

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

Крепич Світлана Ярославівна

УДК 519.688



**МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ
ПРИДАТНОСТІ СТАТИЧНИХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ АНАЛІЗУ
ІНТЕРВАЛЬНИХ ДАНИХ**

01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук

Львів – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Тернопільському національному економічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Стахів Петро Григорович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
завідувач кафедри теоретичної та загальної
електротехніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Мислович Михайло Володимирович,
Інститут електродинаміки НАН України, м.Київ,
завідувач відділу теоретичної електротехніки

доктор технічних наук, професор
Лупенко Сергій Анатолійович,
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя,
професор кафедри комп'ютерних систем та мереж

Захист відбудеться «24» березня 2016 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.05 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 2, ауд. 218).

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розіслано «22» лютого 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор



Р. А. Бунь

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Математичне моделювання є одним з основних інструментів при моделюванні та забезпеченні оптимальних характеристик технологічних процесів та технічних систем. Одним із таких технологічних процесів є виробництво гіпсокартону, що передбачає використання статичних систем на окремих стадіях виробництва. До статичних систем також відносять радіоелектронні кола для випадку, коли їх характеристики описують алгебричними рівняннями. Однією з основних властивостей статичних систем є її функціональна придатність – здатність системи виконувати покладені на неї функції протягом певного часу та за певних умов експлуатації. Для забезпечення функціональної придатності системи необхідним є врахування не лише технічних характеристик системи, а також і параметрів компонентів, з яких вона складається. Вагомих результатів при дослідженні проблеми забезпечення функціональної придатності систем досягли українські та закордонні вчені Гехер К., Фрідлендер І.Г., Недоступ Л.А., Spence R.

При проектуванні та дослідженні такого типу систем доводиться розв'язувати задачі аналізу та забезпечення функціональної придатності. Існуючі методи для розв'язування задачі аналізу ґрунтуються на визначенні показника функціональної придатності на основі обчислення багатовимірних інтегралів, залежно від кількості характеристик системи. Серед них найбільш застосовувані такі методи як межових та натурних експериментів, моментів, Монте-Карло тощо. Задачу забезпечення функціональної придатності статичної системи математично формують як оптимізаційну задачу, в якій цільова функція забезпечує вимоги до характеристик системи. Для забезпечення функціональної придатності систем широко застосовують градієнтні методи, методи стохастичного програмування та генетичні алгоритми. Однак важливою проблемою при проектуванні статичних систем є врахування часових змін параметрів та характеристик системи в процесі експлуатації. Іншою проблемою при розв'язанні задачі аналізу та забезпечення функціональної придатності систем є висока обчислювальна складність, якою характеризуються існуючі методи їх розв'язання.

Невід'ємною частиною моделювання та забезпечення функціональної придатності статичних систем також є програмні засоби. Дослідження існуючих програмних засобів для моделювання та забезпечення функціональної придатності показало, що вони переважно є спеціалізованими до певних типів технічних систем чи технологічних процесів. Іншими недоліками зазначених програмних засобів є: висока обчислювальна складність реалізованих у них методів; відсутність можливості одночасного знаходження оптимальних параметрів та умов забезпечення заданої функціональної придатності систем.

Останнім часом широкого застосування набули методи аналізу та забезпечення функціональної придатності систем на основі інтервального підходу, зокрема метод оцінювання області параметрів багатовимірними еліпсоїдами, розглянутий у працях Дивака М.П., Бакана Г.М., Куссуль Н.М., Крищука В.М., Шило Г.М. та ін. Описані методи забезпечують оцінювання

функціональної придатності системи із заданою точністю, однак не враховують часові зміни параметрів компонентів у процесі експлуатації і не дають можливості одночасного знаходження оптимальних параметрів статичних систем та їх допусків.

Виходячи із вищезазначеного, актуальним є науково-технічне завдання створення математичних та програмних засобів для моделювання та забезпечення функціональної придатності статичних систем, які б враховували часові зміни параметрів компонентів системи, характеризувалися б нижчою обчислювально складністю та давали можливість одночасного знаходження оптимальних параметрів і умов забезпечення заданої функціональної придатності систем на основі аналізу інтервальних даних.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалася згідно з тематичним планом науково-дослідних робіт кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного економічного університету протягом 2011 – 2015 років.

Науково-дослідна робота за темою дисертації проводилася у відповідності з тематичним планом науково-дослідних робіт, що фінансувалися за рахунок коштів державного бюджету Міністерством освіти і науки України. Зокрема в рамках теми «Теорія побудови та методи реалізації в реальному часі міждисциплінарних математичних моделей зміни стану складних об'єктів» (номер державної реєстрації 0114U000569) розроблено метод обчислення параметрів статичних систем на основі допускового оцінювання, який ґрунтується на розв'язуванні інтервальної системи нелінійних алгебричних рівнянь з урахуванням допусків на параметри та обмежень на вихідні характеристики системи. У виконанні науково-дослідної роботи на тему «Макромодельовання складних систем та процесів в умовах структурної невизначеності на основі неточних даних» (номер державної реєстрації 0111U010356) аспіранткою розроблено програмний комплекс для моделювання та забезпечення функціональної придатності статичних систем. У виконанні держбюджетної прикладної розробки на тему «Інформаційна технологія для ідентифікації і візуалізації зворотного гортанного нерва в процесі хірургічної операції на щитовидній залозі» (номер державної реєстрації 0112U000078) аспіранткою розроблено метод допускового еліпсоїдного оцінювання функціональної придатності пристрою із врахуванням часової зміни параметрів компонентів у процесі експлуатації. У виконанні госпдоговірної науково-дослідної роботи на тему «Розподілена система контролю технологічного процесу виробництва гіпсокартону» (номер державної реєстрації 0112U003917) аспіранткою розроблено метод моделювання та забезпечення функціональної придатності технологічного обладнання лінії з виробництва гіпсокартону в умовах змінних характеристик сировини.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розробка універсальних методів, алгоритмів та програмного комплексу для моделювання та забезпечення функціональної придатності статичних систем на

основі аналізу інтервальних даних. Для досягнення мети дисертаційного дослідження необхідно розв'язати такі задачі:

- дослідити існуючі підходи та методи для оцінювання функціональної придатності статичних систем для розв'язування задач аналізу та забезпечення функціональної придатності систем;

- розробити метод допускового еліпсоїдного оцінювання функціональної придатності статичних систем, який враховує часові зміни параметрів компонентів;

- розробити метод забезпечення функціональної придатності статичних систем на основі аналізу інтервальних даних, який одночасно враховує обмеження на вихідні характеристики системи та забезпечує оцінювання її оптимальних параметрів;

- розробити метод забезпечення функціональної придатності статичних систем на основі аналізу інтервальних даних, який надає можливість одночасного знаходження оптимальних параметрів статичних систем та їх допусків;

- розробити на основі вищезазначених методів програмний комплекс їх реалізації для моделювання та забезпечення функціональної придатності статичних систем на основі аналізу інтервальних даних;

- провести апробацію розроблених методів на прикладі моделювання та забезпечення функціональної придатності технологічного обладнання лінії з виробництва гіпсокартону в умовах змінних характеристик сировини та для моделювання функціональної придатності радіоелектронних кіл.

Об'єкт дослідження – процеси забезпечення функціональної придатності статичних систем.

Предмет дослідження – математичні моделі та методи забезпечення функціональної придатності статичних систем на основі аналізу інтервальних даних.

Методи дослідження. Для розробки та удосконалення методів оцінювання функціональної придатності статичних систем із врахуванням часових змін параметрів компонентів системи використано методи теоретико-множинного та інтервального підходів. Для одночасного знаходження оптимальних параметрів та умов забезпечення заданої функціональної придатності систем використано методи стохастичної оптимізації. Для дослідження обчислювальної складності розроблених в дисертації методів використано комп'ютерне моделювання. Для проектування програмного комплексу реалізації методів моделювання та забезпечення функціональної придатності статичних систем використано об'єктно-орієнтований підхід, а для його створення – алгоритмічну мову C# та .NET технологію.

Наукова новизна одержаних результатів. У межах дисертаційної роботи *вперше*:

- запропоновано та обґрунтовано метод допускового еліпсоїдного оцінювання функціональної придатності статичних систем, який, на відміну від існуючих, враховує часову зміну параметрів компонентів системи, що

забезпечило обчислення гарантованих оцінок функціональної придатності статичних систем та підвищення ступеня адекватності моделей функціональної придатності;

– розроблено метод забезпечення функціональної придатності статичних систем на основі аналізу інтервальних даних, який, на відміну від існуючих, ґрунтується на розв'язуванні інтервальної системи нелінійних алгебричних рівнянь і одночасно враховує обмеження на вихідні характеристики системи та забезпечує оцінювання оптимальних параметрів;

– запропоновано та обґрунтовано метод забезпечення функціональної придатності статичних систем на основі аналізу інтервальних даних, який ґрунтується на розв'язуванні інтервальної системи нелінійних алгебричних рівнянь і забезпечує одночасне знаходження оптимальних параметрів статичних систем та їх допусків;

набули подальшого розвитку обчислювальні методи стохастичної оптимізації на основі направляючого конуса Растрігіна, які, на відміну від існуючих, забезпечують знаходження інтервальних оцінок множини оптимальних розв'язків.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що на основі запропонованих та удосконалених методів оцінювання функціональної придатності пристроїв створено програмний комплекс, який застосовується для оцінювання функціональної придатності статичних систем із врахуванням часової зміни параметрів компонентів системи в процесі експлуатації; для одночасного знаходження оптимальних параметрів статичних систем і умов забезпечення заданої функціональної придатності.

Програмний комплекс використано для моделювання та забезпечення функціональної придатності технологічного обладнання з виробництва гіпсокартону на ПП «Українські гіпсокартонні системи», радіоелектронних кіл на підприємстві ТОВ ТКБР «Стріла» та при виконанні науково-дослідних робіт. Використання результатів дисертаційної роботи підтверджено довідками про впровадження.

За результатами проведених у дисертаційній роботі досліджень створено методичне забезпечення, яке використовують у Тернопільському національному економічному університеті при підготовці студентів спеціальності «Інженерія програмного забезпечення», зокрема при викладанні дисциплін «Теорія надійності програмних систем» та «Інтервальні обчислення та інтервальний аналіз».

Особистий внесок здобувача. Усі результати, викладені в дисертації, отримані автором самостійно. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать такі результати: [3] – досліджено задачу оцінювання функціональної придатності систем із врахуванням впливу технологічних та зовнішніх чинників у процесі експлуатації; [10] – проведено аналіз допускової області параметрів системи в залежності від технологічної області їх розсіювання; [13] – розглянуто основні особливості методів оцінювання функціональної придатності систем на основі параметричного та

інтервального підходів; [11] – розглянуто підходи до вирішення задачі оцінювання функціональної придатності системи в процесі експлуатації під дією зовнішнього середовища; [14] – розроблено програмний комплекс для розв'язування задачі аналізу статичних систем на основі параметричного та інтервального підходів; [5] – проведено порівняльний аналіз обчислювальної складності при застосуванні методів аналізу функціональної придатності статичних систем; [8] – розглянуто підхід до оцінювання функціональної придатності, який ґрунтується на визначенні залежності, котра описує часову зміну параметрів компонентів системи; [1] – розроблено метод допускового еліпсоїдного оцінювання функціональної придатності статичних систем, який урахує часові зміни параметрів компонент системи та забезпечує обчислення гарантованих оцінок функціональної придатності системи; [6] – розроблено метод забезпечення функціональної придатності статичних систем на основі аналізу інтервальних даних, який одночасно враховує обмеження на вихідні характеристики системи та забезпечує оцінювання її оптимальних параметрів; [9] – розроблено метод забезпечення функціональної придатності статичних систем на основі аналізу інтервальних даних, який надає можливість одночасного знаходження оптимальних параметрів статичних систем та їх допусків; [2] – розроблено програмний комплекс та проведено його апробацію на прикладі моделювання та забезпечення функціональної придатності технологічного обладнання лінії з виробництва гіпсокартону.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на 15 наукових конференціях та семінарах, а саме: 13-й міжнародній конференції “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science” (TCSET’2014), Львів-Славське – 2014 р.; 12-й та 13-й міжнародних конференціях “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics” (CADSM’2013, CADSM’2015), Львів – Поляна – 2013 р., 2015 р.; Computational Problems of Electrical Engineering and Advanced Methods of the Theory of Electrical Engineering, Roztoky, Czech Republic – 2013 р.; IV-й міжнародній конференції з індуктивного моделювання, Київ – 2013 р.; 7-й та 8-й міжнародних літніх школах-семінарах для молодих науковців «Індуктивне моделювання: теорія і застосування», с.Жукін, Київська обл. – 2014р., 2015р.; 1-й – 5-й всеукраїнських школах-семінарах молодих вчених і студентів «Advanced Computer Information Technology» (ACIT’2011 – ACIT’2015), Тернопіль, 2011 – 2015 рр.); проблемно-науковій міжгалузевій конференції «Інформаційні проблеми комп’ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління» (ПНМК-2011), Яремче – 2011 р.; науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу Тернопільського національного економічного університету (2011-2015 рр.).

Публікації. Результати дисертації опубліковано в 14 наукових працях (3 опубліковано одноосібно) загальним обсягом 81 сторінка, з них 1 стаття в науковому періодичному виданні іншої держави, яке входить до Міжнародної наукометричної бази Scopus [1], 5 статей у фахових наукових виданнях

України, дві з них входять до Міжнародної наукометричної бази Scopus [3,6], та 8 публікацій у матеріалах конференцій та семінарів, з них 1 публікація входить до Міжнародної наукометричної бази Scopus [10].

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг роботи складає 166 сторінок. Основний зміст викладено на 132 сторінках. Робота містить 58 рисунків та 3 таблиці. Додатки на 15 сторінках. Список використаних джерел містить 127 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, визначено об'єкт та предмет дослідження, сформульовано мету й задачі дослідження, розкрито наукову та практичну цінність отриманих результатів, а також подано відомості про апробацію дисертаційної роботи.

У **першому розділі** розглянуто основні особливості задач моделювання та забезпечення функціональної придатності статичних систем як класу безінерційних систем, вихідні характеристики яких у будь-який момент залежать лише від значень вхідних параметрів системи і її поточного стану. При цьому зв'язок між вхідними параметрами та вихідними характеристиками описується алгебричними рівняннями. Статичні системи мають ряд властивостей, найбільш важливою з яких є функціональна придатність, тобто здатність системи виконувати покладені на неї функції протягом певного часу та за певних умов експлуатації. Статичні системи в якості складових частин широко використовують для організації технологічних процесів. Одним з них є виробництво гіпсокартону. При цьому важливим є забезпечення функціональної придатності всіх статичних систем, що застосовуються на окремих етапах технологічного процесу. Для прикладу розглянемо задачу забезпечення функціональної придатності системи, що здійснює підготовку гіпсоводної суміші з врахуванням не лише технічних характеристик системи, а також характеристик сировини (наприклад, властивості гіпсу, які можуть змінюватись під час тривалого зберігання).

Далі в розділі розглянуто постановки задач аналізу та забезпечення функціональної придатності статичних систем і методи їх розв'язання. Зокрема для розв'язання задачі аналізу широко застосовують такі методи: методи натурних та межових експериментів, метод моментів, метод Монте-Карло тощо. Після проведення критичного аналізу методів розв'язання задачі аналізу функціональної придатності встановлено, що їх застосовують до певного виду задач відповідно до закону розподілу параметрів компонентів системи, виду та кількостей вихідних характеристик. Обчислювальна складність їх застосування досить висока і вони не враховують часові зміни параметрів компонентів системи під час експлуатації. При розв'язанні задач забезпечення функціональної придатності застосовуються методи глобального та локального пошуку, градієнтні методи, методи стохастичного програмування, генетичні алгоритми тощо. Також останнім часом широко розвиваються методи

випадкового пошуку. Аналіз методів показав складність застосування частини з них до задач зі складною цільовою функцією та до задач великої розмірності. Ці методи не забезпечують одночасного знаходження оптимальних параметрів статичних систем та їх допусків.

Останнім часом до розв'язання задач аналізу та забезпечення функціональної придатності статичних систем широко застосовують методи інтервального аналізу даних (зокрема метод довірчих еліпсоїдів), які дають можливість усунути вищеописані недоліки. Однак досі не вирішеною проблемою при проектуванні статичних систем залишається неврахування процесів часових змін параметрів компонентів системи в процесі її експлуатації.

Далі проведено аналіз ринку програмних засобів для моделювання та забезпечення функціональної придатності, який показав, що існує велика кількість програмних комплексів, зокрема АСОНІКА, Micro-Cap, PSPICE тощо, які дають можливість оцінювати функціональну придатність статичних систем, однак винятково технічних, і спеціалізованих програмних систем, розроблених для проектування окремих технологічних процесів. Ще одним недоліком зазначених програмних засобів є висока обчислювальна складність реалізованих в них методів та відсутність можливості одночасного знаходження оптимальних параметрів статичних систем та їх допусків. У кінці першого розділу поставлено мету дисертаційного дослідження та сформульовано основні задачі.

Другий розділ дисертації присвячено *розробці методу допускового еліпсоїдного оцінювання функціональної придатності статичних систем, який ураховує часову зміну параметрів компонентів системи*. Вимоги до функціональної придатності статичної системи представлено у вигляді

$$y_i^- \leq g_i(\vec{b}) \leq y_i^+, \quad (1)$$

де $[y_i^-, y_i^+]$ – інтервали вихідних характеристик y_i , які є допустимими для функціональної придатності системи; $g_i(\vec{b})$ – залежність між значеннями параметрів та відповідними вихідними характеристиками. Враховуючи нелінійність характеристик системи, застосовано лінеаризацію характеристик систем та перехід до системи у такому вигляді:

$$\delta\vec{Y}^- \leq S \cdot \delta\vec{b} \leq \delta\vec{Y}^+, \quad (2)$$

де $\delta\vec{Y}^- = \{\delta y_i^-, i = \overline{1, N}\}$, $\delta\vec{Y}^+ = \{\delta y_i^+, i = \overline{1, N}\}$ – вектори верхніх та нижніх меж інтервалів відхилень вихідних характеристик від номінальних; $S = \{S_{ij}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, m}\}$ – матриця значень похідних функцій $g_i(\vec{b})$; $\delta\vec{b} = (\delta b_1, \dots, \delta b_m)^T$ – вектори відхилень параметрів системи від номінальних.

За умови сумісності системи (2) областю її розв'язків є область Ω параметрів системи у вигляді:

$$\Omega = \left\{ \delta\vec{b} \in R^m \mid \delta\vec{Y}^- \leq S^T \cdot \delta\vec{b} \leq \delta\vec{Y}^+ \right\}. \quad (3)$$

Зважаючи, що зазвичай кількість вихідних характеристик системи не перевищує кількості параметрів, область параметрів Ω описується довірчим еліпсоїдом:

$$Q(\alpha, m) = \{ \delta \bar{b} \in R^m \mid (\delta \bar{b} - \bar{\delta b})^T \cdot D(\delta \bar{b}) \cdot (\delta \bar{b} - \bar{\delta b}) \leq \chi^2(\alpha, m) \}, \quad (4)$$

де m – кількість параметрів системи; α – довірча ймовірність функціональної придатності; $\chi^2(\alpha, m)$ – квантиль χ^2 -розподілу; $D^{-1}(\delta \bar{b})$ – коваріаційна матриця випадкового вектора $\delta \bar{b}$; $\bar{\delta b}$ – центр еліпсоїда.

Часові зміни параметрів компонентів у процесі експлуатації моделюємо часозалежними функціями $\delta \bar{b}(t)$. Тоді функціональну придатність системи оцінюємо з аналізу еліпсоїда розсіювання у вигляді:

$$Q(\alpha, m) = \{ \delta \bar{b} \in R^m \mid (\delta \bar{b} - \delta \bar{b}(t))^T \cdot D(\delta \bar{b}) \cdot (\delta \bar{b} - \delta \bar{b}(t)) \leq \chi^2(\alpha, m) \}. \quad (5)$$

За умови заданої коваріаційної матриці ймовірних технологічних відхилень параметрів елементів, оцінку ймовірності функціональної придатності отримаємо із розв'язку задачі:

$$\chi^2(\alpha, m) \xrightarrow{\alpha \in [0,1]} \max, \quad Q(\alpha, m) \subseteq \Omega. \quad (6)$$

Розв'язок задачі (6) має чітку графічну інтерпретацію: необхідно знайти таке значення довірчої ймовірності α , щоб уписаний в область допусків Ω еліпсоїд (5) мав найбільший об'єм. У дисертаційній роботі отримано аналітичний розв'язок задачі (6) у вигляді:

$$\chi^2(\alpha, m) = \min_{i=1, \dots, 2m} \chi^2(\alpha_i, m), \quad (7)$$

$$X = E \cdot S_m^{-1} \cdot D(\delta(\bar{b})) \cdot (S_m^{-1} \cdot E \cdot \Lambda - B_\Delta(t)), \quad i = 1, \dots, m, \quad (8)$$

$$X' = E \cdot S_m^{-1} \cdot D(\delta(\bar{b})) \cdot (-S_m^{-1} \cdot E \cdot \Lambda - B_\Delta(t)), \quad i = m + 1, \dots, 2m, \quad (9)$$

де X, X' – деякі матриці, діагональні елементи яких є значеннями квантиля $\chi^2(\alpha, m)$; $B_\Delta(t) = \begin{pmatrix} \delta \bar{b}(t) & \dots & \delta \bar{b}(t) \end{pmatrix}$ – матриця розмірності $m \times m$, стовпці якої є векторами з компонентами – часозалежними функціями відхилень значень параметрів елементів від їх номінальних значень; Λ – матриця, складена з допусків на вихідні характеристики $\Lambda_{ji} = \sum_{s=1}^{2^{m-1}} \lambda_s^i \cdot \frac{\Delta_j^s}{\Delta_j}$, $\Delta_j^s \in \{-\tilde{\Delta}_j, \tilde{\Delta}_j\}$, $j = 1, \dots, m$.

Далі в розділі наведено приклади оцінювання функціональної придатності запропонованим методом на основі аналізу інтевальних даних та методом Монте-Карло як без врахування часових змін параметрів компонентів системи, так із врахуванням.

На рис. 1 проілюстровано зіставлення двох методів на прикладі фільтра нижніх частот. Точність методів однакова.

На рис. 2 наведено стовпчикову діаграму, яка показує зміну обчислювальної складності застосування методу Монте-Карло в залежності від кількості згенерованих чисел та методу довірчих еліпсоїдів. Як бачимо, уже при генеруванні в методі Монте-Карло 1.000 випадкових чисел, його обчислювальна складність у 3 рази вища за метод довірчих еліпсоїдів, а при генеруванні 500.000 чисел (для забезпечення однакової точності методів) – у 22 рази.

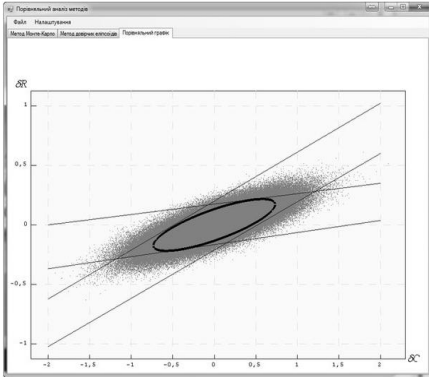


Рис. 1. Ілюстрація порівняння методу довірчих еліпсоїдів та методу Монте-Карло

Результати використання *методу допускового еліпсоїдного оцінювання функціональної придатності систем, який враховує часову зміну параметрів компонентів системи*, проілюстровано на прикладі фільтра нижніх частот. Як бачимо на рис. 3, де заштрихованими лініями відображається допускova область параметрів системи, при часовій зміні параметрів компонентів системи площа довірчого еліпса зменшується від еліпса, відображеного пунктирною лінією, до еліпса, представленого жирною лінією, що означає зменшення ймовірності функціональної придатності системи.

На рис. 4 наведено екранну форму для введення вхідних даних та отримання результатів обчислень.

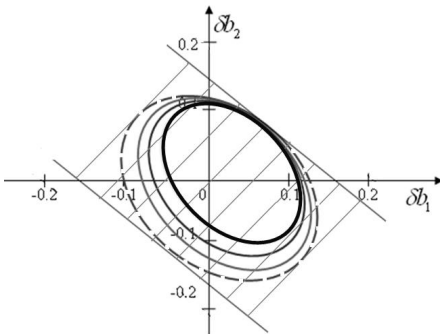


Рис. 3. Ілюстрація зміни площі довірчого еліпса при зміні відхилень на параметри системи протягом певного часу експлуатації пристрою

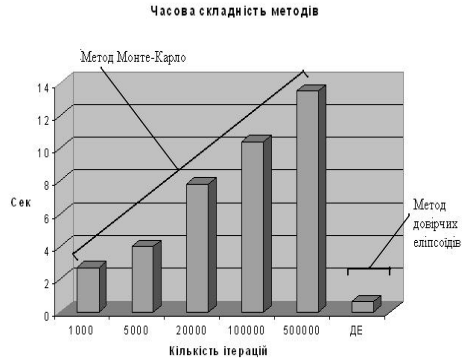


Рис. 2. Порівняння часової складності реалізації методу Монте-Карло та методу довірчих еліпсоїдів

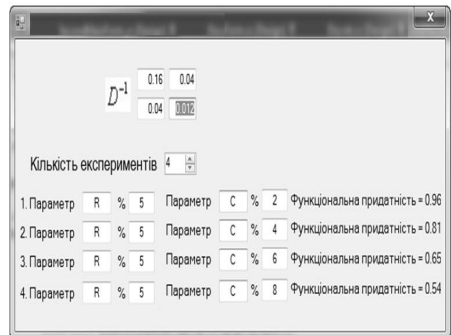


Рис. 4. Екранна форма програмного комплексу для розв'язування задачі аналізу функціональної придатності системи

Третій розділ дисертації присвячено розв'язуванню задачі забезпечення функціональної придатності статичних систем та розробці *методу забезпечення функціональної придатності статичних систем на основі аналізу інтервальних даних, який одночасно враховує обмеження на вихідні характеристики системи та забезпечує оцінювання її оптимальних параметрів, та методу забезпечення функціональної придатності систем на основі аналізу інтервальних даних, який дає можливість одночасного знаходження оптимальних параметрів статичних систем та їх допусків..*

Вимоги до функціональної придатності системи представляють інтервальною системою (1) $y_i^- \leq g_i(\vec{b}) \leq y_i^+$, у якій $[y_i^-, y_i^+]$ – інтервали, що задають обмеження на вихідні характеристики (верхню та нижню межі), а \vec{b} – вектор невідомих номінальних значень параметрів системи. Інтервальна система є складною у зв'язку з нелінійністю інтервальних рівнянь.

Опираючись на систему (1), умови забезпечення функціональної придатності сформулюємо у такому вигляді:

$$g_i(\vec{b}) \subset [y_i^-, y_i^+], i = 1, \dots, N. \quad (10)$$

З умов (10) необхідно знайти невідомий вектор параметрів системи \vec{b} . В дисертаційній роботі запропоновано ітераційну схему обчислення вектора параметрів \vec{b} із забезпеченням умови мінімізації деякої функції

$$F(\vec{b}) \xrightarrow{\vec{b}} \min, \quad (11)$$

де значення функції мети $F(\vec{b})$ отримано із виразу (10) у такому вигляді:

$$F(\vec{b}) = \min_{i=1, \dots, N} \left\{ g_i(\vec{b}) - \text{mid}([y_i]) \right\}, \quad (12)$$

де $g_i(\vec{b})$ – обчислене під час розв'язку інтервальної системи нелінійних алгебричних рівнянь (1) на поточній ітерації значення вихідних характеристик; $\text{mid}(\bullet)$ – операція визначення центру інтервалу.

У роботі запропоновано алгоритм випадкового пошуку на основі направляючого конуса Растрігіна, що забезпечує збіжність розв'язку задачі (11), оскільки $F(\vec{b}_k) < F(\vec{b}_{k-1})$.

У наступному підрозділі третього розділу розглянуто *метод забезпечення функціональної придатності систем на основі аналізу інтервальних даних, який надає можливість одночасного знаходження оптимальних параметрів статичних систем та їх допусків.* Для цього випадку інтервальну систему (1) сформульовано у такому вигляді:

$$y_{0i} + y_{0i} \cdot \delta y_i^- \leq g_i[\vec{b}_0 + \vec{b}_0 \cdot \delta \vec{b}^-; \vec{b}_0 + \vec{b}_0 \cdot \delta \vec{b}^+] \leq y_{0i} + y_{0i} \cdot \delta y_i^+, i = 1, \dots, N, \quad (13)$$

де $\delta \vec{b}^-, \delta \vec{b}^+$ – відносні відхилення параметрів елементів статичної системи від номінальних; $y_{0i}, i = 1, \dots, N$ – номінальні значення вихідних характеристик статичної системи; $\delta y_i^-, \delta y_i^+, i = 1, \dots, N$ – відносні відхилення характеристик від номінальних.

Для знаходження множини розв'язків цієї системи сформулюємо оптимізаційну задачу у такому вигляді:

$$F([\bar{b}_k + \bar{b}_k \cdot \delta \bar{b}^-; \bar{b}_k + \bar{b}_k \cdot \delta \bar{b}^+]) \xrightarrow{\bar{b}_k, \delta \bar{b}_k} \min, \bar{b}_j > 0, \delta b_j > \delta b_j^z, j = 1..m, \quad (14)$$

де δb_j^z – задані мінімально допустимі для даної схеми допуски на параметри елементів, $F([\bar{b}_k + \bar{b}_k \cdot \delta \bar{b}^-; \bar{b}_k + \bar{b}_k \cdot \delta \bar{b}^+])$ – значення функції мети отримано у такому вигляді:

$$F(\bar{b}_k) = \min_{i=1..N} \left\{ \text{mid}(g_i[\bar{b}_0 + \bar{b}_0 \cdot \delta \bar{b}^-; \bar{b}_0 + \bar{b}_0 \cdot \delta \bar{b}^+]) - \text{mid}([y_{0i}^-; y_{0i}^+]) \right\}, \quad (15)$$

якщо $g_i[\bar{b}_0 + \bar{b}_0 \cdot \delta \bar{b}^-; \bar{b}_0 + \bar{b}_0 \cdot \delta \bar{b}^+] \cap [y_{0i}^-; y_{0i}^+] = \emptyset \exists i = 1, \dots, N$,

$$F(\bar{b}_k) = \min_{i=1..N} \{ | \text{wid}(g_i[\bar{b}_0 + \bar{b}_0 \cdot \delta \bar{b}^-; \bar{b}_0 + \bar{b}_0 \cdot \delta \bar{b}^+]) - \text{wid}(g_i[\bar{b}_0 + \bar{b}_0 \cdot \delta \bar{b}^-; \bar{b}_0 + \bar{b}_0 \cdot \delta \bar{b}^+] \cap [y_{0i}^-; y_{0i}^+]) | \}, \quad (16)$$

якщо $g_i[\bar{b}_0 + \bar{b}_0 \cdot \delta \bar{b}^-; \bar{b}_0 + \bar{b}_0 \cdot \delta \bar{b}^+] \cap [y_{0i}^-; y_{0i}^+] \neq \emptyset \forall i = 1, \dots, N$, $\text{wid}(\bullet)$ – операція визначення ширини інтервалу.

Для пошуку невідомого вектора параметрів статичної системи з одночасним забезпеченням умов її функціональної придатності в дисертаційній роботі набув подальшого розвитку стохастичний метод випадкового пошуку із використанням направляючого конуса Растрігіна. Розроблено обчислювальну схему в процедурі випадкового пошуку мінімуму цільової функції $F([\bar{b} + \bar{b} \cdot \delta \bar{b}^-; \bar{b} + \bar{b} \cdot \delta \bar{b}^+])$ із використанням направляючого конуса.

Крок 1. Задасмо початкове наближення вектора параметрів \bar{B}_0 .

Крок 2. У просторі параметрів на відстані r від точки \bar{B}_0 випадковим чином генеруємо n точок.

Крок 3. Серед згенерованих точок обираємо ту, яка забезпечує найнижче значення цільової функції (17), та визначаємо вектор пам'яті (18):

$$\bar{B}_1 = \arg \min_{n=1..N} (F([\bar{b}_0 + \bar{b}_0 \cdot \delta \bar{b}^-; \bar{b}_0 + \bar{b}_0 \cdot \delta \bar{b}^+] + r \cdot \xi)), \quad (17)$$

$$\bar{w} = \text{mid}[(\bar{B}_1 - \bar{B}_0) / r]. \quad (18)$$

Крок 4. У просторі параметрів будуємо уявні гіперконуси із вершинами в точках $\bar{B} = (\bar{b}_k, \delta \bar{b}_k)$, які є поточними оцінками вектора параметрів. Ці гіперконуси «відсікають» від гіперсфер із центрами в точках $\bar{B} = (\bar{b}_k, \delta \bar{b}_k)$ і радіусом r деякі поверхні. На отриманих поверхнях у просторі параметрів та їх допусків генеруємо на основі рівномірного закону розподілу n випадкових точок. Серед згенерованих точок вибираємо ту, яка забезпечує найменше значення цільової функції за формулою (17), та перевизначаємо вектор пам'яті:

$\bar{w}_{k+1} = \text{mid}[\alpha \cdot \bar{w}_k + \beta \cdot \frac{\bar{B}_{k+1} - \bar{B}_k}{r}]$, де α – ($0 \leq \alpha \leq 1$)– коефіцієнт забування, а β – коефіцієнт інтенсивності врахування нової інформації.

Пошук продовжується до тих пір, доки зменшується значення цільової функції. Якщо протягом певної кількості ітерацій значення цільової функції не зменшується, радіус декрементується у декілька разів.

Також у цьому розділі проведено порівняльний аналіз обчислювальної складності застосування до розв'язання задачі забезпечення функціональної придатності системи різних процедур методів випадкового пошуку: за лінійною тактикою, за найкращою спробою, з адаптивним розподілом випадкового кроку, із використанням направляючого конуса Растрігіна. На діаграмі (див. рис. 5) для прикладу забезпечення функціональної придатності аналогового фільтра видно, що найкращим за обчислювальною складністю у порівнянні з іншими процедурами випадкового пошуку є процедура з використанням направляючого конуса. Зокрема, для вказаного прикладу обчислювальна складність застосування методу на 91% нижча, ніж при використанні методу випадкового пошуку із лінійною тактикою, на 65% від методу випадкового пошуку за найкращою спробою та на 47% від методу випадкового пошуку з адаптацією випадкового кроку.

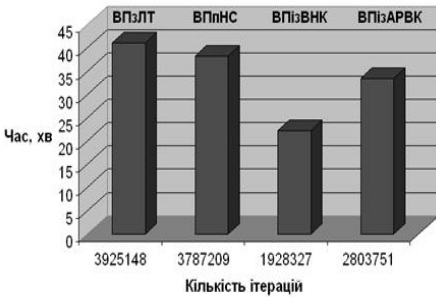


Рис. 5. Порівняння обчислювальної складності процедур випадкового пошуку

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячено практичним аспектам, зокрема розробці об'єктної моделі та програмної реалізації методів розв'язування задач аналізу та забезпечення функціональної придатності статичних систем, а також застосуванню розробленого програмного комплексу для моделювання та забезпечення функціональної придатності технологічного обладнання лінії з виробництва гіпсокартону за умов змінних характеристик сировини. Основою для розробки програмного комплексу слугували спроектовані із застосуванням об'єктно-орієнтованого підходу діаграми варіантів використання (див. рис. 6) та класів.



Рис. 6. Діаграма варіантів використання розробленого програмного продукту

Для безпосереднього виконання програмного комплексу використано алгоритмічну мову C# та .NET технологію. У програмному комплексі інтегровано метод допускового еліпсоїдного оцінювання статичної системи з урахуванням процесів часових змін параметрів компонентів системи та метод обчислення параметрів статичної системи із процедурою випадкового пошуку на основі направляючого конуса за умов заданих обмежень на вихідні характеристики системи та допусків на параметри її елементів. Розроблений програмний комплекс адаптовано для моделювання та забезпечення функціональної придатності технологічного обладнання лінії з виробництва гіпсокартону в процесі підготовки гіпсо-водної суміші.

На рис. 7 наведено фрагмент технологічного обладнання, встановленого в цеху підприємства, яке забезпечує процес підготовки гіпсо-водної суміші, подачі її на формувальний стіл та формування гіпсокартонної плити. Саме ця



Рис. 7. Фрагмент технологічного обладнання, яке забезпечує процес підготовки гіпсоводної суміші та подачі її на формувальний стіл

частина обладнання має ряд недоліків: по-перше, низький рівень автоматизації, по-друге, порушення умов зберігання сировини, що призводять до зниження її якісних характеристик. Ці та ряд інших недоліків призводять до зниження функціональної придатності обладнання і, як результат, низької якості гіпсокартонних плит, а також створюють проблему потреби періодичного переналаштування обладнання із врахуванням змінних, часто випадкових характеристик сировини.

Отже, характеристикою функціональної придатності лінії з виробництва гіпсокартону можемо вважати допустимий інтервал швидкості руху конвеєрної стрічки, на якій відбувається затвердіння гіпсового осердя, або відповідну характеристику – час затвердіння гіпсового осердя. Ця характеристика буде безпосередньо визначати допустимі межі швидкості руху конвеєрної стрічки, які забезпечують затвердіння гіпсового осердя до моменту його наближення до різака гільйотинного типу. На етапі підготовки гіпсо-водної суміші, подачі її на формувальний стіл та формування гіпсокартонної плити необхідно забезпечити такі параметри технологічного обладнання, які б забезпечили функціональну придатність системи для різних швидкостей конвеєрної лінії.

У роботі на основі аналізу інтервальних даних отримано математичну модель, яка описує залежність часу затвердіння від чинників, які його визначають, з врахуванням експериментальних похибок вимірювань:

$$[\hat{t}_{v_i}^-; \hat{t}_{v_i}^+] = [2,1; 2,2] + [0,029; 0,03] \cdot d - [0,056; 0,064] \cdot V_1 + [0,13; 0,15] \cdot V_2 - [0,095; 0,105] \cdot V_3 - [6,62; 7,03] \cdot V_3 + [18,7; 19,9] \cdot V_4 - [0,51; 0,55] \cdot v_i + [0,22; 0,24] \cdot \tau, \quad (19)$$

де V_1, V_2, V_3, V_4, V_5 – швидкості подачі гіпсу, води з розчиненим крохмалем, піноутворювача, повітря та коректора часу затвердіння відповідно; d – характеристики гіпсу, яку визначають як діаметр плями розтікання фіксованого об'єму гіпсо-водної суміші; τ – характеристики коректора затвердіння, v_i – швидкості лінії конвеєра.

Тоді умови функціональної придатності обладнання набувають такого вигляду:

$$[\widehat{t}_{v_i}^-; \widehat{t}_{v_i}^+] \subset [t_{v_i}^-; t_{v_i}^+], \quad \forall i = 1, \dots, N, \quad (20)$$

де $[t_{v_i}^-; t_{v_i}^+]$ – допустимі інтервали часу затвердіння гіпсового осердя залежно від швидкості руху конвеєрної лінії.

У цьому розділі розглянуто постановку задачі забезпечення функціональної придатності лінії з виробництва гіпсокартону для швидкостей лінії конвеєра $v_i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ м/хв. Для кожної фіксованої швидкості лінії конвеєра відомі допустимі нижнє та верхнє значення часу затвердіння гіпсового осердя, зокрема для швидкості руху конвеєра 1 м/хв час затвердіння гіпсового осердя складає [25;31] хв., для 2 м/хв – [12,6;15,6] хв., для 3 м/хв – [8,37;10,23] хв., для 4 м/хв – [6,3;7,7] хв., для 5 м/хв – [5,04;6,16] хв., для 6 м/хв – [4,23;5,17] хв., для 7 м/хв – [3,6;4,4] хв., для 8 м/хв – [3,15;3,85] хв. Додатково уведено обмеження на параметри технологічного обладнання та характеристики складників технологічного процесу. Із врахуванням умов (20) і обмежень на параметри та характеристики процесу інтервальну модель (19) набуває такого вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} 25 \leq [1,55;1,69] + [0,029;0,031] \cdot d - [0,056;0,064] \cdot V_1 + [0,13;0,15] \cdot V_2 - [0,095;0,105] \cdot V_3 - \\ - [6,62;7,03] \cdot V_3 + [18,7;19,9] \cdot V_4 + [0,22;0,24] \cdot \tau \leq 31; \\ \dots \\ 5,04 \leq [-0,65; -0,35] + [0,029;0,031] \cdot d - [0,056;0,064] \cdot V_1 + [0,13;0,15] \cdot V_2 - [0,095;0,105] \cdot V_3 - \\ - [6,62;7,03] \cdot V_3 + [18,7;19,9] \cdot V_4 + [0,22;0,24] \cdot \tau \leq 6,16; \\ \dots \\ 3,15 \leq [-2,3; -1,88] + [0,029;0,031] \cdot d - [0,056;0,064] \cdot V_1 + [0,13;0,15] \cdot V_2 - [0,095;0,105] \cdot V_3 - \\ - [6,62;7,03] \cdot V_3 + [18,7;19,9] \cdot V_4 + [0,22;0,24] \cdot \tau \leq 3,85; \\ 130 \leq d \leq 180; \\ 15 \leq V_1 \leq 40; \\ \dots \\ -2 \leq \tau \leq 2. \end{array} \right. \quad (21)$$

Опираючись на розроблений метод забезпечення функціональної придатності систем на основі аналізу інтервальних даних, який дає можливість одночасного знаходження оптимальних параметрів статичних систем та їх допусків і на програмний комплекс, розроблений у дисертаційній роботі для реалізації зазначеного методу, обчислено значення параметрів технологічного обладнання, значення характеристик складників технологічного процесу, а також їх технологічні допуски.

Результати реалізації методу наведені на екранній формі (див. рис. 8). Зокрема обчислені інтервальні вектори таких значень параметрів та характеристик системи, як:

- діаметра плями розтінання гіпсо-водної суміші – $d = [161,7; 168,3]$;
- швидкості подачі гіпсу – $V_1 = [25,02; 29,37]$;
- швидкості подачі води з розчиненим крохмалем – $V_2 = [18,62; 20,18]$;
- швидкості подачі коректора часу затвердіння – $V_3 = [0,099; 0,101]$;
- швидкості подачі піноутворювача – $V_3 = [0,137; 0,142]$;

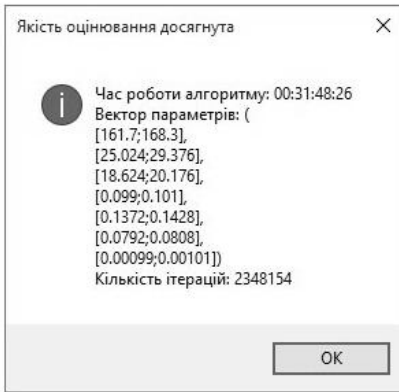


Рис. 8. Форма представлення вектора інтервальних значень параметрів системи

- швидкості подачі повітря – $V_4 = [0,079; 0,081]$;
- характеристики коректора затвердіння – $\tau = [0,00099; 0,00101]$.

Отримані допуски як на параметри технологічного обладнання, так і на характеристики складників для виготовлення гіпсокартону повністю відповідають фізичному змісту і забезпечують функціональну придатність лінії з виробництва гіпсокартону. Застосування розробленого програмного комплексу дає можливість вдвічі зменшити час налаштування технологічної лінії з виробництва гіпсокартону і забезпечує виробництво гіпсокартонних плит без браку.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання створення математичних та програмних засобів для моделювання та забезпечення функціональної придатності статичних систем, які б враховували часові зміни параметрів компонентів системи, відзначалися нижчою обчислювальною складністю та давали можливість одночасного знаходження оптимальних параметрів та умов забезпечення заданої функціональної придатності систем на основі аналізу інтервальних даних. При цьому отримано такі наукові та практичні результати.

1. Під час аналізу методів розв'язування задач аналізу та забезпечення функціональної придатності статичних систем показано, що основним їх недоліком є неврахування часових змін параметрів елементів системи під час експлуатації. Дослідження програмних засобів показало, що існує велика кількість програмних комплексів, які дають можливість оцінювати функціональну придатність систем, однак винятково технічних, та спеціалізованих програмних систем для проектування окремих технологічних процесів. Іншим недоліком зазначених програмних засобів є наступне: висока

обчислювальна складність реалізованих у них методів; відсутність можливості одночасного знаходження оптимальних параметрів та умов забезпечення заданої функціональної придатності систем.

2. Запропоновано та обґрунтовано метод допускового еліпсоїдного оцінювання функціональної придатності статичних систем, який, на відміну від існуючих, ураховує часову зміну параметрів компонентів системи, що забезпечує обчислення гарантованих оцінок функціональної придатності статичних систем та підвищення ступеня адекватності моделей функціональної придатності. На тестовому прикладі порівняння обчислювальної складності застосування для розв'язання задачі аналізу методів довірчих еліпсоїдів та методу Монте-Карло показано, що обчислювальна складність методу довірчих еліпсоїдів при забезпеченні однакових умов функціональної придатності у 22 рази нижча, ніж методу Монте-Карло.

3. Розроблено метод забезпечення функціональної придатності статичних систем на основі аналізу інтервальних даних, який, на відміну від існуючих, ґрунтується на розв'язуванні інтервальної системи нелінійних алгебричних рівнянь і одночасно враховує обмеження на вихідні характеристики системи та забезпечує оцінювання оптимальних параметрів.

4. Розроблено метод забезпечення функціональної придатності статичних систем на основі аналізу інтервальних даних, який дає можливість одночасного знаходження оптимальних параметрів статичних систем та їх допусків. На тестовому прикладі порівняння обчислювальної складності застосування різних процедур випадкового пошуку для розв'язання задачі забезпечення функціональної придатності показано, що складність процедури на основі направляючого конуса Растрігіна на 91% нижча, ніж при використанні методу випадкового пошуку із лінійною тактикою, на 65% нижча, ніж при використанні методу випадкового пошуку за найкращою спробою та на 47% нижча, ніж при використанні методу випадкового пошуку із адаптацією випадкового кроку.

5. За допомогою засобів UML, зокрема діаграми варіантів використання, визначені основні функціональні вимоги до розроблюваного програмного комплексу. За допомогою діаграми класів спроектовано основні модулі реалізації програмного комплексу. У дисертаційній роботі розроблено на мові програмування C# та протестовано на прикладах моделювання функціональної придатності радіоелектронних кіл програмний комплекс для моделювання та забезпечення функціональної придатності статичних систем.

6. Програмний комплекс апробовано на ПП «Українські гіпсокартонні системи» та на підприємстві ТОВ ТКБР «Стріла». Застосування комплексу дало можливість обчислити значення параметрів технологічного обладнання, значення характеристик складників технологічного процесу, а також їх технологічні допуски. Отримані номінальні значення та допуски забезпечують функціональну придатність лінії з виробництва гіпсокартону, що дозволяє усунути додаткове експериментальне налаштування технологічного обладнання. Застосування програмного комплексу для моделювання та

забезпечення функціональної придатності радіоелектронних кіл дало змогу підвищити їх функціональну придатність та визначення допусків на параметри їх компонентів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Bobalo Yu. Evaluation of functional device suitability, with considering of random technological deviations of the parameters from the nominal and process of component aging / Yu. Bobalo, M. Dyvak, S. Krepych, P. Stakhiv // *Przegląd Elektrotechniczny*. – Warszawa (Poland), 2014. – V. 4. – P. 224-228.
2. Дивак М. П. Моделювання та забезпечення функціональної придатності технологічного обладнання лінії по виробництву гіпсокартону в умовах змінних характеристик сировини / М. П. Дивак, С. Я. Крепич, Т. М. Дивак, В. І. Манжула // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – Хмельницьк. 2015. – Вип.3 (52). – С. 186-193.
3. Bobalo Yu. Estimation of functional usability of radio electronic circuits by applying method of confidence ellipsoids / Yu. Bobalo, P. Stakhiv, S. Krepych // *Computational Problems of Electrical Engineering*. – Lviv, 2012. – V. 2, No. 2. – P. 1-7.
4. Крепич С. Я. Порівняльний аналіз часової складності процедур випадкового пошуку в задачі синтезу при заданих допустимих значеннях вихідних характеристик та допусків на параметри його елементів / С. Я. Крепич // *Вісник Тернопільського національного економічного університету: Науковий журнал*. – Тернопіль, 2015. – Вип. 1 (77). – С. 204-219.
5. Крепич С. Я. Порівняльний аналіз методу Монте-Карло та методу довірчих еліпсоїдів при оцінюванні функціональної придатності РЕК / С. Я. Крепич, М. П. Дивак // *Індуктивне моделювання складних систем*. – Київ, 2011. – Вип. 5. – С. 201-212.
6. Стахів П. Г. Синтез радіо-електронних кіл при заданих обмеженнях на вихідні характеристики та за умов заданих допусків на параметри елементів / П. Г. Стахів, М. П. Дивак, С. Я. Крепич // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – Хмельницьк, 2014. – Вип. 3 (48). – С. 39-48.
7. Крепич С. Я. Програмний комплекс оцінювання функціональної придатності пристроїв при заданих допустимих значеннях вихідних характеристик та допусків на параметри їх елементів / С. Я. Крепич // *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матер. V всеукр. школи-семінару молодих вчених і студентів „АСІТ'2015”*. – Тернопіль: Економічна думка, 2014. – С. 23-25.
8. Stakhiv P. Evaluation of functional suitability of the filter by the method of confidence ellipsoids / P. Stakhiv, M. Dyvak, S. Krepych // *12-th Inter. Conf. on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunication And Computer Science*. – Lviv-Slavske, 2014. – P. 395-397.
9. Krepych S. The task of synthesis of analog filter with the specified admissible values of the output characteristics and computing complexity of he methods of

- their solution /S. Krepych, P. Stakhiv, M. Dyvak, R. Shevchuk // 13-th International Conference “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics”. – Polyana-Svalyava, 2015. – P. 119-121.
10. Krepych S. Analysis of the tolerance area parameters REC based on technological area scattering / S. Krepych, P. Stakhiv, I. Spivak // 12-th International Conference “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics”. – Polyana-Svalyava, 2013. – P. 179-180.
 11. Stakhiv P. Evaluation of the functional of the device considering the technological parameters of random deviations from the nominal component aging processes / P. Stakhiv, S. Krepych, Yu. Bobalo // Computational Problems of Electrical Engineering and Advanced Methods of the Theory of Electrical Engineering “CPEE-AMTEE’13”. – Roztoky, Czech Republic, 2013. – P. 34.
 12. Крепич С. Я. Метод синтезу смугового фільтра для заданих обмежень на його модуль коефіцієнта передачі / С. Я. Крепич // Сучасні комп’ютерні інформаційні технології: Матер. IV всеукр. школи–семінару молодих вчених і студентів “АСІТ’2014”. – Тернопіль: Економічна думка, 2014. – С. 26-29.
 13. Крепич С. Я. Оцінювання часової складності застосування методу Монте-Карло та інтервального аналізу даних для встановлення функціональної придатності РЕК / С. Я. Крепич, І. Я. Співак // Сучасні комп’ютерні інформаційні технології: Матер. III всеукр. школи–семінару молодих вчених і студентів “АСІТ’2013”. – Тернопіль: Економічна думка, 2013. – С. 36-37.
 14. Krepych S. Coparative analysis of the Monte-Carlo method and the confidence ellipsoids for solving task of REC reliability evaluation /S. Krepych, M. Dyvak, P. Stakhiv // IV International Conference on Inductive Modelling “ICIM’13”. – Kyiv, 2013. – P. 167-171.

АНОТАЦІЇ

Крепич С. Я. Моделювання та забезпечення функціональної придатності статичних систем методами аналізу інтервальних даних. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи. – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2016.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-технічного завдання створення математичних та програмних засобів для моделювання та забезпечення функціональної придатності статичних систем, які б враховували часові зміни параметрів компонентів системи, відзначалися нижчою обчислювальною складністю та давали можливість одночасного знаходження оптимальних параметрів та умов забезпечення заданої функціональної придатності систем на основі аналізу інтервальних даних. Розроблено метод допускового еліпсоїдного оцінювання функціональної придатності статичних систем, який враховує часові зміни параметрів компонентів. Створено метод забезпечення функціональної придатності

статичних систем на основі аналізу інтервальних даних, який одночасно враховує обмеження на вихідні характеристики системи та забезпечує оцінювання її оптимальних параметрів, та метод забезпечення функціональної придатності статичних систем на основі аналізу інтервальних даних, який надає можливість одночасного знаходження оптимальних параметрів статичних систем та їх допусків. Розроблено програмний комплекс для реалізації запропонованих методів та алгоритмів і проведено його апробацію на прикладі моделювання та забезпечення функціональної придатності технологічного обладнання лінії по виробництву гіпсокартону в умовах змінних характеристик сировини.

Ключові слова: математичне моделювання, функціональна придатність статичних систем, задача аналізу, задача забезпечення функціональної придатності, аналіз інтервальних даних.

Крепыч С. Я. Моделирование и обеспечение функциональной пригодности статических систем методами анализа интервальных данных. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 – математическое моделирование и вычислительные методы. – Национальный университет «Львівська політехніка», Министерство образования и науки Украины, Львов, 2016.

Диссертация посвящена решению актуального научно-технического задания создания математических и программных средств для моделирования и обеспечения функциональной пригодности статических систем, которые бы учитывали временные изменения параметров компонентов системы, отмечались меньшей вычислительной сложностью и предоставляли возможность одновременного нахождения оптимальных параметров и условий обеспечения заданной функциональной пригодности систем с использованием анализа интервальных данных. Разработан метод допускового эллипсоидного оценивания функциональной пригодности статических систем, учитывающий временные изменения параметров компонентов. Создан метод обеспечения функциональной пригодности статических систем с использованием анализа интервальных данных, который одновременно учитывает ограничения на исходные характеристики системы и обеспечивает оценивание ее оптимальных параметров и метод обеспечения функциональной пригодности статических систем с использованием анализа интервальных данных, который предоставляет возможность одновременного нахождения оптимальных параметров статических систем и их допусков. Разработан программный комплекс для реализации предлагаемых методов и алгоритмов и проведено его апробацію на примере моделирования и обеспечения функциональной пригодности технологического оборудования линии по производству гипсокартона в условиях переменных характеристик сырья.

Ключевые слова: математическое моделирование, функциональная пригодность статических систем, задача анализа, задача обеспечения функциональной пригодности, анализ интервальных данных.

Krepych S. Ya. Modeling and provide functional suitability of static systems by the methods of analysing interval data. – On the right of manuscript.

Thesis for a Ph.D (candidate of science) degree by specialty 01.05.02 – mathematical modeling and computing methods. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2016.

The dissertation is devoted to solving actual scientific and technical task of creating mathematical and software tools for modeling and provide functional suitability of static systems that would take into consideration the time changes of parameters of the system components, would have lower computational complexity and would provide possibility of simultaneous finding the optimal parameters and conditions for providing specified functional suitability of the system based on analysis of interval data. During research were found shortcomings of modern methods of solving analysis task and providing functional analysis of system suitability: not takes into consideration the time changes of parameters of the system components during operation; high computational complexity of their application; not provide simultaneous finding the optimal parameters of statistical systems and their tolerances etc. Was made market analysis of software tools, which showed that there are many software systems that give possibility to assess the functional suitability of the system but only technical, and specialized software systems for designing individual technical processes. Was developed method of tolerance ellipsoidal evaluation of functional suitability of the static systems, which takes into consideration the time changes of parameters of the system components which provided the calculation of guaranteed valuations of functional suitability of static systems and increase the degree of adequacy of models of functional suitability. Was developed method providing functional suitability of static systems by analyzing the interval data, which is based on solving of interval system of the non linear algebraic equations and also takes into consideration the restrictions on output characteristics of the system and provides assessment of optimal parameters and methods of providing functional suitability of static systems by analyzing the interval data, which is based on solving of interval system of the non linear algebraic equations and allows simultaneous finding optimal parameters of the static systems and their tolerances. Further development can be done for the methods of stochastic optimization based on the directional cone of Rastryhin that, unlike the existing ones, provide finding of interval evaluations of the optimal set of solutions. Developed software system for implementing developed methods and algorithms based on designed use case diagrams and class and conduct his approbation. Use of the complex gave a possibility to calculate values of parameters of the technical equipment, characteristics values of components of the technical process , as well as their technological tolerances. The resulting nominal values and tolerances provide functional suitability gypsum board production line, which eliminates additional experimental configuration of process equipment. Use of software complex for modeling and provide functional suitability of radio-electronic circuits made it possible to increase their functional suitability and determination tolerances on the parameters of their components.

Keywords: mathematical modeling, functional suitability of static systems, analysis task, task of providing of the functional suitability, interval data analysis.

Підписано до друку 19.02.2016 р.
Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Друк офсетний. Зам. № 3-229
Умов.-друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0.
Тираж 100 прим.

Віддруковано ФО-П Шлак В. Б.
Свідоцтво про державну реєстрацію В02 № 924434 від 11.12.2006 р.
Свідоцтво платника податку: Серія Е № 897220
м. Тернопіль, вул. Просвіти, 6.
тел. 8 097 299 38 99
E-mail: tooums@ukr.net