

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНОМУ УНІВЕРСИТЕТУ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Єгоров Сергій Вікторович



УДК 004.942

**Комп'ютеризована система діагностування та контролю параметрів  
електронної апаратури**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

**Науковий керівник**

Заслужений метролог України, доктор технічних наук, професор  
**Квасніков Володимир Павлович**,  
Національний авіаційний університет,  
завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Кулик Анатолій Ярославович**,  
Вінницький національний медичний університет імені Миколи Івановича Пірогова,  
завідувач кафедри біологічної фізики, медичної апаратури та інформатики;

доктор технічних наук, професор,  
**Шостак Ігор Володимирович**,  
професор кафедри інженерії програмного забезпечення  
Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

Захист відбудеться «3» грудня 2019 р. о 10<sup>00</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради К26.820.04 при Державному університеті інфраструктури та технологій за адресою: 03049 м. Київ, вул. Івана Огієнка, 19.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державного університету інфраструктури та технологій за адресою: 03049 м. Київ, вул. Івана Огієнка, 19.

Автореферат розісланий «2» листопада 2019 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради К 26.820.04



О.А. Герцій

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасний етап розвитку авіаційної та космічної галузей характеризується підвищенням рівня автоматизації управління літальних апаратів і як наслідок вимагає розробки сучасних комп'ютеризованих систем діагностування. Це підтверджується тим, що з одного боку необхідно підвищувати ефективність експлуатації літальних апаратів і безпеки руху в умовах, які постійно змінюються. З іншого боку розвиток систем діагностики електронної апаратури визначається стрімким прогресом розвитку електроніки та мікропроцесорної техніки.

Для підвищення надійності та завадостійкості електронних систем, які експлуатуються в різних галузях науки і техніки необхідно проводити чисельні випробування із забезпеченням високої точності, що безперечно робить його перспективним, для дослідження з метою зменшення кількості випробувань при збереженні точності визначення показників надійності в електронній апаратурі.

Для вирішення задач даного класу необхідно створення системи, що реалізує технологію прийняття рішень для визначення параметрів надійності, що вимагає розробки комп'ютеризованих систем діагностики та відповідних методів і програмно-апаратних засобів.

Швидкий темп розвитку науки і техніки вимагає удосконалення існуючих та створення нових методів діагностики електронної апаратури комп'ютерних систем та компонентів.

Питанням розробки комп'ютеризованих систем діагностування, методів та програмно-математичного забезпечення вимірювальних систем присвячені роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених, зокрема: Богородицький М.П., Готтштайн Г., Брандон Д., Маллер Р., Фріке К., Болотін В.В., Гнеденко Б.В., Баронс П.П., Барлоу Р., Прошан Ф., Дружинін Г.В., Єфімов І.Є., Карташов Г.Д., Заренін Ю.Г., Стоянова І.І., Шор Я.Б., Вінарський М.С., Коппола А, Зелен М., Шишмарьов В.Ю. та ін.

Існуючі методи дослідження надійності комп'ютерних систем та компонентів не в повній мірі відповідають вимогам практики й рівню технології виробництва, оскільки реальні показники надійності суттєво відрізняються від прогнозних оцінок. Методи діагностики електронної апаратури не враховує ефект фігур Ліссажу та їх специфічні особливості, які мають важливе значення для розвитку теоретичних основ обробки та дослідження широкого класу сигналів.

Таким чином, вирішення наукової задачі сутність якої є розробка комп'ютеризованої системи оцінки параметрів надійності на основі створення технології обробки статистичних даних роботи електронних систем є актуальною науковою задачею і визначає напрям досліджень роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій відповідно до тематичних планів і науково-дослідних робіт Національного авіаційного університету, відповідно до постанови Кабінету Міністрів України № 3715–VI «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», зокрема за напрямом «Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки», а також відповідно до держбюджетної тематики

Міністерства освіти і науки України в науково – дослідній роботі № 864–ДБ13 «Теорія та принципи побудови інтелектуальних вимірювальних систем для контролю геометричних параметрів високоточних деталей» (номер держ. реєстрації 0113U000083, 2014 р.) та «Методологія побудови сучасних дистанційних інформаційно-вимірювальних систем» 125–ДБ17 (номер держ. реєстрації 0117U002367, 2017 р.), де автор був виконавцем.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є створення високоефективних комп'ютеризованих засобів діагностування електронної апаратури з використанням методу статистичного аналізу.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Провести аналіз існуючих методів прогнозування та розрахунку надійності при випробуванні електронних систем та компонентів та обґрунтувати переваги методу комп'ютеризованого методу проведення випробувань електронної апаратури;
2. Розробити метод проведення високоефективних випробувань електронних систем та компонентів з метою підвищення точності визначення величини безвідмовності;
3. Розробити комп'ютеризовану систему на засадах об'єкту контролю і діагностики, з метою покращення оцінки надійності електронних систем та компонентів;
4. Розробити метод оцінки параметрів надійності випробувань електронних систем та компонентів на основі методів статистичного аналізу та діагностики;
5. Вдосконалити існуюче програмне забезпечення для автоматизованої обробки параметрів випробувань електронних систем та компонентів з метою зменшення та спрощення діагностики електронних компонентів.

**Об'єкт дослідження** – процес діагностування та контролю параметрів електронної апаратури під час проведення випробувань на надійність.

**Предмет дослідження** – моделі, методи та засоби створення комп'ютеризованої системи визначення придатності електронної апаратури з використанням фігур Ліссажу та оцінки імовірності безвідмовної роботи.

**Методи дослідження** ґрунтуються на використанні теорій: ймовірностей для визначення середніх показників, математичної статистики для статистичної обробки результатів експериментів; надійності для визначення імовірності безвідмовної роботи, планування випробувань для розробки плану проведення експерименту; а також метод статистичного аналізу для розробки моделей випробувань.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У роботі розв'язано важливу наукову задачу – розроблений метод оцінки параметрів надійності на основі створення технології обробки статистичних даних відмов електронних систем. Під час розв'язання цієї задачі отримані такі нові наукові результати:

1. Вперше запропоновано комп'ютерну систему на засадах математичної моделі об'єкта контролю і діагностики з визначенням статистики відмов що дає можливість синтезувати оптимальну програму контролю їх елементів завдяки врахуванню множини операторів процесу переходу системи з одного стану в інший при дії дестабілізуючих факторів;

2. Набув подальшого розвитку комп'ютеризований метод імітації випробувань електронних систем та компонентів на основі методу Монте–Карло, який відрізняється від відомих функціональною декомпозицією процесу імітації випробувань на такі задачі: імітація статистики відмов електронних систем; перевірка правдоподібності гіпотез, що дає можливість покращення для імітації процесу проведення випробувань електронних систем та дає можливість підвищити точність визначення величини імовірності безвідмовної роботи (ІБР), завдяки використанню відновлення функціональних залежностей у випадку недостатності статистичних даних.

3. Подальший розвиток отримав комп'ютерний метод діагностування електронних систем та компонентів, який відрізняється від раніше відомих тим, що враховує кількість інформації і дає можливість визначати початок ентропії процесу деградації електронних компонентів;

4. Отримав подальший розвиток метод оцінювання надійності електронних систем та компонентів за експериментальними даними, який на відміну від існуючих відрізняється тим, що базується на перевірці правдоподібності гіпотез, а діагностика за допомогою ефекту фігур Ліссажу та забезпечує зниження похибки другого роду та зменшує вартісні та часові витрати на її проведення.

### **Практичне значення одержаних результатів**

1. Виконані теоретичні та експериментальні дослідження забезпечили перспективу розробки у вигляді алгоритмів та методу оцінки безвідмовності електронних систем та компонентів, що дає можливість зниження ризику прийняття рішення про придатність систем для експлуатації на основі статистичних даних, які були отримані при випробуваннях. Експериментальними дослідженнями і впровадженням підтверджені переваги розробленого методу.

2. У випадку використання перевірки правдоподібності гіпотез, планування випробувань електронних систем та компонентів зводиться до збору статистики відмов устаткування, яке перебуває в експлуатації, що призводить до значного спрощення методу імітації випробувань, зниження похибки першого роду.

3. Оцінювання характеристик підсистем за допомогою контрольно–вимірювальної апаратури із структурою й набором модулів, що забезпечують оперативну автоматизовану обробку параметрів стану електронних систем та їх компонентів на основі ефекту фігур Ліссажу, який на відміну від існуючих методів, використовує апаратне та програмне забезпечення з інтелектуальним інтерфейсом, в якості віртуального приладу, суттєво зменшує та спрощує діагностику електронних систем та їх компонентів при виробництві.

4. На основі байєсової теорії статистичного виводу було розроблено алгоритм пошуку оптимального розв'язку в системі технічної діагностики.

Результати досліджень впроваджені на державному підприємстві «Завод 410 цивільної авіації» та в навчальний процес Національного авіаційного університету у курсах лекцій з дисципліни «Фізичні основи сучасної метрології», «Основи наукових досліджень» та в процесі дипломного та курсового проектування «Інформаційні вимірювальні системи».

**Особистий внесок здобувача.** Всі винесені на захист положення та результати дисертаційної роботи автором отримано самостійно. У роботах

написаних у співавторстві особистий внесок здобувача полягає у наступному: [1] - досліджено метод оцінки й модель для оцінки показника надійності типу «ймовірність безвідмовної роботи» за допомогою виключно ймовірно-фізичних моделей розподілів; [2] - було розроблено комп'ютеризований метод та модель обчислення параметрів комп'ютерних систем та їх компонентів; [3] - показано, що статистика,  $\mathcal{J}=m/N$  яка використовується для оцінки показника надійності типу "ймовірність безвідмовної роботи" є достатньою, спроможною, незміщеною, ефективною; [4] - за допомогою перевірки правдоподібності гіпотез було обґрунтовано, що запропонований метод та модель оцінки ймовірності безвідмовної роботи є ефективною; [5] - був отриманий метод і модель для оцінки показника надійності типу "ймовірність безвідмовної роботи", який призводить до зниження ризику прийняття хибного рішення, про якість технічної системи, під час обробки даних, які були отримані при випробуваннях, а також уточнює цей показник; [6] - була розроблена база даних для обробки результатів досліджень у разі використання комп'ютеризованого методу обчислення параметрів комп'ютерних систем та їх компонентів.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях: VIII Міжнародній науково-технічній конференції «ABIA-2007», м. Київ, 2007 р.; на конференції Systems, Control and Information Technology (SCIT2016), м. Варшава, 2016 р.; II Международной научно-практической конференции «Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика» 2016 р. м.Алмати, на конференції The Seventh World Congress «AVIATION IN THE XXI-st CENTURY» – «Safety in Aviation and Space Technologies», м. Київ, 2016 р., Міжнародній науково-технічній конференції «ABIA-2017», 2017, м. Київ; X міжнародній науково-практичній конференції Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси «ІРТК-2017» 16-17 травня 2017, м. Київ; XI міжнародній науково-практичній конференції Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси «ІРТК-2018» 22-23 травня 2018, м. Київ.

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 15 робіт, у тому числі 7 статей в спеціалізованих фахових наукових журналах із них три в міжнародних наукометричних базах і 8 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

**Структура та загальний обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації – 194 сторінки. Основний зміст викладено на 156 сторінках, який містить 22 рисунки та, 32 таблиці. Список використаних джерел по розділам становить: перший розділ 73 джерела, другий розділ 47 джерел, третій розділ 21 джерело, четвертий розділ 32 джерела.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні задачі досліджень, показано зв'язок обраного напрямку з науковими програмами, темами, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних

результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, публікації, апробацію та впровадження результатів досліджень.

У **першому розділі** розглянуті основні методи визначення надійності. Здійснено аналіз літературних джерел по комп'ютеризованим системам в галузі контролю та надійності радіоелектронних систем. Проведено аналіз основних показників надійності радіоелектронних систем під час проведення випробувань.

Показано встановлення закономірностей виникнення відмов та оцінка кількісних показників надійності які можуть вирішуватися принципово двома різними способами.

Розглянуто практичні приклади задач, що зустрічаються при визначенні надійності радіоелектронних систем.

У **другому розділі** розроблено алгоритм вибору моделі відмов на основі імовірнісних методів, розроблена схема пошуку оптимального розв'язку в системі технічної діагностики.

На основі використання байєсової теорії статистичного виводу розроблений метод вибору оптимального розв'язку у проблемі контролю над технічним станом радіоелектронної системи.

На основі імовірнісно фізичних розподілів, розроблено метод планування визначальних та контрольних випробувань на надійність, а також обґрунтовано використання моделей відмов на основі імовірнісно фізичних розподілів.

У результаті було отримано алгоритм, який наведений на рис. 1.

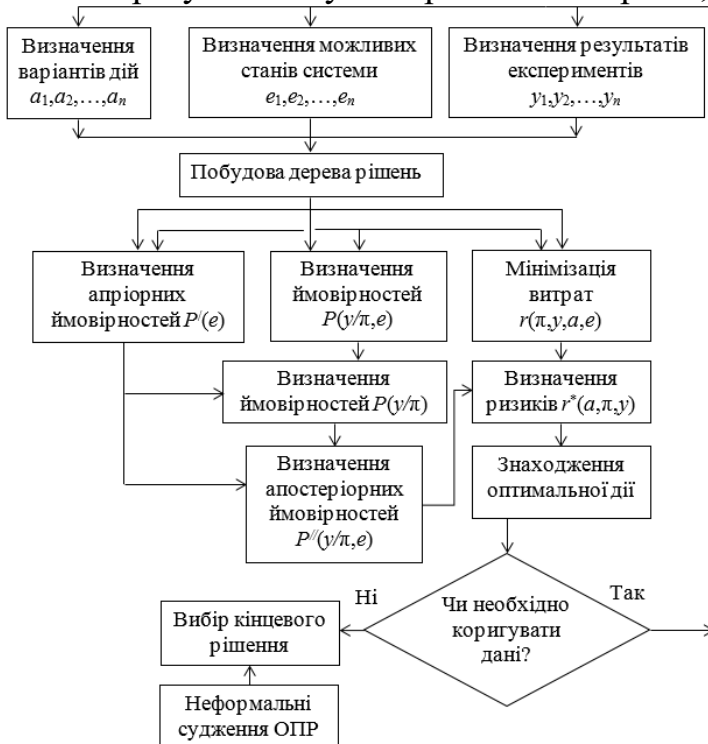


Рисунок 1 - Блок-схема пошуку оптимального розв'язку в системі технічної діагностики

На рис. 1 введено позначення:  $\pi$  - множина експериментів, на основі яких особа, що приймає рішення (ОПР) одержує додаткову інформацію про відповідність технічних станів.

Запропоновано математичну модель об'єкту контролю і діагностики з визначенням статистики відмов що дає можливість синтезувати оптимальну програму контролю працездатності їх елементів.

Розроблено модель випробування електронної апаратури, яка відрізняється від відомих процесом взаємодії між ієрархічними рівнями.

Розроблено алгоритм вибору теоретичної моделі розподілу статистики для оцінки параметрів надійності електронних систем, яка відрізняється від відомих тим, що використовує критерії вибору моделей відмов.

Розроблено метод визначення відмов радіоелектронної апаратури та реалізовано у вигляді алгоритму.

При достатній вибірці статистичних даних про відмови радіоелектронної апаратури обґрунтовано що вид функції розподілу вибирати з наступних правил:

а) Висувають декілька гіпотез про вид функції розподілу (декілька конкуруючих функцій розподілу).

б) Перевіряємо гіпотези відповідності кожного конкуруючого розподілу приводять з використанням критеріїв згідності Колмогорова, Пірсона,  $\omega^2$ .

в) При значенні статистик критеріїв згідності які не заперечують гіпотезу відповідності теоретичних функцій розподілів, для прийнятого рівня значущості, то вибір найбільш придатної функції розподілу здійснюється з урахуванням порівняння теоретичних значень і вибіркової статистики: середнього, дисперсії (коефіцієнта варіації), коефіцієнта асиметрії, коефіцієнта ексцесу, квантиля малого рівня.

г) Конкуруючу функцію, яка має менші спостережувані значення критеріїв згідності та найменші розходження своїх теоретичних оцінок математичного сподівання, дисперсії (коефіцієнта варіації), коефіцієнтів асиметрії та ексцесу, а також заданого квантиля за відповідними вибірковою статистиками, вважають найбільш придатною функцією розподілу для вирівнювання статистичних даних.

д) Якщо статистика є недостатньою для вибору моделі цих відмов необхідно використовувати методи, що відновлюють функцію. Наприклад, методи апроксимації.

Розроблено процедуру пошуку оптимальної дії при діагностуванні технічного стану електронної системи, яка на відміну від відомих відрізняється тим, що використовує процедуру зворотного зв'язку.

Запропоновано математичну модель, що описує процес планування й оцінки параметрів надійності електронних систем при визначальних та контрольних випробуваннях для випадків, коли зібрану статистику відмов можна апроксимувати DN-розподілом.

**Третій розділ** присвячений розробці методу та вдосконаленню програмного забезпечення, що використовується для комп'ютерної обробки параметрів стану радіоелектронних систем та їх компонентів, з метою встановлення відповідності показника надійності радіоелектронної системи необхідному чисельному значенню за результатами випробувань на надійність.



Рисунок 2 – Комп'ютеризована система діагностування радіоелектронних систем до якого під'єднаний комп'ютер з вимірювальним обладнанням.

Розроблена комп'ютеризована система для дослідження нелінійних об'єктів в режимі великого сигналу зображена на рис. 2. З клієнтських ПК, за посередництва клієнтського програмного забезпечення LabView через мережу Internet або Intranet відбувається з'єднання з сервером вимірювальної лабораторії LabView

Розроблено графічний інтерфейс осцилографа та генератора функцій (рис. 3,4). Показано, що генератор функцій подає сигнал на вихід звукової карти. Осцилограф зчитує сигнал з виходу звукової карти (рис. 3).

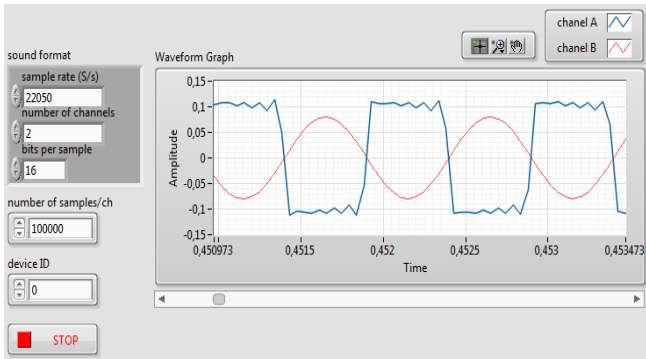


Рисунок 3 – Графічний інтерфейс осцилографа, розробленого за допомогою мови графічного програмування LabVIEW

Розроблені та досліджені методи оцінювання якості та підвищення надійності, функціональної безпеки та живучості електронних систем, а також технології для створення автоматизованих систем переробки інформації та управління.

Обґрунтовано застосування в діагностиці електронних систем та компонентів фігур Ліссажу, що дозволило спростити діагностику електронних систем та компонентів в порівнянні з існуючим аналогічним діагностичним обладнанням.

Розроблений метод діагностики електронної апаратури на основі фігур Ліссажу на базі співвідношень з табл. 1.

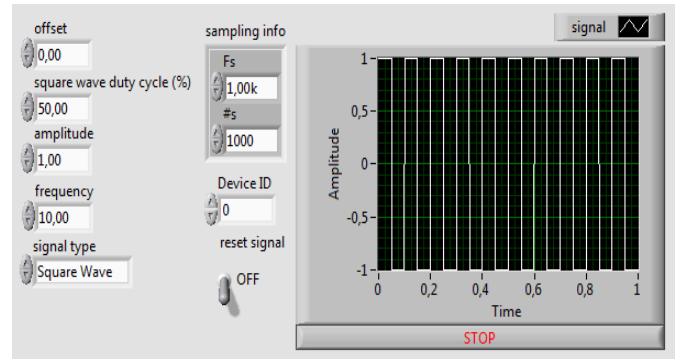


Рисунок 4 – Графічний інтерфейс генератора функцій, розробленого за допомогою мови графічного програмування LabVIEW

Таблиця 1

Співвідношення, що описують фігури Ліссажу

Співвідношення	Параметри
$\begin{cases} x(t) = U_x \sin(f_x t + \varphi) \\ y(t) = U_y \sin(f_y t + \varphi) \end{cases}$	$U_x, U_y$ - амплітуди коливань; $f_x, f_y$ - частоти, $\varphi$ - зсув фаз.

Вид кривої Ліссажу сильно залежить від співвідношення  $f_x/f_y$ . Якщо співвідношення дорівнює 1 то фігура Ліссажу має вигляд еліпсу. За певних умов вона має вигляд кола ( $U_x = U_y$ ,  $\varphi = \pi/2$  радіан), лінії при  $\varphi = 0$  або параболи при  $f_x/f_y=2$ ,  $\varphi=\pi/2$ . Інші співвідношення продукують складніші фігури, які є замкненими за умови  $f_x/f_y$  - раціональне число. Встановлено, що візуальна форма цих кривих є часто тривимірним зображенням.

Запропонований метод діагностики комп'ютерних систем та їх компонентів дозволяє точно ідентифікувати працездатність електронних компонентів системи завдяки тому, що форма фігур Ліссажу буде змінюватись в залежності від амплітуд, частот, фаз сигналів які подаються на входи каналів вертикального та горизонтального відхилення променів осцилографа та будуть залежати від індивідуальних характеристик компонентів.

Запропоновано на базі ПК використовувати в якості програмного забезпечення для візуального представлення інформації використовувати Visual Analiser 2014. Цей комплекс дозволяє проводити вимірювання напруги, струму та частоти на лінійному вході звукової карти.

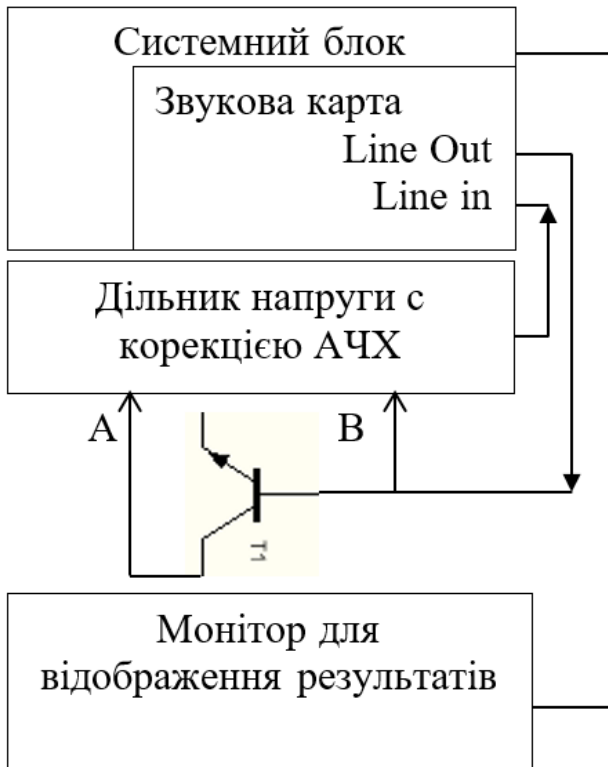


Рисунок 5 – Схема з'єднання приладів (для під'єднання до комп'ютера). Line in - сигнали, що вимірюються, Line out – вихід генератора

карти. Генератор можна взяти зовнішній (низькочастотний), або використати той генератор який має Visual Analiser. Сигнал з генератора у цьому випадку, знімається з line out звукової карти.

За допомогою вище викладеного метода було перевірено конденсатор, діод, стабілітрон, транзистор (табл. 2).

Таблиця 2  
Осцилограми радіодеталей у випадку справності



незсуненою, ефективною. Проведена перевірка правдоподібності гіпотез, а саме – питання про погодженість теоретичного й статистичного розподілів за допомогою критерію згоди Пірсона  $\chi^2$  і  $\omega^2$ .

Розроблено схему під'єднання приладів до входу звукової карти (рис. 5). Перед тим як використовувати звукову карту в якості входів осцилографа (Line in), Необхідно підвищити вхідний опір входу Line in (правий та лівий канал). Це досить тривіальна задача, яка полягає в простому розрахунку дільника напруги. Слід врахувати при цьому власний опір Line in (правий та лівий канал). В якості щупів можна використовувати штатні щупи осцилографів. Для того, щоб фігури Ліссажу мали місце, осцилограф потрібно перевести в режим XY. Комп'ютер повинен бути надійно заземленим. В якості генератора можна використовувати зовнішній, або той, який вбудований в Visual Analiser 2014.

На рис. 5 зображена схема з'єднання приладів. Входи А та В осцилографа - це лінійний вхід звукової карти. На цей вхід подається сигнал через дільники напруги, що підвищують вхідний опір звукової

Розглянуто статистику, яка використовується для оцінки показників надійності типу імовірність безвідмовної роботи  $R(t) = \mathcal{Q} = m/n$ , де  $m$  – число об'єктів, які відмовили за наробіток  $t$  з  $N$  зразків, поставлених на випробування  $R(t) = 1 - \mathcal{Q}$ .

Проаналізовано та доведено, що статистика є достатньою, спроможною,

Розглянемо статистику, яка використовується для оцінки показників надійності типу ймовірність безвідмовної роботи  $R(t)$

$$\mathcal{G} = m/n, \quad (1)$$

де  $m$  – число об'єктів, які відмовили за наробіток  $t$  з  $N$  зразків, поставлених на випробування  $R(t) = 1 - \mathcal{G}$ .

Проаналізовано та доведено, що статистика є достатньою, спроможною, незсуною.

Оцінна функція називається спроможною, якщо зі збільшенням об'єму ( $n$ ) вихідних статистичних даних вибіркове середнє  $\tilde{\mathcal{G}}$  сходиться по ймовірності до істинного значення  $\mathcal{G}$ .

Розглянемо числові характеристики статистики  $\mathcal{G}$  - середнє вибіркове значення і дисперсію та з'ясуємо, як вони змінюються зі збільшенням кількості дослідів,  $n$ .

Позначимо наявні статистичні дані випадкової величини

$$\mathcal{G}_1, \mathcal{G}_2, \dots, \mathcal{G}_n. \quad (2)$$

Очевидно, що сукупність величин (2) являє собою  $n$  незалежних випадкових величин, кожна з яких розподілена по такому же закону, що і сама величина  $\mathcal{G}$ .

Введемо позначення  $M[\mathcal{G}_i]$  для вибіркового середнього величини  $\mathcal{G}$  і  $D[\mathcal{G}_i]$  для вибіркової дисперсії величини  $\mathcal{G}$ . У ряді випадків, коли величини  $M[\mathcal{G}_i]$  і  $D[\mathcal{G}_i]$  входять у формули як певні числа, їх зручніше позначати одною буквою. У цих випадках будемо позначати вибіркове середнє величини  $\mathcal{G}$  через  $m_{\mathcal{G}}$ , а вибіркору дисперсію  $D[\mathcal{G}_i]$  величини  $\mathcal{G}$  позначимо через  $D_{\mathcal{G}}$ .

Вибіркове середнє має наступний вираз:

$$\tilde{\mathcal{G}} = \frac{\sum_{i=1}^n \mathcal{G}_i}{n}. \quad (3)$$

Випадкова величина  $\tilde{\mathcal{G}}$  є функція незалежних випадкових величин (2). Знайдемо математичне очікування  $m_{\tilde{\mathcal{G}}}$  і дисперсію  $D_{\tilde{\mathcal{G}}}$  цієї величини ( $m_{\tilde{\mathcal{G}}}$  і  $D_{\tilde{\mathcal{G}}}$  входять у формулу як числа).

$$m_{\tilde{\mathcal{G}}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M[\mathcal{G}_i] = \frac{1}{n} n m_{\mathcal{G}} = m_{\mathcal{G}}, \quad (4)$$

де  $M[\mathcal{G}_i] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathcal{G}_i$ .

$$D_{\tilde{\mathcal{G}}} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n D[\mathcal{G}_i] = \frac{D_{\mathcal{G}}}{n}, \quad (5)$$

де  $D[\mathcal{G}_i] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\mathcal{G}_i - M[\mathcal{G}_i])^2$ .

Вирази (4,5) доводять, що середнє вибіркове величини  $\tilde{\mathcal{G}}$  не залежить від числа дослідів,  $n$  і дорівнює середньому вибіркового спостережуваної величини  $\mathcal{G}$ ;

що стосується дисперсії величини  $\tilde{\mathcal{G}}$ , то вона необмежено убуває зі збільшенням числа дослідів і при досить великому  $n$  може бути зроблена як завгодно малою. Отже, ми переконуємося, що середнє вибіркоче є випадкова величина з як завгодно малою дисперсією і при великій кількості дослідів поводитья майже як не випадкова.

Спроможність оцінної функції забезпечує зростання якості оцінки (зниження ймовірності помилок, які виходять за встановлені межі), зі збільшенням об'єму статистики.

Доведемо, що оцінна функція є незсуненою.

Оцінна функція є незсуненою, якщо середнє вибіркоче оцінки  $\tilde{\mathcal{G}}$  дорівнює істинному значенню  $\mathcal{G}$ .

Вирази (4) і (5) доводять, що оцінка  $\tilde{\mathcal{G}}$  є незсуненою.

Незсуненість оцінної функції забезпечує відсутність систематичної помилки при багаторазовому використанні  $\tilde{\mathcal{G}}$  замість  $\mathcal{G}$ .

Обґрунтовані функції розподілу, що були використані в дослідженні. Для обґрунтування теоретичних функцій розподілу використовувались критерії  $\chi^2$  (Пірсона) та  $\Omega^2$  у випадку достатньої статистики та методи інтерполяції у випадку, якщо статистика не є достатньою.

Обґрунтовано, що при оцінюванні надійності радіоелектронних систем та компонентів необхідно враховувати похибку другого роду, що дозволяє визначити закон розподілу, який слід використовувати для оцінки імовірності безвідмовної роботи.

Для визначення похибки другого роду використані критерії згоди, що наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Критерії згоди, що були використані в дослідженні

Критерій	Параметри
Пірсона: $\chi^2 = \sum_{j=1}^{r'} \frac{(m_j - n_{p_j})^2}{n_{p_j}}$	$r'$ - кількість інтервалів після їхнього об'єднання; $m_j$ - число елементів статистики $\mathcal{G}$ , що потрапили в $j$ -й інтервал, $n_{p_j} = p_j n$ (тут $p_j$ - ймовірність по теоретичному розподілу; $n$ - кількість вибірок).
Омега-квадрат: $\Omega_N^2 = -n - 2 \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{2j-1}{2n} \ln F(\mathcal{G}_j) + \left( 1 - \frac{2j-1}{2n} \right) \ln [1 - F(\mathcal{G}_j)] \right\}$	$F(\mathcal{G}_j)$ - один з розподілів табл. 5, $n$ - кількість вибірок

Проаналізовано існуючі математичні моделі та доведено, що для моделювання в теорії надійності краще за все використовувати методи імітаційного моделювання. Це пов'язано з тим, що методи імітаційного моделювання не потребують точного опису строгими математичними формулами, на відміну від інших методів.

З метою перевірки правдоподібності гіпотез було зроблено сто вибірок, кожна з яких містила по сто елементів. Вибірki були змодельовані удосконаленим методом моделювання радіоелектронної апаратури.

Кількість зразків, які необхідно поставити на випробування визначаються за формулою:

$$N = \frac{\lg(1 - \delta)}{\lg P}, \quad (6)$$

де  $P$  – імовірність безвідмовної роботи;  $\delta = 1 - \gamma' - \gamma''$ ;  $\gamma', \gamma''$  – рівні значущості верхніх та нижніх довірчих границь.

З метою визначення якості апроксимації теоретичними функціями розподілів, проведено статистичну обробку змодельованих результатів випробувань.

Для забезпечення визначення імовірності безвідмовної роботи не нижче 0,9 для кількості зразків  $N=463$  необхідно підставити в (6) наступні значення:  $\gamma' = 0,005$ ,  $\gamma'' = 0,095$ ,  $\delta = 0,9$  і  $P = 0,99504$ .

В цій роботі комп'ютеризована система планування випробувань побудована на основі методу Монте-Карло в зв'язку з тим, що цей метод дуже простий та ефективний, але для моделювання потрібен генератор випадкових чисел з рівномірним законом розподілу.

Для генерації випадкових чисел використовувався генератор Microsoft Excel 2010 та була проведена перевірка якості роботи генератора.

Для з'ясування на скільки генератор випадкових чисел Microsoft Excel 2010 наближений до еталону генератора випадкових чисел необхідно згенерувати генератором випадкових чисел Microsoft Excel 2010 певну послідовність чисел, та застосувати до цієї послідовності критерії згоди. В цій роботі використовувався критерій  $\chi^2$  (Пірсона) табл.4.

Таблиця 4

Критерій  $\chi^2$ 

Вираз	Параметри
$\chi^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \left( \frac{n_i^2}{p_i} \right) - N$	$N$ – кількість елементів у вибірці; $n_i$ – кількість значень у вибірці, що попали у відповідний інтервал ( $n_1 + n_2 + \dots + n_k = N$ ); $p_i = 1/k$ – ймовірність попадання чисел в $i$ -тий інтервал.

Вибір критерію  $\chi^2$  можна обґрунтувати наступним:

1. В сукупності з іншими методами критерій  $\chi^2$  є основним.
2. В табличному процесорі Microsoft Excel 2010 є функція визначення квантилів  $\chi^2$ .

Імітація випробувань на надійність радіоелектронної апаратури здійснюється в декілька етапів. Для прикладу, оберемо генеральну сукупність №4 з державного стандарту. Її об'єм (кількість елементів)  $N=463$ . Зробимо моделювання. Для цього потрібно обмежити час випробування або наробіток кожного зразка, що не відмовив. Щоб це зробити приймемо емпіричну ймовірність появи відмови  $F=0,1$  і вирішимо таке рівняння:

$$\frac{x}{N} = F$$

де  $x$  порядковий номер елемента вибірки, яким потрібно обмежити вибірку для даного значення  $F$ .

Далі, за допомогою генератора випадкових чисел створюємо значення порядкових номерів у діапазоні від 1 до  $N \cdot 10^{-3}$ . Множник  $10^{-3}$  потрібен для того, щоб порівняти генерований ряд випадкових чисел зі стандартним генератором випадкових чисел, який має рівномірний розподіл та була можливість розбити отриману послідовність випадкових чисел на рівні інтервали для критерію  $\chi^2$ . Генерована сукупність випадкових чисел, та результати перевірки правдоподібності гіпотез зведені в табл.5-6.

Значення квантиля розподілу  $\chi^2$  свідчить про те, що генерована послідовність має рівномірний розподіл. Показано, що кількість елементів в табл. 6 залежить від обраної точності (квантиля), яку необхідно отримати.

Після проходження послідовності тесту на рівномірність множимо всі елементи з табл. 5 на  $10^3$ . Кількість генерованих чисел дорівнює кількості відмов. Фіксуємо числа, які  $\leq x$  (порядковий номер елемента вибірки). У нашому прикладі кількість відмов рівно 5. Таких вибірок необхідно зробити сто і обчислити значення статистики  $\mathcal{J}$  для кожної вибірки.

Таблиця 5

Випадкові числа

0,153	0,052	0,037	0,185	0,206	0,349	0,382	0,094	0,321	0,075
0,402	0,233	0,083	0,398	0,238	0,069	0,316	0,346	0,354	0,038
0,274	0,424	0,205	0,03	0,171	0,219	0,107	0,167	0,222	0,284
0,401	0,341	0,13	0,234	0,011	0,371	0,376	0,101	0,084	0,198

Таблиця 6

Результати перевірки правдоподібності гіпотез для ряду випадкових чисел з табл. 5

Номера інтервалів	1	2	3	4	5
$n_i$	9	8	9	7	7
$p_i$	0,2				
$n_i^2/p_i$	405	320	405	245	245
$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \left( \frac{n_i^2}{p_i} \right) - N$	11,28571				
Квантиль $\chi^2$	0,976466				

За вказаним вище порядком було виконано моделювання статистики, що досліджується, для прийнятого ряду рівнів  $F$  з використанням генеральних сукупностей.

Результати досліджень, які були отримані після перевірки правдоподібності гіпотез, за допомогою критеріїв згоди  $\chi^2$  (Пірсона) та  $\Omega^2$  були зведені в табл. 7 - 8.

Аналіз даних з табл. 7 та табл. 8 показує, що майже у всіх випадках дослідні дані найкраще апроксимує розподіл Вейбулла і тільки при  $F=0,2$  інші розподіли. Значення критерію  $\chi^2$  відрізняється від  $\Omega^2$ . Це пояснюється тим, що під час використання  $\chi^2$  відбувається розбиття дослідних даних на інтервали і втрачається частина інформації про статистику. При використанні критерію  $\Omega^2$  розбиття на інтервали не відбувається і інформація про статистику не втрачається.

Спостережувані значення  $\chi^2$  і відповідні їм рівні значимості  $\rho$ 

$F$	DN		DM		N		LN		W	
	$\chi^2$	$\rho$	$\chi^2$	$\rho$	$\chi^2$	$\rho$	$\chi^2$	$\rho$	$\chi^2$	$\rho$
0,1	5,5399	0,2	5,3789	0,2	5,5179	0,2	5,5048	0,2	6,3297	0,15
0,2	10,6711	0,05	10,5973	0,05	8,5541	0,2	10,7178	0,05	8,6744	0,15
0,3	1,2819	0,5	1,281	0,5	2,5923	0,5	1,2619	0,5	9,0081	0,05
0,5	2,5526	0,5	2,5529	0,5	3,8008	0,5	2,5855	0,5	8,975	0,1

Таблиця 8

Спостережувані значення  $\Omega^2$ 

$F$	DN		DM		N		LN		W	
	$\Omega^2$	$\rho$	$\Omega^2$	$\rho$	$\Omega^2$	$\rho$	$\Omega^2$	$\rho$	$\Omega^2$	$\rho$
0,1	1,148	0,709	1,123	0,7	0,95	0,615	1,12	0,7	1,16	0,717
0,2	1,046	0,668	1,038	0,663	0,608	0,361	1,054	0,668	0,786	0,512
0,3	0,3943	0,141	0,3935	0,141	0,471	0,222	0,39	0,141	1,369	0,789
0,5	0,3186	0,078	0,3183	0,078	0,3459	0,104	0,3204	0,078	0,9933	0,637

На рис. 6 наведені щільності ймовірностей розподілів, що використовувались в дисертаційному дослідженні та емпірична функція розподілу, яка вирівнювалась за допомогою теоретичних розподілів відповідно до табл. 7-8.

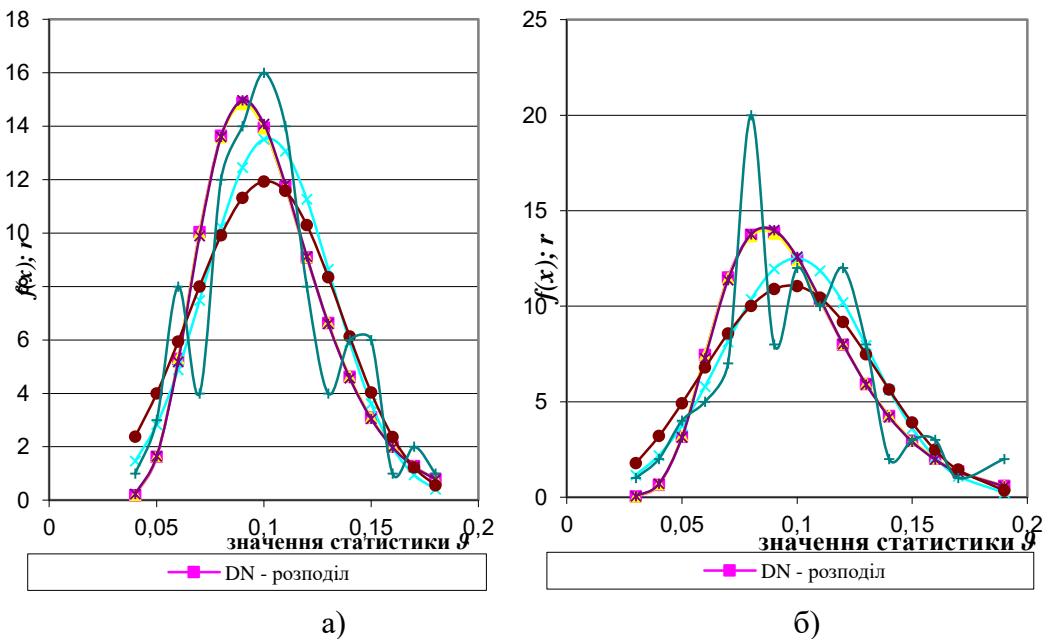


Рисунок 6 – Щільність розподілів для генеральної сукупності при  $N=463$  (а) та при  $N=504$  (б).  
Емпірична ймовірність появи відмови  $F=0,1$ .

Рис. 6 показує, що функції розподілу проходять в околиці емпіричної функції та вирівнюють її з деякою похибкою. Цю похибку дозволяють визначити критерії згоди, що дозволить обрати оптимальну теоретичну функцію розподілу.

У четвертому розділі розроблено метод прийняття рішень в умовах дії факторів стохастичної природи. Вона потребує імітації предметних галузей систем (аналітичне, імітаційне, інфологічне, об'єктно-орієнтоване тощо) на підґрунті створення та застосування відповідних інформаційних технологій.

Розроблено метод, що дозволяє обирати таку стратегію сторони, що оперує, яка є оптимальною, тобто найбільш кращою (найбільш вигідною) в умовах природних невизначеностей.

Розроблено математичну модель прийняття рішень, на основі аналізу різних ступенів ймовірностей можливих станів природи, з використанням критеріїв оптимальності, розроблено метод, що дозволяє ухвалювати рішення які є оптимальними під час обробки діагностичних ознак та визначення показників надійності.

Розроблено метод визначення параметрів надійності у випадку недостатньої статистики, яка на відміну від відомих відновлює функціональну залежність зібраної статистики відмов, що призводить до підвищення точності визначення ймовірності безвідмовної роботи, за рахунок більш точної апроксимації даних.

Розроблено метод прийняття рішень в умовах, коли зібраних даних, у результаті дослідження не достатньо.

Дотримуючись концепції оптимізації в середньому, статистик повинен у якості своєї оптимальної стратегії що до прийняття рішень на основі діагностичних ознак електронної апаратури прийняти таку, яка максимізує його середній виграш, тобто таку, яка задовольняє умові

$$\bar{a}_{cp} = \max_{1 \leq i \leq m} a_i^{cp} = \max_{1 \leq i \leq m} \left[ \sum_{j=1}^n a_{ij} q_j \right],$$

де  $a_{cp} = \sum_{j=1}^n a_{ij} q_j$  – середній виграш статистика для стратегії  $x_i$ ,  $\bar{a}_{cp}$  – максимальний середній виграш статистика.

Визначено апостеріорні ймовірності  $v_{1l}, v_{2l}, \dots, v_{nl}$  діагностичних станів  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ . Апостеріорні ймовірності є умовними ймовірностями станів  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$  за умови, що експеримент дав результат  $S_l$ . Множина  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$  можливі результати одиничного експерименту. Шукані апостеріорні ймовірності можна підрахувати по відомій у теорії ймовірностей формулі Байєса:

$$v_{jl} = P(\Pi_j / S_l) = \frac{q_j w_{jl}}{\sum_{j=1}^n q_j w_{jl}} \text{ для } j \in \overline{1, m}.$$

Умовна ймовірність появи результату експерименту в умовах діагностичного стану  $\Pi_j$  – через  $w_{ij}$  тобто

$$w_{lj} = P(S_l / \Pi_j), l \in \overline{1, k}; j \in \overline{1, n}$$

Після того як будуть визначені уточнені в результаті експерименту (апостеріорні) ймовірності  $v_{1l}, v_{2l}, \dots, v_{nl}$  станів природи  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ , для кожної стратегії  $x_i$   $i \in \overline{1, m}$  можна визначити середній виграш  $a_{ii}^{cp}$  по формулі математичного сподівання:

$$a_{ii}^{cp} = \sum a_{ij} v_{ji}, i \in \overline{1, m}.$$

Величина  $a_{il}^{cp}$  має сенс умовного середнього виграшу статистика від стратегії  $x_i$  за умови, що експеримент дав результат  $S_l$ .

Розроблено метод прийняття рішень в умовах коли проведення експериментів неможливо, так і з використанням експериментів.

Показано, що кусково-лінійна інтерполяція точніше апроксимує дослідні данні в порівнянні з добром емпіричних функцій, або кусково-постійна інтерполяція.

На кожному інтервалі  $[x_{i-1}, x_i]$  функція є лінійною  $F_i(x) = k_i x + l_i$ . Значення коефіцієнтів знаходяться із виконання умов інтерполяції в кінцях відрізка:  $f_i(x_{i-1}) = f_{i-1}$ ,  $f_i(x_i) = f_i$ . Одержуємо систему рівнянь:  $k_i x_{i-1} + l_i = f_{i-1}$ ,  $k_i x_i + l_i = f_i$

звідки знаходимо  $k_i = \frac{f_i - f_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}$   $l_i = f_i - k_i x_i$ . Отже, функцію  $F(x)$  можна записати у

вигляді:  $F(x) = \frac{f_i - f_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} x + f_i - k_i x_i$ , якщо  $x_{i-1} \leq x < x_i$  тобто

$$F(x) = \begin{cases} \frac{f_1 - f_0}{x_1 - x_0} x + f_0 - k_0 x_0, & x_0 \leq x \leq x_1 \\ \frac{f_2 - f_1}{x_2 - x_1} x + f_1 - k_1 x_1, & x_1 \leq x \leq x_2 \\ \dots \\ \frac{f_N - f_{N-1}}{x_N - x_{N-1}} x + f_{N-1} - k_{N-1} x_{N-1}, & x_{N-1} \leq x \leq x_N. \end{cases}$$

Або

$$F(x) = k_i (x - x_{i-1}) + f_{i-1}$$

$$k_i = \frac{f_i - f_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}, \quad x_{i-1} \leq x \leq x_i, \quad i = 1, 2, \dots, N-1.$$

При використанні лінійної інтерполяції спочатку потрібно визначити інтервал, у який попадає значення  $x$ , а потім підставити його у формулу.

Підсумкова функція буде безперервною, але похідна буде розірваною у кожному вузлі інтерполяції. Похибка такої інтерполяції буде менше, чим у випадку кусково-постійної інтерполяції.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача створення та розробка комп'ютеризованої системи та програмних засобів оцінки імовірності безвідмовної роботи електронних систем, в якому для вибору моделі відмов використовується перевірка правдоподібності гіпотез, що дає можливість знизити похибку другого роду та спростити планування випробувань. Для діагностики електронної апаратури запропоновано використовувати комп'ютеризований метод діагностування електронної апаратури на основі ефекту фігур Ліссажу, що призвело до спрощення діагностики електронної апаратури. Зокрема отримані такі наукові результати:

1. Вперше обґрунтовано, що імітація випробувань електронної апаратури необхідно здійснювати за допомогою функціональних моделей, що призводить до спрощення імітації випробувань завдяки тому, що такі моделі не потребують опису строгими математичними формулами електронної апаратури.

2. Набув подальшого розвитку комп'ютеризований метод імітації проведення випробувань на основі методу Монте-Карло, що відрізняється від відомих декомпозицією процесу імітації на такі кроки: імітація статистики відмов електронних систем та компонентів; перевірка правдоподібності гіпотез; що дає можливість покращення його адаптації для імітації процесу проведення випробувань електронних систем та дає можливість підвищити точність визначення величини імовірності безвідмовної роботи.

3. Вперше запропоновано комп'ютеризований метод діагностики на основі математичної моделі об'єкту контролю і діагностики електронних систем з визначенням статистики відмов що дає можливість синтезувати оптимальну програму контролю їх елементів завдяки врахуванню множини операторів процесу переходу системи з одного стану в інший при дії дестабілізуючих факторів, а врахування ентропії точніше діагностувати комп'ютеризовану систему.

4. Вперше обґрунтовано, що оцінка параметрів імовірності безвідмовної роботи електронних систем за експериментальними даними, яка на відміну від відомих, здійснюється за результатами перевірки правдоподібності гіпотез, що призводить до зниження похибки першого роду з врахуванням декількох розподілів і вибору найбільш адекватного до випадкової величини.

5. Набув подальшого розвитку комп'ютеризований метод діагностики електронної апаратури на основі моделі контрольно-вимірювальної апаратури із структурою і набором модулів, що забезпечують оперативне обчислення параметрів електронних систем та їх компонентів на основі фігур Ліссажу, який на відміну від існуючих методів, використовує апаратне та програмне забезпечення з інтелектуальним інтерфейсом, в якості віртуального приладу, що суттєво зменшує та спрощує діагностику електронних компонентів при виробництві електронних систем.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Єгоров С.В. Визначення довірчих інтервалів і планування випробувань при використанні DN – розподілу / В.П. Квасніков, С.В. Єгоров // Вісник Інженерної академії України. – 2016. – випуск 2. – С. 72 – 75.

2. Egorov S.V. Research of the method for determining the reliability and diagnosis of computer-aided technical systems / S.V. Egorov, T.Yu. Shkvarnytska / Aviation in the XXI-st century. Safety in Aviation and Space Technologies: The seventh world congress , September 19–21, 2016: abstracts. К. 2016. – P. 1.12.14–1.12.18.

3. Єгоров С.В. Якісні характеристики оцінної функції, що використовується для оцінки безвідмовності технічних систем / С.В. Єгоров, В.П. Квасніков // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – вип. 3. – С. 116 – 119. Індексується в базах: *Google Scholar*.

4. Єгоров С.В. Метод визначення безвідмовності технічних систем у випадку гаусівського розподілу / С.В.Єгоров, Т.Ю. Шкварницька // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – вип. 4 – С. 213 – 219.
5. Єгоров С.В. Дослідження метода визначення безвідмовності технічних систем з використанням моделювання випробувань / С.В. Єгоров, Т.Ю. Шкварницька // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2016. – №2/2(28). – С. 25–29. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.66481 Індукується в базах: *Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, DRIVER, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Російський індекс наукового цитування (РИНЦ), ResearchBib, Directory of Open Access Journals (DOAJ), WorldCat, EBSCO, CrossRef.*
6. Єгоров С.В. Комп'ютеризований метод діагностування радіоелектронних систем / В.П. Квасніков, С.В.Єгоров // Вісник Інженерної академії України. – 2016.– випуск 3.– С. 190 – 195.
7. Єгоров С.В. Дослідження статистичних рядів, які складаються з випадкових чисел / С.В. Єгоров // Вісник Національного авіаційного університету. – 2010. – № 4. – С. 89–93. Індукується в базах: *Google Sholar.*
8. Єгоров С.В. Исследование параметров функций распределений, которые используются для оценки вероятности безотказной работы / С.В. Єгоров // Труды II Междунар. науч.–практ. конф. «Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика»3–4 декабря, 2015, Алматы. – Т.1. – С.171–174.
9. Єгоров С.В. Исследование статистики, используемой при планировании испытаний оценки вероятности безотказной работы. / С.В. Єгоров // АВІА–2007: VIII міжнар. наук.–технічна конф., 25–27 квітня 2007р.: тези доповіді. – К.: НАУ, 2007. – Т. 2. – С. 22.101– 22.104.
10. Єгоров С.В. Дослідження властивостей статистики, використовуваної для оцінювання безвідмовності / С.В. Єгоров // Вісник Національного авіаційного університету. – 2007. – № 3 – 4. – С. 33–35. Індукується в базах: *Google Sholar.*
11. Yehorov S. Radio Electronic System Elements Diagnostics by Means of Lissajous Curves with the Extended Database / S. Yehorov //SCIT 2016. Recent Advances in Systems, Control and Information Technology: Proceedings of the International Conference, May 20–21, 2016: abstracts.– Warsaw – Springer International Publishing AG, 2017. – V. 543. – P. 546 – 555. Indexed in databases: *Scopus, Google Scholar.*
12. Yehorov S. The use of Lissajous figures and statistical methods to diagnose the components of radio electronic systems. / S. Yehorov //SCIT 2016. Recent Advances in Systems, Control and Information Technology: Proceedings of the International Conference, May 20–21, 2016: abstracts.– Warsaw , 2016 – P. 62. Indexed in databases: *Google Scholar.*
13. Єгоров С.В. Аналіз теоретичних моделей відмов, що використовуються для планування випробувань і оцінки показників надійності радіоелектронних систем / С.В.Єгоров // АВІА–2017. Матеріали XIII міжнар. наук.–технічної конф. 19–21 квітня, 2017, Київ. – С. 4.55–4.60.
14. Єгоров С.В. Математичне моделювання випробувань на надійність радіоелектронних систем / С.В.Єгоров // ПРТК–2017. Інтегровані інтелектуальні

робототехнічні комплекси десята міжнар. наук.–практ. конф.16–17 травня 2017, Київ. – С. 49 – 51.

15. Єгоров С.В. Відновлення функціональних залежностей у випадку недостатності даних / С.В.Єгоров // ПРТК-2018. Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси одинадцята міжнародна міжнар. наук.–практ. конф. 22-23 травня 2018, Київ. – С. 229 –231.

## АНОТАЦІЯ

**Єгоров С.В. Комп'ютеризована система діагностування та контролю параметрів радіоелектронної апаратури. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти». - Державний університет інфраструктури та технологій; 2019.

Для аналізу параметрів надійності типу імовірність безвідмовної роботи потрібно зібрати статистику. Для цього необхідно провести випробування певних об'єктів. Часто на такі випробування витрачаються дуже великі кошти. Це не є ефективним, наприклад, у тих випадках, коли необхідно просто перевірити новий метод, модель. Тому виникає необхідність розробити метод, який дозволяє моделювати випробування партії зразків на надійність.

В результаті вирішення цієї задачі одержано наступне.

Набув подальшого розвитку метод імітації випробувань на основі методу Монте-Карло, який на відміну від відомих відрізняється тим, що в методі розглянуто перевірка правдоподібності гіпотез, що привело до поліпшення його адаптації для імітації процесу проведення випробувань, що призвело до підвищення визначення ймовірності безвідмовної роботи. Використання запропонованої статистики у вдосконаленому методі Монте-Карло приводить до зниження похибок під час процесу імітації та при обробці реальних статистичних даних. Використання перевірки правдоподібності гіпотез призводить до адекватнішого вибору теоретичного розподілу і планування випробувань зводиться до збору необхідної статистики. Набув подальшого розвитку метод діагностики радіоелектронних компонентів, який суттєво здешевлює та спрощує діагностику радіоелектронного устаткування.

**Ключові слова:** підвищення надійності радіоелектронних систем, автоматизовані системи переробки інформації, математична статистика, імовірність безвідмовної роботи, діагностика радіоелектронних систем, діагностика комп'ютерних систем та мереж.

## АННОТАЦИЯ

**Егоров С.В. Компьютеризированная система диагностирования и контроля параметров электронной аппаратуры. - Квалификационная научная работа на правах рукописи. – Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 «Компьютерные системы и компоненты». - Государственный университет инфраструктуры и технологий, Киев, 2019.

В работе развязано важную научную задачу – разработан метод оценки параметров надежности на основе создания технологии обработки статистических данных отказов электронных систем.

В процессе анализа литературных источников установлено, что тема прогнозирования и определение параметров надежности в современных литературных источниках освещена довольно хорошо, но она нуждается в дальнейшем усовершенствовании и доработке. Это связано прежде всего с одной стороны интенсивным развитием науки и как следствие появления новых технологий, и с другой современные электронные системы являются высоконадежными и для них не хватает статистики отказов для качественной статистической обработки данных.

В результате проведенного анализа существующих исследований установлено, что на этот момент появились новые интеллектуальные технологии прогнозирования срока службы электронных систем. Но, как свидетельствует проведенный анализ литературных источников, процесс обучения таких систем зависит от собственного опыта и интуиции человека, который за это отвечает. И как следствие могут быть ошибочные прогнозы.

Показано, что в подавляющем большинстве случаев модели строятся на сугубо вероятностных концепциях. Это связано с объективной сложностью физических процессов, которые протекают во время работы электронной системы.

Установлено, что далеко не все исследователи достаточно обосновывают выбор той или другой вероятностной модели надежности. Часто вообще без обоснования принимают в качестве модели определенное распределение. Такой подход полностью противоречит теории вероятностей и математической статистике. Показано, что процессы деградации некоторой электронной системы лучше всего описывать конкретной вероятностной моделью, но возникает вопрос достаточности собранной статистики.

Было исследовано прогнозирование остаточного срока службы системы (ПОССС). Это технология, которая предлагает полный набор инструментов для управления состоянием надежности системы с помощью индивидуальных решений. Показано что, ПОССС включает в себя множество методов и огромное количество литературы. Эти области находятся на очень разных этапах развития. Хотя такие области, как обработка сигналов и анализ признаков, давно изучены, прогноз системных сбояв, основанный на мониторинге состояния, все еще находится в зачаточном состоянии. Некоторые области уже широко изучены задолго до появления концепции ПОССС.

На основе результатов теоретических исследований разработан алгоритм выбора модели отказов, которая используется для оценки параметров надежности и

который в отличие от известных возможно использовать для оценки параметров надежности при достаточности собранной статистики, так и в случаях когда информации в собранной статистике не хватает для выбора теоретической модели отказов. Это становится возможным благодаря использованию методов восстановления функциональных зависимостей, которое привело к упрощению планирования испытаний и уменьшению погрешностей при определении параметров надежности.

Исходя из результатов исследования модели технической системы обосновано применение методов теории принятия решений в процессе диагностирования электронных систем. Это позволило улучшить распознавание диагностических состояний исследуемой системы благодаря использованию байесовской теории принятия решений для выбора оптимального решения в проблеме контроля технического состояния электронной системы, а также разработать алгоритм поиска оптимального решения в системе технической диагностики.

**Ключевые слова:** повышение надежности электронных систем, автоматизированные системы обработки информации, математическая статистика, вероятность безотказной работы, диагностика электронных систем, диагностика компьютерных систем и сетей.

## ANNOTATION

**Yehorov S.V. Computerized system of diagnostics and control of parameters of electronic equipment. – Qualifying scientific work on the manuscript.**

Thesis for the engineering science candidate degree in specialty 05.13.05 "Computer systems and components " – State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, 2019.

To analyze the reliability parameters such as probability uptime it is required to collect statistics. It is necessary to test certain objects. Often such tests spent a lot of money. This is not effective, for example, in cases where you just need to check out the new method or model. Therefore, there is a need to develop a method to simulate the test the reliability of the samples batch.

The following is obtained as a result of this task.

Was developed the Monte Carlo method, which difference from the known method is considered in checking of the plausibility of hypotheses, leading to better adapt it for simulation process the tests, leading to increased failure-free operation. The use of the proposed statistics in the improved Monte Carlo method results in a reducing errors during the simulation modeling and the processing of the actual statistics. The usage of plausibility checks of the hypotheses results in adequate choice of the theoretical distribution and tests planning reduces to collecting of the necessary statistics. Was developed the method of the diagnosing of technical systems (including computerized), which significantly reduces the cost and simplifies diagnostics of the electronic equipment.

**Keywords:** increase of reliability of electronic systems, automated information processing systems, mathematical statistics, probability of failure-free operation, diagnostics of radio-electronic systems, diagnostics of computer systems and networks.