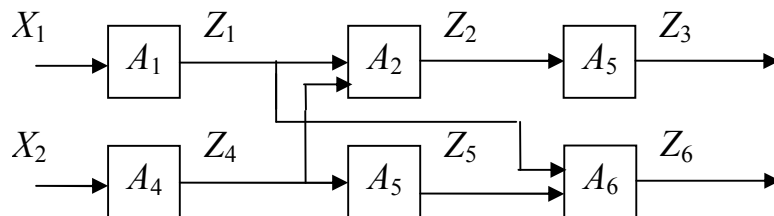
$$P_1 = 0,99; P_2 = 0,97; P_3 = 0,95; P_4 = 0,93; P_5 = 0,91; P_6 = 0,98.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0.87.$$

Вариант № 10

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

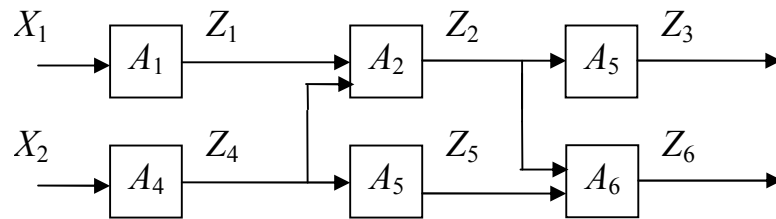
$$P_1 = 0,99; P_2 = 0,97; P_3 = 0,95; P_4 = 0,93; P_5 = 0,94; P_6 = 0,98.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,89.$$

Вариант № 11

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

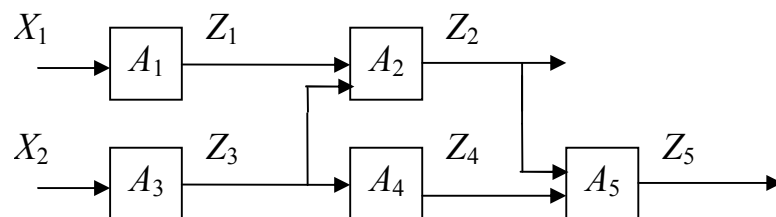
$$P_1 = 0,91; P_2 = 0,94; P_3 = 0,95; P_4 = 0,93; P_5 = 0,97; P_6 = 0,92.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,83.$$

Вариант № 12

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

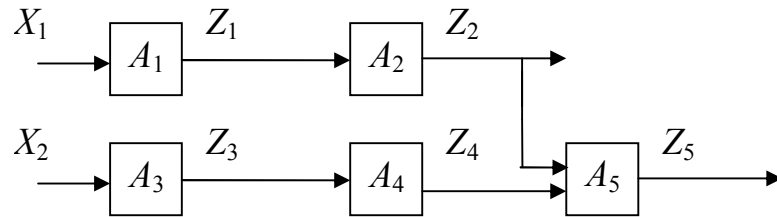
$$P_1 = 0,91; P_2 = 0,95; P_3 = 0,95; P_4 = 0,97; P_5 = 0,93.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,83.$$

Вариант № 13

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

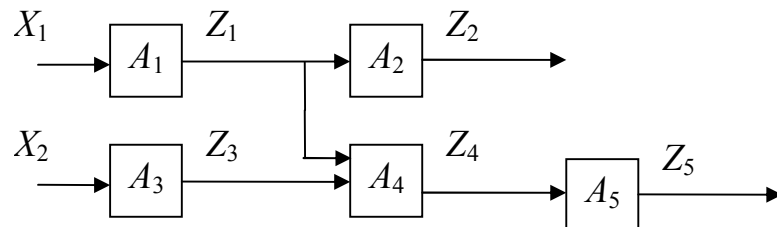
$$P_1 = 0,97; P_2 = 0,9; P_3 = 0,98; P_4 = 0,92; P_5 = 0,93.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,85.$$

Вариант № 14

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

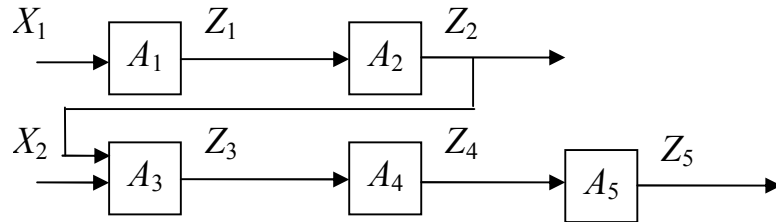
$$P_1 = 0,97; P_2 = 0,99; P_3 = 0,95; P_4 = 0,91; P_5 = 0,92.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,87.$$

Вариант № 15

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

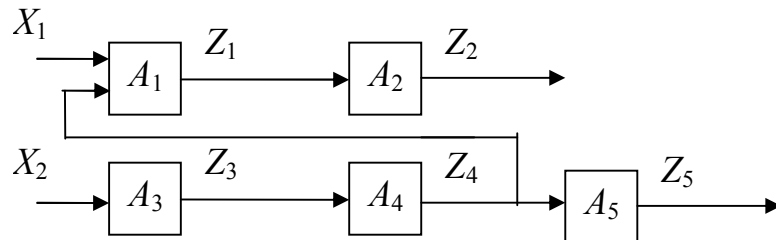
$$P_1 = 0,98; P_2 = 0,91; P_3 = 0,94; P_4 = 0,95; P_5 = 0,99.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,89.$$

Вариант № 16

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

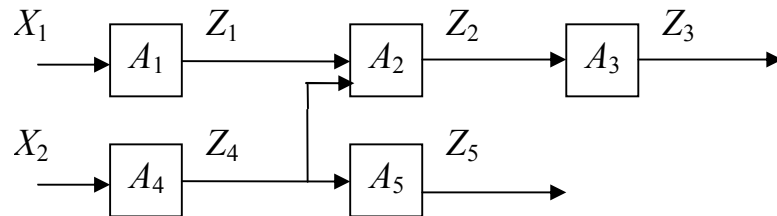
$$P_1 = 0,91; P_2 = 0,97; P_3 = 0,98; P_4 = 0,93; P_5 = 0,99.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,87.$$

Вариант № 17

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

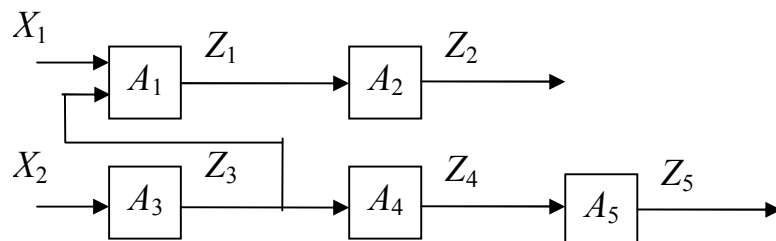
$$P_1 = 0,99; P_2 = 0,94; P_3 = 0,98; P_4 = 0,93; P_5 = 0,91.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,9.$$

Вариант № 18

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

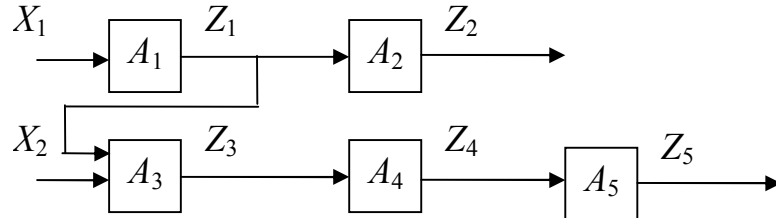
$$P_1 = 0,98; P_2 = 0,91; P_3 = 0,97; P_4 = 0,92; P_5 = 0,92.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,8.$$

Вариант №19

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

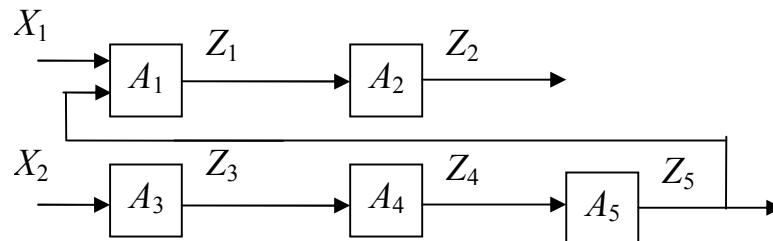
$$P_1 = 0,99; P_2 = 0,94; P_3 = 0,98; P_4 = 0,93; P_5 = 0,91.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,87.$$

Вариант № 20

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

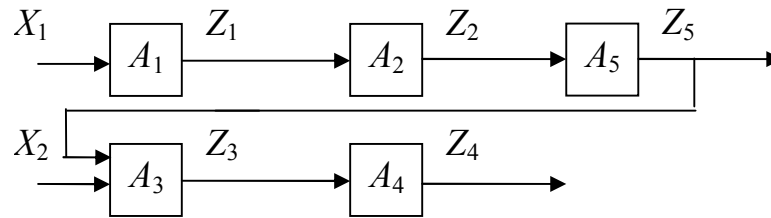
$$P_1 = 0,89; P_2 = 0,99; P_3 = 0,93; P_4 = 0,91; P_5 = 0,9.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0.82.$$

Вариант № 21

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

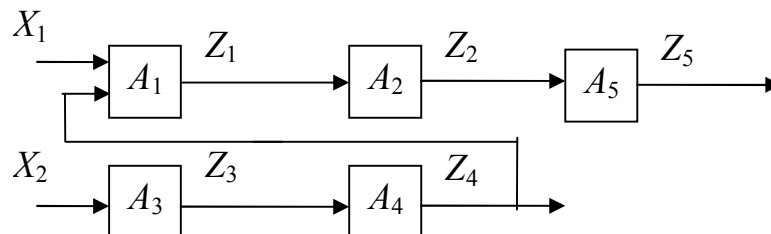
$$P_1 = 0,98; P_2 = 0,94; P_3 = 0,99; P_4 = 0,9; P_5 = 0,91.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,81.$$

Вариант № 22

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

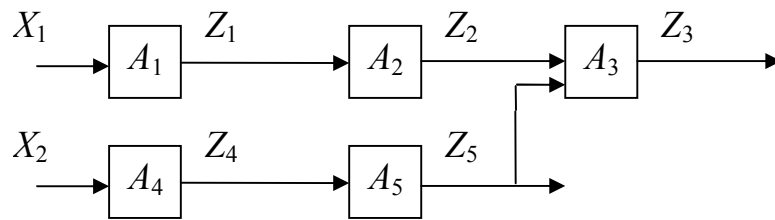
$$P_1 = 0,97; P_2 = 0,96; P_3 = 0,94; P_4 = 0,91; P_5 = 0,9.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,84.$$

Вариант № 23

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

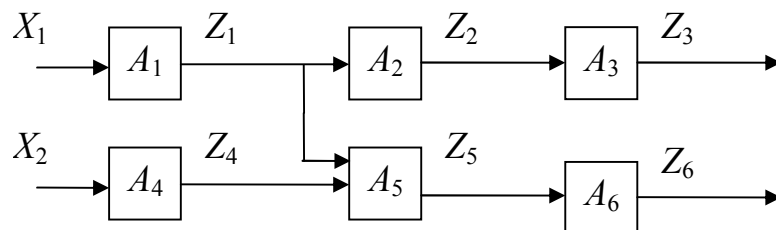
$$P_1 = 0,9; P_2 = 0,92; P_3 = 0,93; P_4 = 0,99; P_5 = 0,98.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,85.$$

Вариант № 24

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

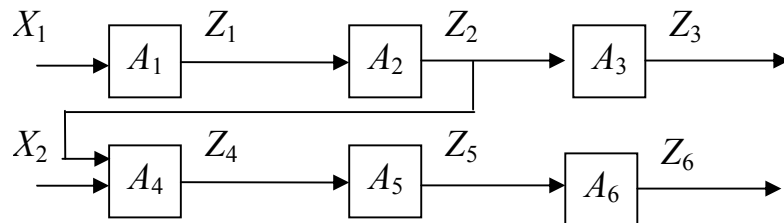
$$P_1 = 0,9; P_2 = 0,97; P_3 = 0,93; P_4 = 0,91; P_5 = 0,98; P_6 = 0,96.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,86.$$

Вариант № 25

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

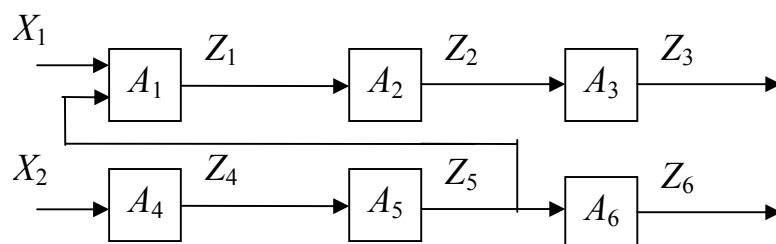
$$P_1 = 0,98; P_2 = 0,94; P_3 = 0,93; P_4 = 0,97; P_5 = 0,96; P_6 = 0,91.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0.88.$$

Вариант № 26

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

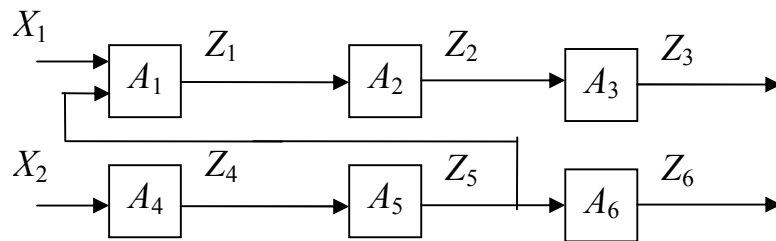
$$P_1 = 0,98; P_2 = 0,91; P_3 = 0,97; P_4 = 0,92; P_5 = 0,95; P_6 = 0,9.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,8.$$

Вариант № 27

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

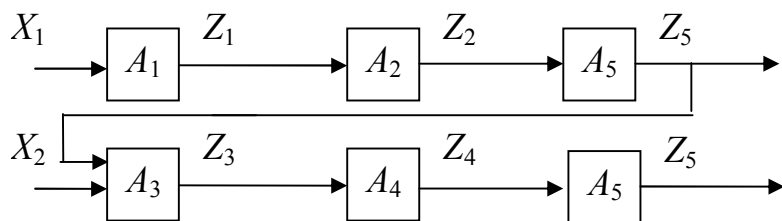
$$P_1 = 0,89; P_2 = 0,99; P_3 = 0,93; P_4 = 0,91; P_5 = 0,1; P_6 = 0,53.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,86.$$

Вариант № 28

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

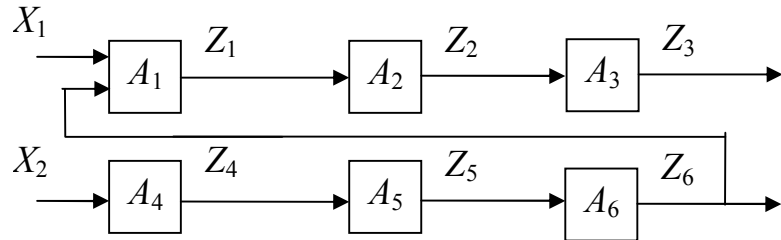
$$P_1 = 0,9; P_2 = 0,99; P_3 = 0,95; P_4 = 0,96; P_5 = 0,91; P_6 = 0,93.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,81.$$

Вариант № 29

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

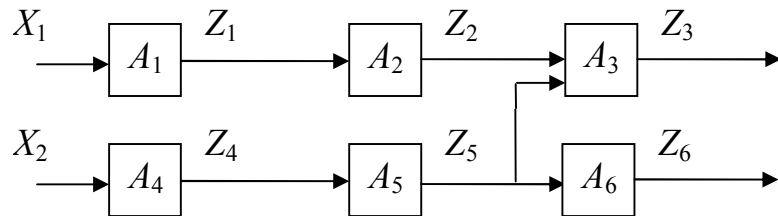
$$P_1 = 0,92; P_2 = 0,96; P_3 = 0,97; P_4 = 0,99; P_5 = 0,94; P_6 = 0,91.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,9.$$

Вариант № 30

Функціональна модель об'єкта діагностики



Ймовірність безвідмовної роботи елементів:

$$P_1 = 0,97; P_2 = 0,9; P_3 = 0,95; P_4 = 0,91; P_5 = 0,92; P_6 = 0,98.$$

Повнота контролю сукупності контрольованих параметрів

$$V_{\text{сп}} \geq 0,85.$$

Перелік посилань

1. Кріль С.С. Мережі і системи поштового зв'язку: навч. посіб. / С.С. Кріль., Л.О. Ящук, за ред. докт. техн. наук Л. О. Ящука. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2008. – 224 с.
2. Технологические процессы в почтовой связи. Кн. 1. Основные характеристики и техническое обеспечение / [Б. П. Бутенко, И. А. Мамзев, В. А. Мицкевич и др.]. – М.: Радио и связь, 1998. – 176 с.
3. Технологические процессы в почтовой связи. Кн. 2. Основы функционирования / [Б. П. Бутенко, В. В. Коршунов, И. А. Мамзев и др.]. – М.: Радио и связь, 1998. – 128 с.
4. *Макодзєб В М.* Автоматизовані системи поштового зв'язку: поштооброблювальні машини, комплекси обладнання, автоматизовані лінії: навч. посіб. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2008.– 303 с.
5. *Макодзєб В М.* Автоматизовані системи поштового зв'язку. – Ч. 2. Зчитуючі пристрої, системи розпізнавання, системи технічного зору роботів: навч. посібник.– Одеса: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2003. – 283 с.
6. *Макодзєб В.М.* Автоматизовані системи поштового зв'язку. – Ч. 3. Керуючі пристрої, комплекси обладнання, автоматизовані лінії: навч. посібник – Одеса: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2004. – 263 с.
7. *Вехова Г. В.* Технические средства автоматизации почтовой связи: учебник для вузов связи/Г. В. Вехова, В. П. Соколов, А. С. Ястребов. – С. Пб.: Изд. «Политехника», 2007. – 344 с.
8. *Балан М. М., Макодзєб В. М., Швайко І. Г., Комаров К. Ю.* Комп'ютерна програма «Оптимізація множини тестів у автоматизованих системах контролю і діагностики». ДСІВ України. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №59576. Комп'ютерна програма. Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова. Дата реєстрації 07.05.2015.
9. *Балан М.М., Швайко І.Г., Бик О.П., Бугеда Л.К., Леснук Т.Ю., Макодзєб В.М.* Комп'ютерна програма «Аналіз інформативності та повноти контрольованих параметрів в автоматизованих системах». Заявка від 25.07.2016 №68498. ДСІВ України. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №67920. Комп'ютерна програма. Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова. Дата реєстрації 22.09.2016. // Офіційний бюлетень «Авторське право і суміжні права». – Київ. – 2016. – №42. – С. 586.