

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

СОБЧУК ВАЛЕНТИН ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 004732; 621.396

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ
СТІЙКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПІДПРИЄМСТВ В
УМОВАХ ВПЛИВУ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ**

Спеціальність 05.13.06 «Інформаційні технології»

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному університеті телекомунікацій Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор, **Барабаш Олег Володимирович**, Державний університет телекомунікацій, завідувач кафедри вищої математики.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Оксіюк Олександр Глібович**, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, завідувач кафедри кібербезпеки та захисту інформації факультету інформаційних технологій;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник **Кучеров Дмитро Павлович**, Національний авіаційний університет, професор кафедри комп'ютеризованих систем управління;

доктор технічних наук, доцент **Шушура Олексій Миколайович**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», професор кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем теплоенергетичного факультету.

Захист відбудеться 2 липня 2020 року об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.861.05 у Державному університеті телекомунікацій за адресою: 03110, м. Київ, вул. Солом'янська, 7, конференц-зал.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного університету телекомунікацій за адресою: 03110, м. Київ, вул. Солом'янська, 7
Автореферат розісланий 2 червня 2020 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



В.В. Жебка

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Металургія є однією з повідних галузей промисловості України. Нині в гірничо-металургійний комплекс України охоплює близько 800 підприємств, в тому числі дев'ятнадцять металургійних комбінатів та заводів (п'ять з яких перебуває на тимчасово окупованих територіях), щонайменше 12 трубних заводів, більше 20 метизних підприємств, понад 100 спеціалізованих підприємств з переробки металобрухту та відходів.

Гірничо-металургійний комплекс (ГМК) забезпечує Україні 19,4 % капітальних інвестицій в промисловості. Металургія — це постійні масштабні інвестиції, зокрема, в розвиток інформаційних систем підприємств. Якщо сьогодні не інвестовано в підвищення ефективності та в процес інформатизації, то завтра це приведе до межі не конкурентоспроможності. Українські компанії не залишаються осторонь від світових трендів. У 2017-2018 роках в нові проекти інвестовано \$ 0,8 млрд. (сума не враховує інвестицій в капітальні ремонти та підтримання потужностей, практично всі виробники інвестують в підвищення ефективності та оптимізацію собівартості продукції).

Функціонування всіх виробничих підрозділів металургійного підприємства з повним металургійним циклом забезпечують інформаційні системи різного типу. За допомогою цих систем здійснюється планування та контроль усіх процесів. Вони працюють в автономному режимі під впливом зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. За допомогою інформаційних систем можна забезпечити підвищення продуктивності праці усіх виробничих центрів при зменшенні числа зайнятих у виробництві людей та значному зменшенні частки ручної праці. Системи постійно модернізуються завдяки інтенсифікації капіталовкладень у виробничий процес.

Безперервна інтенсифікація виробничих процесів призводить, як правило, до ускладнення функції керування. Однак швидкий розвиток засобів автоматизації та інформаційних систем розширює можливості їх реалізації.

Одночасний розвиток технології виробництва та технології управління призвів до створення таких виробничих процесів і типів обладнання, які неможливо експлуатувати у відриві від інформаційних систем, які здійснюють управління технологічним процесом. Характерними прикладами є сучасні доменні печі, кисневі конвертери, потужні електропечі тощо.

В міру зростання продуктивності агрегатів і підвищення вимог до якості металу зростає роль автоматичного контролю і управління металургійними процесами, оскільки суб'єктивні помилки обслуговуючого персоналу можуть призвести до значних абсолютних втрат металу, палива, зниження продуктивності агрегатів або до зниження якості продукції.

Безперервність технологічних процесів чорної металургії створює досить сприятливі умови для комплексної інформатизації.

Основними передумовами для повної автоматизації ділянок, цехів є підвищення рівня механізації та інформатизації на ділянках, застосування дистанційного керування механізмами, високий рівень оснащення агрегатів контрольно-вимірювальними модулями.

Автоматизація та інформатизація контролю управління є одним із способів підвищення продуктивності агрегатів і поліпшення якості продукції. У свою чергу автоматизація впливає на технологію процесу, розвиток більш повної механізації, вдосконалення обладнання.

Максимальний економічний ефект від введення нових інформаційних систем на підприємствах може бути одержаний, коли в процесі проектування технологічного агрегату передбачається його механізація, створюються резерви ресурсів управління і технологічний процес будується з урахуванням використання сучасних досягнень в галузі інформаційних технологій. Розрахунки показують, що капітальні витрати на інформатизацію та автоматизацію об'єктів окупаються в 3-4 рази швидше, ніж капітальні витрати на будівництво нових виробничих агрегатів. Крім того, підвищується та стабілізується якість продукції.

Інформаційні системи підприємств функціонують в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. За негативного впливу модулі систем можуть виходити з ладу. Проте, системи повинні функціонувати в автономному режимі протягом заданого часу. Таку умову функціонування можна виконати завдяки забезпеченню властивості функціональної стійкості. Функціональна стійкість — це можливість функціонування інформаційної системи, можливо із зменшенням якості, протягом вказаного часу під впливом зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів. Під зовнішніми та внутрішніми дестабілізуючими факторами розуміються відмови, збої модулів системи, механічні пошкодження, теплові впливи, помилки обслуговуючого персоналу. Основними етапами забезпечення функціональної стійкості є виявлення модуля, який відмовив при контролі, діагностування модуля, який відмовив та відновлення функціонування інформаційної системи підприємства.

Дослідження щодо синтезу оптимальних складних технічних систем проводилися у роботах Ю.П. Зайченка, В.Г. Лазарева, В.С. Семеніхіна, В.Ф. Колчина, О.А. Машкова, І.А. Мізіна, Б.П. Філіна, О.В. Барабаша, Д.П. Кучерова, Г.А. Кучука, О.С. Бичкова, Д.М. Обідіна, О.Г. Оксіюка, а також Д. Берсекаса, Д. Девіса, П. Верми, Г. Френка, Р. Прима і ін.

Питання відмовостійкості та надійності технічних систем досліджувалось в роботах А.А. Авіжієніса, В.А. Машкова, Ю.М. Коростіля, В.В. Вишнівського О.Ю. Ільїна, В.А. Савченка та інших вчених. Властивість стійкості систем щодо зовнішніх інформаційних впливів досліджувалась О.Г. Додоновим, Д.В. Ланде, І.Ю. Субачем, Ю.В. Журавським, І.В. Рубаном, О.М. Шушурою.

Великий внесок у теорію автоматичного керування внесли професор Вишнеградський І.О., академік Ляпунов О.М., професор Вознесенський А.В., академік Андронов О.О. та ін. Професор Сорокін В.О. провів глибокі дослідження зі створення методики автоматичного керування доменного процесу. Проблематикою вивчення взаємозв'язку між окремими технологічними параметрами агломераційного процесу займалися вчені Базилевич С.В., Вегман Є.Ф., Коротич В.І., Міллер В.Я., Сігов О.О., Фролов Ю.О., Шурхал В.А.

Всі розглянуті роботи присвячені проектуванню та оптимізації складних технічних систем, які володіють певною ефективністю функціонування в залежності від обраного показника якості. В роботах багато уваги приділено завданню синтезу живучих та надійних систем. Проте, в цих роботах не в повній мірі відображені питання контролю та самодіагностування систем. Не достатньо уваги приділено процесу відновлення систем після парирования руйнувань різного рівня і збереженню системою можливості виконання основних функцій в умовах впливу дестабілізуючих факторів. Виходячи з цього, недосконалість та обмеженість існуючих наукових методів побудови та використання складних технічних систем, зокрема, інформаційних систем підприємств, не дозволяє забезпечити їх функціональну стійкість.

Таким чином, на даний час в теорії та практиці синтезу та експлуатації існуючих інформаційних систем підприємств загострилося протиріччя між необхідністю сталого функціонування інформаційних систем підприємств в умовах дії зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів і можливостями існуючих методів та методик забезпечення властивості функціональної стійкості інформаційних систем підприємства.

Для розв'язання вказаного протиріччя в дисертаційній роботі сформульовано актуальну науково-прикладну проблему *щодо розробки методологічних основ побудови та використання функціонально стійкої узагальненої інформаційної системи підприємства, яка повинна автономно функціонувати в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів.*

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи і отримані результати безпосередньо відповідають пріоритетності розвитку інформаційних та комунікаційних технологій в Україні до 2020 р. згідно із Законом України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», від 11.07.2001 № 2623-III, зі змінами внесеними згідно із Законом України «Про наукову та науково-технічну діяльність» від 26.11.2015 № 848-VIII.

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів наукової і науково-технічної діяльності Державного університету телекомунікацій і є частиною досліджень в рамках науково-дослідних робіт:

– «Методи забезпечення функціональної стійкості розподілених інформаційно-телекомунікаційних систем» (шифр «РІС», Державний реєстраційний номер 0114U000402, ДУТ, м. Київ);

– «Розробка методики побудови оптимальної системи передачі інформації інфокомунікаційної мережі» (шифр «ОСП», Державний реєстраційний номер 0115U004571, ДУТ, м. Київ), які виконував Державний університет телекомунікацій у 2014 – 2019 р.

Особисто автором в НДР, шифр «РІС», запропоновано метод контролю відмовивших модулів розподіленої інформаційної системи, який відрізняється від існуючих способами виконання елементарних перевірок та можливістю закінчення процедури оцінки технічного стану системи в будь-який момент часу; в НДР шифр «ОСП» запропоновано метод адаптивного самодіагностування інформаційної мережі в основі якого лежить умова, що однієї

елементарної перевірки достатньо для визначення стану модуля, який перевіряється при умові, що перевіряючий модуль справний.

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає у забезпеченні функціональної стійкості узагальненої інформаційної системи підприємства за рахунок покращення показників діагностування.

У відповідності до поставленої мети, для вирішення науково-прикладної проблеми, в роботі сформульовано такі завдання:

- провести аналіз і оцінку інформатизації та функціонування металургійного комплексу в Україні;
- провести аналіз зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів, що впливають на процес функціонування інформаційних систем підприємства;
- дослідити можливості застосування математичного апарату псевдообернених матриць в процесі забезпечення властивості функціональної стійкості;
- розробити метод формування функції керування параметрами технологічного процесу виробничого;
- розробити математичну модель технологічного процесу виробничого підприємства;
- розробити умови та критеріїв функціональної стійкості технологічного процесу;
- розробити метод контролю для забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи підприємства;
- розробити метод адаптивного самодіагностування для забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи підприємства;
- удосконалити методику забезпечення властивості функціональної стійкості інформаційної системи підприємства;
- виконати експериментальну оцінку отриманих теоретичних результатів шляхом імітаційного моделювання.

Об'єктом дослідження є процес функціонування інформаційних систем підприємства.

Предметом дослідження є забезпечення функціональної стійкості інформаційних систем підприємства, які функціонують під дією зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі використано методи дослідження на основі системного підходу та теорії складних систем із застосуванням математичних моделей і методів дискретної математики. Концептуальні основи функціональної стійкості інформаційних систем підприємств засновані на принципах теорії оптимізації, теорії ймовірностей. Теоретичні основи функціональної стійкості інформаційних систем підприємств будуються з використанням теорії випадкових графів, теорії ймовірностей, комбінаторної теорії, матричного аналізу, аналітичного моделювання та дискретної оптимізації. Методи теорії надійності використані для розробки методів контролю та адаптивного самодіагностування інформаційних систем підприємств.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у такому:

1. Вперше розроблено метод формування функції керування параметрами технологічного процесу виробничого підприємства для забезпечення функціональної стійкості даного процесу. Даний метод відрізняється від існуючих тим, що використовує принцип управління за відхиленням та враховує запропоновані автором необхідні та достатні умови того, що у виробничому процесі будуть реалізовані еталонні вимоги. Зазначений метод забезпечує точність керування технологічним процесом.

2. Вперше розроблено математичну модель функціонально стійкого технологічного процесу, що забезпечується інформаційними системами виробничого підприємства. Дана модель відрізняється від існуючих використанням математичного апарату псевдообернених матриць. Запропонована модель дозволяє описати та промоделювати технологічний процес, що забезпечується інформаційними системами виробничого підприємства.

3. Удосконалено метод аналізу технологічного процесу, що забезпечується інформаційними системами виробничого підприємства. Даний метод включає в себе запропоноване означення, умови та критерії функціональної стійкості технологічного процесу. Зазначений метод дозволяє під час здійснення технологічного процесу якісно і кількісно характеризувати здатність інформаційних систем підприємства до парирування наслідків нештатних ситуацій, що виникають в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів.

4. Удосконалено методи контролю та адаптивного самодіагностування, на основі яких забезпечується функціональна стійкість інформаційної системи підприємства. Дані методи відрізняються від існуючих способами виконання елементарних перевірок та можливістю закінчення процедури оцінки технічного стану інформаційної системи підприємства в будь-який момент часу. Запропоновані методи контролю та адаптивного самодіагностування використовуються під час роботи інформаційної системи підприємства за призначенням під впливом зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. Завдяки розробленим методам можна досягти необхідної достовірності діагностування. Це забезпечується за рахунок відслідковування кожним модулем системи поточної структури перевірочних зв'язків, оскільки кожна структура характеризується певним значенням достовірності діагностування.

5. Удосконалено методику забезпечення властивості функціональної стійкості інформаційної системи підприємства, за рахунок представлення функціонування системи у вигляді формалізованого процесу, в якому основними типами процедур є накопичення перевірок, аналіз перевірочних зв'язків, діагностування модуля, що відмовив та відновлення функціонування системи. Зазначена методика дозволяє забезпечити властивість функціональної стійкості інформаційної системи підприємства.

6. Вперше розроблено методологію побудови функціонально стійкої узагальненої інформаційної системи виробничого підприємства, яка включає в себе інформаційні системи забезпечення функціонально стійкого

технологічного процесу та системи оперативного виробничого планування. Функціональна стійкість такої узагальненої системи забезпечується за рахунок використання запропонованих методів контролю технічного стану та адаптивного самодіагностування, а також відновлення працездатності системи.

Практичне значення отриманих результатів. Реалізація запропонованих в дисертації методологічних основ побудови функціонально стійкої узагальненої інформаційної системи виробничого підприємства, як сукупність концептуальних, теоретичних та технологічних основ, дозволяє:

1) проектувати та експлуатувати функціонально стійкі інформаційні системи підприємств, які функціонують в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів;

2) підвищити показники функціональної стійкості існуючих інформаційних систем підприємств, що характеризують здатність системи парировати нештатні ситуації за рахунок перерозподілу ресурсів;

3) в процесі автономного функціонування, протягом заданого проміжку часу, без втручання обслуговуючого персоналу, виявляти відмови модулів системи за мінімальний час із достовірністю не нижче заданої, що дасть можливість своєчасного перерозподілу виконуваних завдань та відновлення процесу функціонування.

Розроблені методи контролю та адаптивного самодіагностування дозволяють виявляти несправності, що виникають в модулях інформаційної системи із необхідною достовірністю діагностування та за мінімальний час.

Результати досліджень прийняті до впровадження в ПрАТ «Бліц-інформ» (акт від 14.02.2019 р.), в ТОВ «Краматорський феросплавний завод» (акт від 25.09.2019 р.), в АТ «Українська гірничо-металургійна компанія» (акт від 20.12.2019 р.), в навчальний процес кафедри комп'ютерних наук Державного університету телекомунікацій при викладанні дисципліни «Основи теорії надійності та діагностики телекомунікаційних систем» для студентів спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» денної форми навчання (акт від 12.02.2020 р.).

Особистий внесок здобувача. Всі положення, які виносяться на захист, належать особисто автору. В роботах, які опубліковано в співавторстві, особисто здобувачу належать: в [1] проведено аналіз основних підходів щодо забезпечення властивості функціональної стійкості інформаційних систем підприємства; в [2] проведено аналіз використання ієрархічної структури для забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством; в [3] проведено оцінку параметрів функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством; в [4] проведено аналіз зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів, які діють на інформаційну систему; в [5] розроблено метод аналізу інформаційної системи, що на відміну від існуючих засновано на понятійному апараті функціональної стійкості; в [6] запропоновано метод контролю технічного стану модулів мережі; в [7] проведено оцінку економічного ефекту від впровадження функціонально стійкої інформаційної системи підприємства; в [8] проведено дослідження математичного апарату для побудови математичної моделі функції керування; в

[9] запропоновано метод самодіагностування елементів, які відмовили для гіперконвергентної системи; в [10] запропоновано та досліджено параметри діагностування інформаційної системи; в [11] проаналізовано методи функціонування та діагностування інформаційної мережі; в [12] розроблено математичну модель структури інформаційної мережі на основі нестационарної ієрархічної та стаціонарної гіпермережі; в [13] проведено математичне моделювання показників функціональної стійкості; в [14] розроблена методика забезпечення властивості функціональної стійкості, що дозволяє знаходити параметри діагностування системи з заданою точністю; в [15] запропоновано метод адаптивного самодіагностування, який використовуються під час роботи системи за призначенням під впливом зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів; в [16] розроблена методика виявлення несанкціонованого доступу до інформаційних систем підприємства; в [17] проаналізовано можливість застосування перетворень Фур'є для вибору оптимального вхідного сигналу радіомоніторингу; в [18] розроблено метод діагностування прихованих відмов в інформаційній системі; в [19] розроблена математична модель багатокритеріальної оптимізації з використанням принципу справедливості; в [20] розроблено метод формування функції керування параметрами системи, що динамічно змінюється; в [22] проведено аналіз застосування лінійних імпульсних систем; в [23] проаналізовано типи кібернетичних атак, що можуть впливати на безпеку інформаційної системи підприємства; в [24] проведено математичне моделювання методу підвищення завадостійкості системи виявлення, розпізнавання і локалізації цифрових сигналів в інформаційних системах.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційних досліджень доповідалися й обговорювалися на таких конференціях і семінарах:

- Міжнародна науково-практична конференція «Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2012 рік» (Луцьк – Світязь, 2012);
- Науково-практична конференція «Стан та перспективи інноваційно-інвестиційного розвитку міста Луцька (Луцьк – Світязь, 2012);
- III Міжнародна науково-практична конференція «Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2014 рік» (Луцьк – Світязь, 2014);
- IV Міжнародна науково-практична конференція «Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2015 рік» (Луцьк – Світязь, 2015);
- V Міжнародна науково-практична конференція «Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2016 рік» (Луцьк – Світязь, 2016);
- VI Міжнародна науково-практична конференція «Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2017 рік» (Луцьк – Світязь, 2017);
- VII Міжнародна науково-практична конференція «Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2018 рік» (Луцьк – Світязь, 2018);
- VIII Міжнародна науково-практична конференція «Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2019 рік» (Луцьк – Світязь, 2019);
- IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC). (Kyiv, 2018);

- The International Scientific Conference «Advances of Science»: Proceedings of articles. (Czech Republic, Karlovy Vary – Ukraine, Kyiv, 2019);
- The 2nd International scientific and practical conference «Scientific achievements of modern society» (Liverpool, United Kingdom. 2019);
- IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). (Kyiv, 2019);
- Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні проблеми кібербезпеки» (Київ, 2019);
- II Міжнародна науково-практична конференція «Priority Directions of Science Development», (Львів, 2019);
- International Workshop QUALITDE-2019, (Tbilisi, Georgia. 2019);
- Міжнародна науково-практична конференція «Наукоємні технології в інфокомунікаціях», (Кам'янець-Подільський, 2019);
- Всеукраїнська науково-технічна конференція «Застосування програмного забезпечення в інфокомунікаційних технологіях», (Київ, 2020).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 44 наукових праці. Основні наукові положення викладено у 25 наукових статтях [1 – 25], що опубліковані у фахових наукових виданнях України та закордонних періодичних виданнях. Із них 4 статті [5, 8, 20, 22] опубліковані у наукових виданнях SCOPUS. За матеріалами виступів на науково-технічних конференціях опубліковано 17 публікацій [26 – 42], серед яких [34, 37] проіндексовано в наукометричній базі SCOPUS. Додатково результати досліджень відображені в статтях [43, 44], серед яких [44] опублікована у науковому виданні, що входить до бази даних SCOPUS.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, 2 додатків на 14 сторінках та списку використаних джерел з 219 найменувань на 24 сторінках. Повний обсяг дисертації 348 сторінок, з них 285 сторінок основного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано науково-прикладну проблему, мету, об'єкт, предмет, завдання дослідження, наукову новизну одержаних результатів, практичне значення результатів, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами досліджень Державного університету телекомунікацій. Визначено особистий внесок здобувача, відомості про апробацію результатів роботи, публікації.

У **першому розділі** проводиться аналіз і оцінка інформатизації та функціонування металургійного комплексу в Україні. Аналізується поняття автоматизації сучасного підприємства. Розглядається поняття автоматизованої система управління технологічним процесом (АСУТП), як людино-машинної системи управління, що забезпечує автоматизований збір та обробку інформації, необхідної для оптимізації управління технологічним об'єктом відповідно до прийнятого критерію. Саме визначення АСУТП підкреслює наявність в її складі сучасних автоматичних засобів збору і обробки інформації

тобто наявності сучасних функціонально стійких інформаційних систем; роль людини в системі управління як трудового ресурсу, що приймає змістовну участь у виробленні рішень; реалізацію в системі процесу обробки технологічної та техніко-економічної інформації.

Метою функціонування інформаційних систем підприємств є забезпечення функціонально стійкої, безвідмовної, стабільної роботи виробничого комплексу в автоматичному автономному режимі під впливом зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів на процес функціонування системи шляхом контролю та самоконтролю роботи систем та відповідного вибору керуючих впливів.

Складність та наскрізна взаємопов'язаність усіх ланок металургійного виробництва повного циклу є класичним прикладом об'єкту автоматизації. Важливо зазначити, що в останні роки окреслилась яскраво виражена тенденція до інтеграції систем АСУТП і АСУВ (автоматизована система управління виробництвом). При цьому комплексна система автоматизації являє собою трирівневу піраміду управління промисловим підприємством

Забезпечення функціональної стійкості сучасного промислового підприємства нерозривно пов'язано з реалізацією ефективної топології виробничого технологічного обладнання, оснащеного датчиками, сенсорами, контролерами Programmable Logic Controller (PLC), виробничими пристроями Programmable Automation Controller (PAC), вбудованими в загальну архітектуру систем.

В роботі проведено аналіз класів інформаційних систем оперативного виробничого планування. Найбільш відомими такими класами системами є: MRP II (Manufacturing Resource Planning), ERP (Enterprise Resource Planning), APS (Advanced Planning & Scheduling Systems) і MES (Manufacturing Execution Systems).

Після проведеного аналізу був сформульований висновок, що автоматизація промислового виробництва за допомогою всебічного впровадження сучасних інформаційних платформ дозволяє знайти оптимальний баланс у використанні наявних ресурсів підприємства, забезпечити розробку та впровадження нової, висококонкурентної продукції, знизити виробничі і невиробничі витрати, підвищити якість взаємовідносин з контрагентами і покупцями, забезпечити функціонально стійку виробничу інфраструктуру.

В кінці першого розділу проведено постановку науково-прикладної проблеми щодо розробки методологічних основ побудови та використання функціонально стійкої узагальненої інформаційної системи підприємства, яка повинна автономно функціонувати в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів, а також сформульовані часткові наукові завдання для досягнення поставленої мети дослідження.

Другий розділ присвячено розробці методу формування функції керування параметрами технологічного процесу та побудові математичної моделі технологічного процесу виробничого підприємства.

Випуск продукції зазвичай складається з низки етапів, на кожному з яких висуваються певні вимоги до параметрів та характеристик сировини,

напівфабрикатів чи то, в кінцевому підсумку, готової продукції. Позначимо такі набори параметрів на кожному i -му етапі $x(i)$, $i = 1, 2, \dots, N$.

Технологічні виробничі процеси для гарантування досягнення параметрів $x(i)$ на кожному етапі вимагають зовнішніх впливів на виробничий процес — $u(i)$ (ефект від роботи, енергетичний ефект, хімічні чи то інші технологічні впливи на кожному з етапів).

Зрозуміло, що кінцева якість продукції, як і проміжна кількість на кожному етапі, залежить від жорсткого дотримання технології та забезпечення витримки необхідних параметрів на кожному попередньому кроці.

Нехай $A(i)$ — матриця залежності показників якості продукції на $(i + 1)$ -му етапі від показників на i -му етапі, власне матриця виробничого процесу; $C(i)$ — матриця, яка визначає структуру впливу на виробничий процес $u(i)$.

Тоді математичну модель технологічного процесу можна записати так:

$$\begin{aligned} x(i + 1) &= A(i)x(i) + C(i)u(i), \quad i = 1, 2, \dots, N. \\ x(i) &\in \mathbb{R}^n, \quad A(i) \in \mathbb{R}^{n \times n}, \quad C(i) \in \mathbb{R}^{n \times m}, \quad u(i) \in \mathbb{R}^m. \end{aligned} \quad (1)$$

Тут $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ — вектор стану розмірності n , $u = (u_1, \dots, u_m)^T$ — вектор керування розмірності m , $A(t)$ — $n \times n$ — матриця, $C(t)$ — $n \times m$ — матриця, $t = 0, 1, \dots, N - 1$. Позначимо $I_N = \{0, 1, \dots, N\}$; $x(t, x_0, u)$ розв'язок системи (1), $t \in I_N$ при керуванні $u(t)$, $t \in I_{N-1}$.

Базовою задачею є задача, яка розглядає знаходження функції керування u , що забезпечує виконання процесу, таким чином, щоб результат виконання процесу гарантував отримання в кінцевому випадку в $x(N)$ продукції, що задовольняє всім якісним характеристикам, які вимагаються діючими стандартами до неї. У випадку, якщо в кінці процесу продукція має відхилення від заданих стандартних параметрів, то такі відхилення гарантовано попадають в множину допустимих толерансів, які визначені діючими стандартами до такої продукції. Математично, це означає, що існує бажаний кінцевий стан x_N і додатній параметр $\varepsilon > 0$ такі, що $\|x(N) - x_N\| < \varepsilon$.

В роботі розроблено метод формування функції керування параметрами технологічного процесу виробничого підприємства для забезпечення функціональної стійкості даного процесу. Дана функція забезпечує випуск продукції згідно заданого стандарту з дотриманням допустимих стандартів толерансів на заданому виробничому центрі.

Крок 1. Задаємо початковий стан $x(0) = x_0$ та кінцевий стан $x(N) = x_N$.

Крок 2. Задаємо параметр відхилення $\varepsilon > 0$, який визначає сукупність можливих відхилень (толерансів) для виробу від вимог стандарту.

Крок 3. Знаходимо матрицю $\Theta(N) = A_{N-1}A_{N-2} \dots A_1A_0$.

Крок 4. Знаходимо матриці $\Theta(N, t) = A_{N-1}A_{N-2} \dots A_t$ для всіх $t = 0, 1, \dots, N - 1$, $\Theta(N, N) = E$.

Крок 5. Знаходимо матриці $W(t) = \Theta(N, t)C(t)$, для всіх $t = 0, 1, \dots, N - 1$.

Крок 6. Знаходимо матрицю $\Phi(N) = \sum_{k=0}^{N-1} W(k)W^T(k)$.

Крок 7. Знаходимо псевдообернену матрицю $\Phi^+(N)$.

Крок 8. Знаходимо керування

$$u(t) = K(t)(x_N - \Theta(N)x_0),$$

де $K(t) = W^T(t)\Phi^+(N)$ для всіх $t = 0, 1, \dots, N-1$.

Крок 9. Знаходимо матрицю $Z_N = E - \Phi^+(N)\Phi(N)$.

Крок 10. Перевіряємо умову $\|Z_N(x_N - \Theta(N)x_0)\| < \varepsilon$: виконання даної умови вказує на те, що керування $u(t)$ розв'язує задачу про випуск продукції з заданими допусками

$$\|x(N) - x_N\| < \varepsilon;$$

інакше керування $u(t)$, яке забезпечує випуск продукції з допусками, не існує. Кінець опису методу.

Представимо (1) у вигляді

$$Ax = Cu. \quad (2)$$

Таке представлення демонструє, що всі етапи технологічного виробничого процесу можуть бути описані системою алгебраїчних рівнянь (2), де власне

$$x = \begin{pmatrix} x(0) \\ x(1) \\ \vdots \\ x(N) \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{n \times N}, \quad u = \begin{pmatrix} u(0) \\ u(1) \\ \vdots \\ u(N-1) \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{n \times N}.$$

$$C = \begin{pmatrix} C(0) & & \dots & 0 \\ 0 & C(2) & & 0 \\ 0 & 0 & C(3) & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C(N-1) \end{pmatrix} - \text{блочна матриця } (Nn) \times (Nm).$$

$$A = \begin{pmatrix} -A(0) & E & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & -A(1) & E & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -A(2) & E & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -A(N-1) & E \end{pmatrix} - \text{матриця } ((N-1)n) \times ((N+1)n).$$

Означення. Якщо при заданих матрицях A, C та векторі u існує розв'язок $x = \bar{x} + e$ системи (2) такий, що $\|e\| \leq \varepsilon$, то такий технологічний процес називатимемо функціонально стійким.

Теорема. Нехай виконується умова

$$u^T Q u = 0, \quad (3)$$

де $Q = C^T Z (A^T) C$, $Z(A^T) = E - AA^+$ — проектор на ядро матриці A^T , A^+ — псевдообернена матриця. При цьому

$$\|A^+(Cu - A\bar{x})\| \leq \varepsilon. \quad (4)$$

Тоді технологічний процес, описаний рівнянням (2), є функціонально стійким.

Дана теорема вперше сформульована та доведена автором. Особливості застосування зазначеної теореми.

Якщо розв'язок системи (2), який відповідає умовам функціональної стійкості не існує, це означає, процес не може гарантовано реалізуватись. В

такому випадку технологічний процес слід зупинити, щоб проаналізувати, які параметри призводять до функціональної нестійкості.

Якщо розв'язок системи (2), який відповідає умовам функціональної стійкості, не існує, це означає, що процес не може гарантовано реалізовуватись. В такому випадку технологічний процес слід зупинити, щоб проаналізувати, які параметри призводять до функціональної нестійкості.

При цьому розв'язуємо задачу

$$I(e) = \|Ae - Cu - A\bar{x}\| \rightarrow \min_e. \quad (5)$$

Розв'язком даної задачі мінімізації є сукупність векторів

$$e \in \{A^+(Cu - A\bar{x}) + Z(A)v, v \in \mathbb{R}^{nN}\},$$

при цьому вектор

$$e = A^+(Cu - A\bar{x})$$

має найменшу норму. Власне він фактично окреслює гранично допустиму межу відхилень від еталонного значення. В разі подальшого зростання відхилень, процес потрібно негайно припинити, адже при цьому процес продукуватиме неприпустимі відхилення заданих стандартів.

На практиці це означає, що існування точного розв'язку системи гарантує функціональну стійкість системи. Якщо відхилення від еталонного значення задовольняють (4), то виробничий процес стійко функціонує випускаючи продукцію згідно зі стандартом з дотриманням гарантованих технологічних допусків. Якщо ж умова (4) не виконується, проте існує розв'язок (5), це означає, що система функціонує в умовах близьких до втрати стійкості (технологічно це означає, що процес забезпечує випуск продукції неналежної якості, яка буде обов'язково дефектована, наприклад, продукції буде присвоєно низький ґатунок, розряд тощо). Якщо немає розв'язків задачі (5), то процес має бути негайно зупинений. Система повернеться у вихідне положення на рівень функціональних задач APS, MES, PLM-систем ІАСУ та застосовується вище описаний алгоритм повторного планування та рестарту скоригованого виробничого плану.

Отже, введене поняття, умови та критерії функціональної стійкості технологічного процесу дозволяють удосконалити метод аналізу технологічного процесу виробничого підприємства. Зазначений метод дозволяє під час здійснення технологічного процесу якісно і кількісно характеризувати здатність інформаційних систем підприємства до парирування наслідків нештатних ситуацій, що виникають в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів.

Третій розділ присвячено розробці методів контролю та адаптивного самодіагностування, на основі яких забезпечується функціональна стійкість інформаційної системи підприємства.

В основу розроблених методів контролю та адаптивного самодіагностування покладено можливість розбиття всієї інформаційної системи на сукупність модулів, які спроможні перевіряти один-одного. Суть перевірки полягає у випадковому визначенні пари модулів, один з із яких є перевіряючим, а інший — той, що перевіряється. Перший модуль подає тестове завдання на модуль, що перевіряється. Цей модуль виконує тест та відправляє

до першого модуля результат виконання тесту. Перший модуль порівнює отриманий результат із еталонним та формує результат елементарної перевірки, що може мати два значення: 0 — перший модуль вважає, що другий модуль справний; 1 — вважає другий модуль несправним. Сутність всіх результатів елементарних перевірок дозволяє із деякою достовірністю визначити технічний стан модулів системи.

Під час функціонування інформаційної системи підприємства за призначенням модулів системи, окрім основних задач, виконують взаємні перевірки. Період часу між двома послідовними видачами результату контролю назвемо циклом самоконтролю. Цикл виконується або задану тривалість часу або задану кількість разів. Якщо під час проведення циклу самоконтролю не було виконано жодної елементарної перевірки, результат якої свідчить про наявність несправностей в модулях системи, то видається результат самоконтролю тобто інформація, що система працює в штатному режимі. Після видачі результатів самоконтролю починається новий цикл перевірок. У випадку коли під час виконання методу самоконтролю один з результатів елементарних перевірок виявляє несправність, то цикл самоконтролю припиняється і починається робота методу адаптивного самодіагностування.

В залежності від того, який момент часу приймається за початок процедури адаптивного самодіагностування, можливі дві стратегії адаптивного самодіагностування.

Перша стратегія. Метод адаптивного самодіагностування починається в момент початку останнього циклу самоконтролю t_k . При цьому враховуються елементарні перевірки виконані за час τ . Згідно даної методики, після появи результату елементарної перевірки, що показує наявність несправності в інформаційній системі підприємства, результати отримані до цього часу не аналізуються і апріорні ймовірності справного стану модулів системи на момент часу t_0 не визначаються. Дешифрація синдрому сукупності результатів елементарних перевірок здійснюється після закінчення роботи методу адаптивного самодіагностування.

Друга стратегія. Метод адаптивного самодіагностування починається в момент часу t_0 . На основі результатів елементарних перевірок, які виконані за час τ , визначаються апріорні ймовірності справності модулів інформаційної системи підприємства. Після виконання методу адаптивного самодіагностування обчислюються апріорні ймовірності справного та несправного стану модулів, на основі якого формується результат адаптивного самодіагностування та визначається його достовірність.

Після отримання діагностичної інформації кожний модуль інформаційної системи підприємства оцінює свою готовність видачі результатів самоконтролю системи із заданою достовірністю.

Відповідно до розглянутих методів контролю та адаптивного самодіагностування інформаційної системи підприємства, в залежності від результатів елементарних перевірок, використовується метод контролю

технічного стану модулів системи або метод адаптивного самодіагностування. Дані методи мають різні цілі та способи реалізації.

Інформаційна система підприємства (ІСП) організована таким чином, що робоча інформація передається в модуль системи після отримання сигналу про його готовність або справність. Тому необхідно забезпечити мінімальний час з моменту початку роботи методу самоконтролю до моменту видачі інформації про справність всіх модулів ІСП. Кожному моменту часу виконання процедури самоконтролю відповідає певне значення ймовірності того, що всі модулі ІСП проконтрольовані, або ймовірність видачі інформації P_{BI} про справність модулів.

Метод самоконтролю інформаційної системи підприємства при випадковому виконанні елементарних перевірок може бути представлений таким чином (рис. 1).

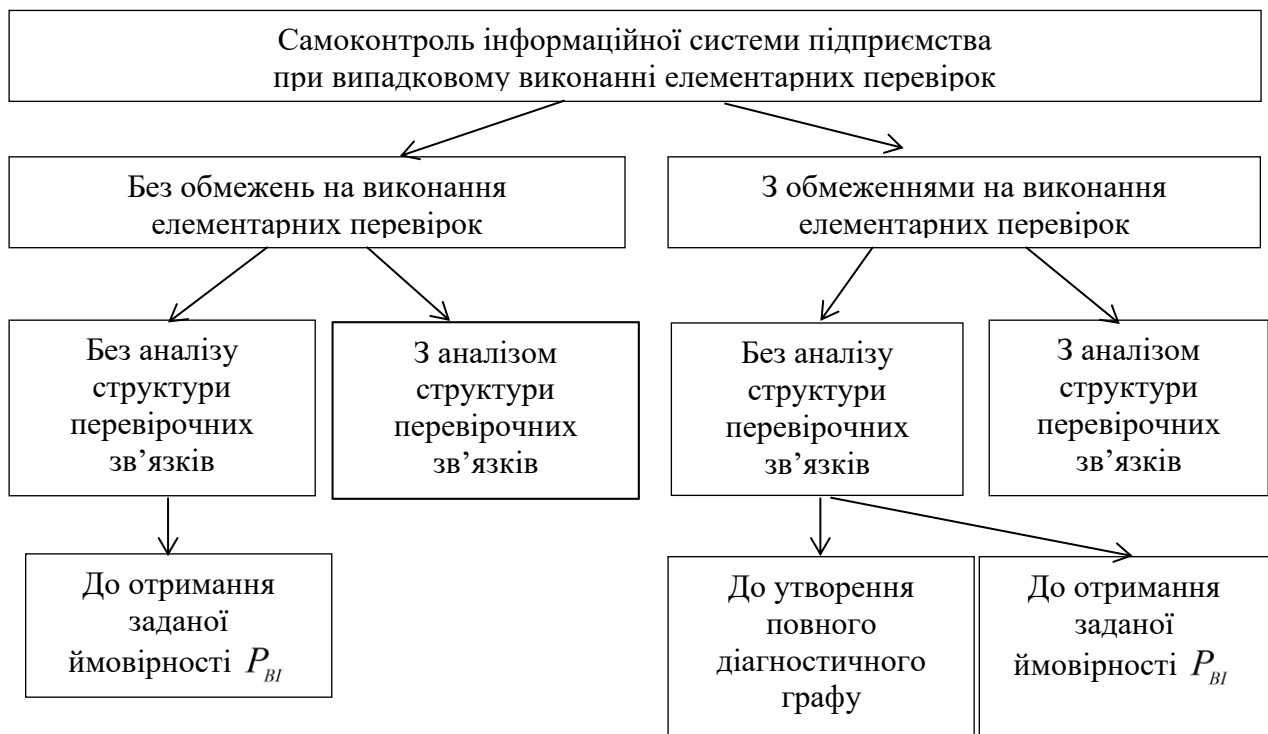


Рис. 1. Метод самоконтролю інформаційної системи підприємства при випадковому виконанні елементарних перевірок

Основними задачами даного методу є визначення залежності ймовірності P_{BI} від часу виконання набору елементарних перевірок та визначення оптимальної ймовірності P_{BI}^{OPT} , при якій досягається мінімум загального часу, що витрачається на всю процедуру самодіагностування.

Визначення ймовірності видачі інформації при відсутності обмежень на виконання елементарних перевірок.

Оскільки в кожній елементарній перевірці беруть участь два модулі, то на інтервалі τ може бути організовано максимально $\left[\frac{N}{2} \right]$ елементарних перевірок.

Ймовірність того, що на інтервалі τ буде виконана одна елементарна перевірка, дорівнює ймовірності того, що в двох із N модулів співпадуть вільні проміжки і вони можуть бути задіяні в елементарній перевірці. Дана ймовірність $P_{ien}(\tau)$ визначається як $P_{ien}(\tau) = P_{2,N}$, де $P_{2,N}$ знаходиться з умови

$$\prod_{i=1}^n (q_{ie} + p_{ie}z) = \sum_{m=0}^n P_{n,m} z^m, \text{ де } q_{ie} + p_{ie} = 1, m = 2, n = N. \quad (6)$$

Ймовірність виконання на інтервалі τ рівно k елементарних перевірок дорівнює

$$P_{ken}(\tau) = P_{2k,N},$$

де $P_{ken}(\tau)$ також визначається формулою (6).

В середньому на інтервалі часу τ буде виконано r елементарних перевірок, де

$$r = \sum_{k=0}^{\left[\frac{N}{2} \right]} k \cdot P_{2k,N}.$$

За s інтервалів буде виконано rs елементарних перевірок. При $rs < N$ ймовірність того, що всі модулі перевірені дорівнює 0. При $rs > N$ ймовірність того, що всі модулі перевірені знаходиться на основі теореми про повторні випробування для випадку, коли кожний експеримент може мати N незалежних наслідків з рівними ймовірностями $P = \frac{1}{N}$. Тоді ймовірність P_{BI} буде обчислюватись за формулою

$$P_{BI} = \sum_L P_{m_1, m_2, \dots, m_N, sr}, \text{ при } m_1, m_2, \dots, m_N \geq 1, \quad (7)$$

де сума поширюється на всі можливі способи розбиття числа rs на N доданків m_1, m_2, \dots, m_N ($0 \leq m_j \leq sr, j = 1, \dots, N$); $\sum_{i=1}^N m_i = sr, \prod_{i=1}^N m_i \geq 1$.

Підсумовуванні ймовірності будуть обчислюватись так:

$$P_{m_1, m_2, \dots, m_N, sr} = \frac{(sr)!}{m_1! m_2! \dots m_N!} \cdot \frac{1}{N^{sr}}. \quad (8)$$

Позначимо через X_1, X_2, \dots, X_n відповідні члени $m_1!, m_2!, \dots, m_N!$, з формули (8). Через Y_1, Y_2, \dots, Y_ξ позначимо члени $m_1!, m_2!, \dots, m_N!$, для яких $\prod_{i=1}^N m_i = 0$.

Враховуючи введені позначення, вираз (7) можна переписати у вигляді

$$P_{Bl} = \sum_{j=1}^n \frac{(sr)!}{X_j} \cdot \frac{1}{N^{sr}}. \quad (9)$$

Визначення ймовірності видачі інформації при наявності обмежень на виконання елементарних перевірок.

Введемо обмеження на виконання елементарних перевірок. Нехай цим обмеженням буде відсутність кратних ребер в діагностичному графі (ДГ) інформаційної системи підприємства. Тому максимальна кількість перевірок в системі, а отже і максимальна кількість ребер ДГ, буде дорівнювати $N(N-1)$, де N — кількість модулів в ІСП (вершини ДГ). При цьому кожна вершина може мати $N-1$ вхідних ребер.

Для випадку обмеженої кількості елементарних перевірок, ймовірність P_{Bl} знаходиться як сума ймовірностей різних комбінацій розміщення з k перевірок по N різних модулів так, щоб кожний модуль хоча б один раз перевірявся іншим модулем. Отже,

$$P_{Bl} = \sum_L P_{m_1, m_2, \dots, m_N, k}, \text{ де } \sum_{i=1}^N m_i = k, \quad \prod_{i=1}^N m_i \geq 1, \quad \max\{m_i\} \leq (N-1).$$

Таким чином, в результаті виконання деякого числа елементарних перевірок утворюється певна структура перевірочних зв'язків (СПЗ). Після проведення аналізу отриманої структури можна зробити висновок про результат контролю інформаційної системи підприємства. Даний результат з певною точністю відображає дійсний стан системи і характеризується певною достовірністю контролю.

Достовірність контролю при аналізі структури перевірочних зв'язків.

В цьому варіанті після виконання набору перевірок виконується аналіз структури перевірочних зв'язків. На основі даного аналізу робиться висновок про достовірність контролю, яка потім порівнюється із заданим значенням достовірності. У випадку, якщо обчислене значення достовірності контролю виявиться меншим заданого, то інформація про технічний стан модулів ІСП не видається і проводиться повторне виконання циклу перевірок.

Визначення достовірності контролю здійснюється на основі використання теореми Баєсса. Введемо наступні гіпотези: A_0 — всі модулі справні; A_1 — несправний перший модуль ІСП, а всі інші справні; A_i — несправний i -й модуль ІСП, а всі інші справні.

Гіпотези вводяться для всіх комбінацій справних та несправних модулів інформаційної системи підприємства.

Через R позначимо подію, яка складається тільки з нульових результатів елементарних перевірок. Ймовірність $P(R/A_i)$ — умовна ймовірність отримання даного синдрому при гіпотезі A_i . Тоді достовірність контролю можна розглядати як умовну ймовірність $P(A_0/R)$, тобто як апостеріорну ймовірність гіпотези A_0 .

Згідно з теоремою Баєсса дана ймовірність обчислюється за формулою

$$P(A_0 / R) = \frac{P(A_0) \cdot P(R / A_0)}{\sum_{j=0}^M P(A_j) \cdot P(R / A_j)}.$$

Отже, для знаходження $P(A_0 / R)$ необхідно визначити всі умовні ймовірності $P(R / A_j)$, $j = 0, \dots, M$, де $M = N + C_N^2 + \dots + 1$.

Розгляд всіх умовних ймовірностей $P(R / A_j)$ являється складною задачею, особливо, при великих значеннях N . Можливе спрощення витікає із залежності можливих ситуацій розподілу несправностей (гіпотез) від структури перевірочних зв'язків.

Представимо дану залежність у вигляді вектору $F = (f_1, f_2, \dots, f_M)$, де $f_i = [0, 1]$, $i = 1, \dots, M$. Тоді вираз для умовних ймовірностей можна представити у вигляді

$$P(R / A_j) = f_j (p_r)^{\alpha_j},$$

де p_r — ймовірність того, що перевірка, яка виконана несправним модулем, дає результат «1»; α_j — кількість елементарних перевірок, які виконані

несправними модулями, що характеризують ситуацію A_j : $\alpha_j = \sum_{m=1}^l \alpha_m^+$, де l — кількість несправних модулів при ситуації A_j ; α_m^+ — кількість перевірок, виконаних m -м несправним модулем.

Отже, кожна ситуація перевірочних зв'язків (представлена у вигляді діагностичного графу G) задає набір (f_1, f_2, \dots, f_M) , після визначення якого можна оцінити достовірність контролю D_G

$$D_G = \frac{K_0 p_r^{\alpha_0}}{K_0 p_r^{\alpha_0} + f_1 K_1 p_r^{\alpha_1} + \dots + f_M K_M p_r^{\alpha_M}}. \quad (10)$$

В формулі (10) апіорні ймовірності гіпотез представлені як вагові коефіцієнти K_i , $i = 1, \dots, M$, при відповідних умовних ймовірностях.

Із (10) випливає, що різні структури перевірочних зв'язків мають різні достовірності контролю. Найбільш істотним для визначення достовірності самоконтролю D_G є наявність контуру з певним числом вершин, що покривають даний контур. Тому визначення координат вектору $F = (f_1, f_2, \dots, f_M)$ ґрунтується на пошуку замкнених контурів в діагностичному графі інформаційної системи підприємства.

Достовірність самоконтролю без аналізу структури перевірочних зв'язків інформаційної системи підприємства.

В цьому випадку використовуються дані про кількість виконаних елементарних перевірок k . При цьому перевірки можуть утворювати різні структури перевіряючих зв'язків. Кожну СПЗ можна охарактеризувати своєю достовірністю самоконтролю D_{G_i} .

Визначимо простір елементарних подій ω як множину всіх СПЗ. В якості його підмножини Ω визначимо структуру з фіксованою максимальною довжиною контуру. Кожній події $A \in \Omega$ поставимо у відповідність число $P(A)$ — ймовірність події A . За означенням події A_1, A_2, \dots, A_n незалежні та $\sum_i P(A_i) = 1$.

Таким чином в результаті виконання k перевірок може настати тільки одна з подій A_i (система має контур максимальної довжини i). Ймовірність даної події рівна P_i . Оскільки кожна подія A_i характеризується ще одним числовим параметром D_{G_i} , то введемо в розгляд математичне сподівання достовірності контролю $M[D_k] = \sum_i D_{G_i} P_i$.

Припускається, що однієї елементарної перевірки достатньо, щоб визначити стан модуля, що перевіряється, при умові коли перевіряючий модуль справний.

Тоді для виконання методу адаптивного самодіагностування необхідно ідентифікувати структуру перевірочних зв'язків, в якій справні модулі перевіряють усі інші модулі інформаційної системи підприємства. Ймовірність правильного адаптивного самодіагностування P_{AS} розглядається як ймовірність утворення такої структури перевірочних зв'язків.

Серед всіх модулів системи визначимо групу модулів (домінуючу підмножину), яка буде перевіряти всі інші модулі інформаційної системи підприємства. Таку структуру перевірочних зв'язків (СПЗ) назовемо достатньою структурою. Якщо ця домінуюча підмножина виявиться справною, то результат адаптивного самодіагностування буде правильним.

Процедура правильного адаптивного самодіагностування є складною та визначається двома подіями: подія, суть якої полягає в тому, що буде утворена достатня СПЗ (структура з необхідною кількістю вершин, які утворюють домінуючу підмножину); подія, суть якої полягає в тому, що домінуючі модулі після дешифрації синдрому будуть визнані справними.

Нехай X_i подія утворення СПЗ, де домінуючою підмножиною є множина з i модулів.

Для кожного значення i визначається мінімальна домінуюча структура $G_i(D_i, T_i)$, яка є частиною графа $G(D, T)$ та задовольняє таким властивостям:

1. $|V_i| = i, T_i \subseteq T$.
2. Будь-яка вершина з \bar{D}_i отримує хоча б одне ребро з D_i .
3. Видалення будь-якого ребра з T_i суперечить властивості 2.

Оскільки структур з домінуючою підмножиною модулів можна утворити декілька, то ймовірність P_{AS} визначається таким чином

$$P_{AS} = P\{Y_1 \cup Y_2 \cup \dots \cup Y_n\},$$

де Y_i — подія, яка полягає в тому, що в результаті виконання елементарних перевірок утворюється структура G_i з справною домінуючою підмножиною модулів D_i .

Оскільки події Y_1, Y_2, \dots, Y_n сумісні та незалежні має місце рівність

$$P_{AS} = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P(Y_i)].$$

Ймовірність $P(Y_i)$, $i = 1, \dots, n$ можна представити у вигляді

$$P(Y_i) = P\{Z_{i1} \cup Z_{i2} \cup \dots \cup Z_{im}\},$$

де Z_{ij} — подія, суть якої полягає в тому, що в результаті виконання елементарних перевірок утворюється структура G_{ij} з справною домінуючою підмножиною модулів D_j , яка складається з i модулів.

Події Z_{ij} , $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, m$ сумісні та незалежні. Тому Для ймовірності $P(Y_i)$ можна записати

$$P(Y_i) = 1 - \prod_{j=1}^m [1 - P(Z_{ij})].$$

Ймовірність події Z_{ij} для системи, яка складається з однакових модулів визначається $P(Z_{ij}) = P_M^i \cdot R(G_{ij})$, де P_M — ймовірність справного стану модулів інформаційної системи підприємства; $R(G_{ij})$ — ймовірність утворення G_{ij} .

Таким чином, на основі проведених досліджень отримано ймовірність P_{AS} , яка характеризує достовірність адаптивного самодіагностування і є початковою величиною для організації методу адаптивного самодіагностування інформаційної системи підприємства.

Отже, в третьому розділі удосконалено методи контролю та адаптивного самодіагностування, на основі яких забезпечується функціональна стійкість інформаційної системи підприємства. Дані методи відрізняються від існуючих способами виконання елементарних перевірок та можливістю закінчення процедури оцінки технічного стану інформаційної системи підприємства в будь-який момент часу. Запропоновані методи контролю та адаптивного самодіагностування використовуються під час роботи інформаційної системи підприємства за призначенням під впливом зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. Завдяки розробленим методам можна досягти необхідної достовірності діагностування. Це забезпечується за рахунок відслідковування кожним модулем системи поточної структури перевірочних зв'язків, оскільки кожна структура характеризується певним значенням достовірності діагностування.

Четвертий розділ присвячено розробці удосконаленої методики забезпечення властивості функціональної стійкості інформаційної системи підприємства, що дозволяє знаходити параметри діагностування системи із заданою точністю. В ролі параметрів, що описують процес функціонування

інформаційної системи використовують: час знаходження несправності в системі t_d ; достовірність знаходження несправності D ; ймовірність відновлення працездатності системи P_B ; час відновлення працездатності системи T_B .

Для інформаційних систем підприємства значну роль відіграє час знаходження несправності t_d . Тому модель, яка описує функціонування інформаційної системи підприємства з точки зору її функціональної стійкості повинна враховувати параметр t_d . Крім того, процедури виявлення несправностей і відновлення системи реалізуються засобами самої системи. З цього випливає, що параметри t_d , D , P_B і T_B є функціями стану системи, тобто після виявлення кожної несправності і відновлення системи вказані параметри будуть змінюватися.

В роботі було досліджено декілька моделей функціонально стійких складних технічних систем. Проте, жодна із розглянутих моделей не дозволяє в повній мірі досліджувати властивість функціональної стійкості інформаційної системи підприємства. Тому виникає необхідність розробити модель, яка здатна забезпечити задану точність результатів, які відображають функціональну стійкість інформаційної системи підприємства. Така модель буде враховувати введені параметри t_d , D , P_B і T_B .

В основі такої моделі лежить представлення функціонування системи у вигляді процесу ξ_t :

$$\xi_t = \langle N, N_s, TP, n_0, \rho, \phi \rangle,$$

де

N — число активних модулів в системі;

N_s — число модулів, які відмовили але продовжують працювати (тобто ті які ще не виявлені або виявлені але приймають участь в елементарних перевірках);

TP — тип процедури; n_0 — номер операції;

ρ, ϕ — відповідні параметри процесу.

Процес ξ_t має наступні типи процедур: накопичення перевірок для контролю системи (НК); аналіз структури перевірочних зв'язків (АЗ); накопичення перевірок для діагностики системи (НД); аналіз сукупності результатів перевірок для визначення модуля, що відмовив (АД); відновлення роботи системи (В).

Номер операції n_0 відповідає номеру циклу всередині процедури. Параметр ρ характеризує момент виникнення відмови відносно номера операції. Параметр ϕ характеризує момент виявлення відмови відносно номера операції.

Процес ξ_t може бути представлений у вигляді графу станів-переходу (рис. 2). На рисунку визначені стани, об'єднані в блоки. Так в блок контролю (БК) входять K станів, а в блок діагностування (БД) входять $m = \sum_{i=1}^k i$ станів, які відрізняються n_0 , ρ, ϕ .

Під відмовою системи будемо розуміти складну подію, яка складається хоча б з однієї з умов:

- має місце відмова такої кількості модулів, за якої система не зможе виконувати мінімальний об'єм задач;
- відмова модуля не визначена за встановлений період часу;
- система після відмови одного із модулів не була відновлена за встановлений час.

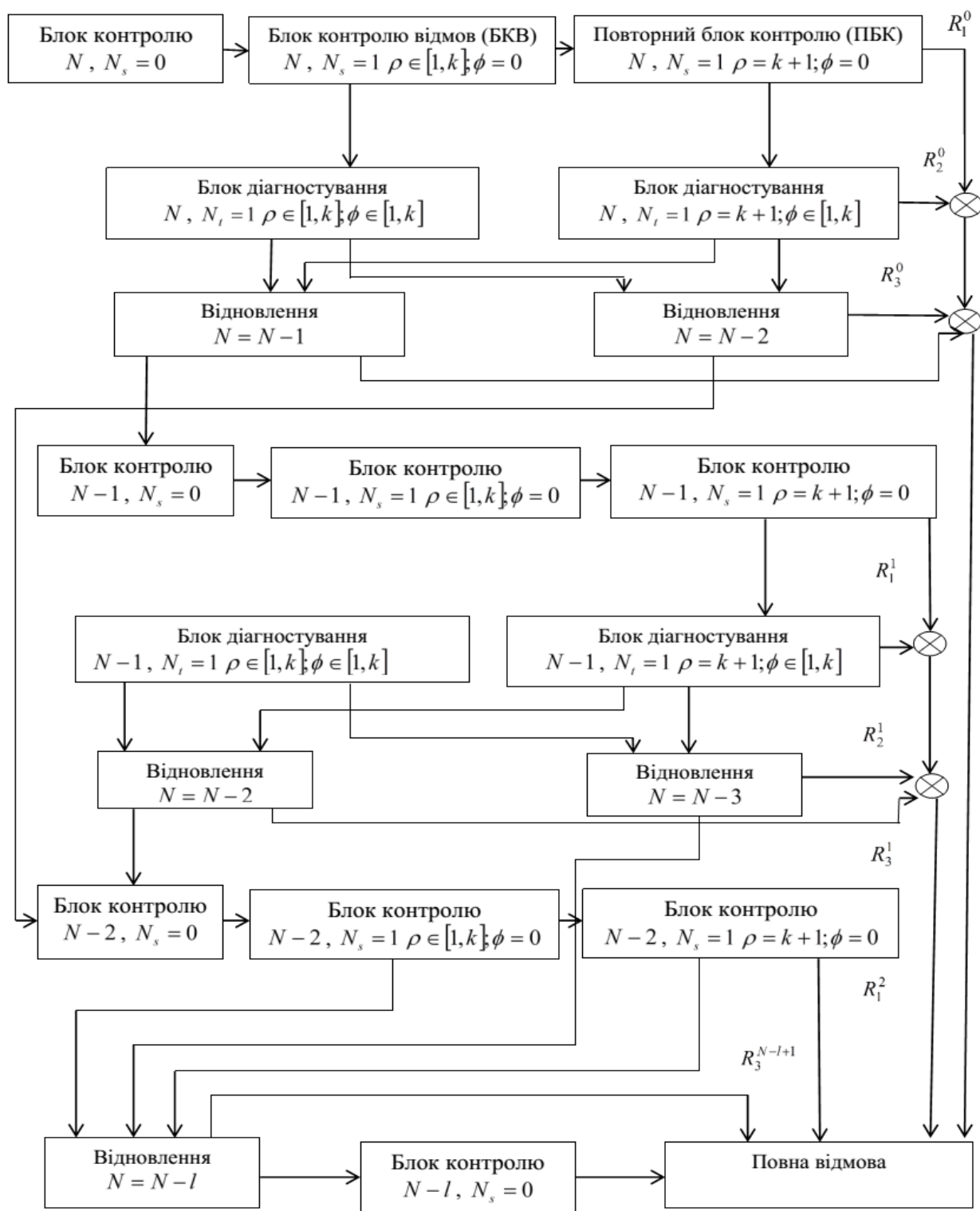


Рис. 2. Граф станів-переходу функціонування інформаційної системи підприємства

Розглянемо окремо виділені типи процедур процесу ξ_t .

Відновлення інформаційної системи підприємства відбувається шляхом відключення модуля, який відмовив або відключенням підозрілої пари. У випадку, коли перед виконанням процедури діагностування задачі, які виконують модулі ІСП, не перерозподілилися, то в процедуру відновлення також входить вибір модуля і передача йому задачі, що виконував модуль, який відмовив.

Припускається, що засоби відновлення, з ймовірністю q_B , самі можуть виявитися несправними. Така ситуація приводить до повної відмови ІСП. Час відновлення вибирається з умови, що ймовірність перевищення випадковою величиною $t_{ДВ}$ встановленого значення T_0 повинна знаходитися у встановлених межах. Величина $t_{ДВ}$ визначається наступним чином

$$t_{ДВ} = t_{Д} + t_{В},$$

де $t_{Д}$ — випадкова величина часу діагностування системи; $t_{В}$ — випадкова величина часу відновлення ІСП.

Так само, як при виконанні діагностування, параметри процедури відновлення залежать від того, який підхід використовується після виявлення відмови в системі тобто після виявлення підозрілої пари модулів. Можливі два підходи: підхід, який пов'язаний з перерозподілом задач і підхід відповідно якому задачі не перерозподіляються. Для першого підходу величина T_0 дорівнює $t_{z_{\max}}$, для другого — $T_0 = t_{w_{\max}}$. Час діагностування $t_{Д}$ для даних підходів дорівнює $t_{Д} = t_z$ і $t_{Д} = t_x + t_z$ відповідно. У випадку коли величина $t_{ДВ}$ перевищує значення T_0 , система переходить в стан повної відмови.

При розв'язанні практичних задач приходиться розглядати обернену задачу: за відомим (заданим) часом відновлення $t_{В}$ потрібно визначити ймовірність переходу інформаційної системи підприємства в стан повної відмови через причину перевищення заданого обмеження T_0 . Дана ймовірність може бути визначена наступним чином:

$$\begin{aligned} P_{ДВ} &= P\{t_{ДВ} > T_0\} = 1 - P\{t_{ДВ} < T_0\} = 1 - \Phi_{t_x}(T_0 - t_{В} - t_{Дw}) = \\ &= \left(T_0 - t_{В} - t_{Дw} + \frac{1}{\lambda}\right) \lambda \exp\left[-\lambda(T_0 - t_{В} - t_{Дw})\right]. \end{aligned}$$

Методика побудови функціонально стійкої інформаційної системи підприємства ґрунтується на дослідженні графу станів-переходу (див. рис. 2), який описує процес ξ_t . Проте, дане дослідження є складним з ряду причин.

По-перше, випадкова величина часу перебування процесу в виділених станах не підпорядковується експоненціальному закону розподілу. Тому, не можуть бути використані характеристичній моделі.

По-друге, ймовірності переходу із стану в стан є функціями часу перебування системи в стані з якого відбувається перехід. Крім того, дані ймовірності залежать від того в яких станах система перебувала раніше. Тому, не можливо використовувати апарат напівмарківських процесів.

Для того, щоб використовувати граф станів-переходу для дослідження процесу ξ_t , необхідно збільшити число станів в графі. Таке збільшення числа станів графе дозволить обійти вказані складності. Проте, таку графову модель складно зобразити через велику кількість станів та неможливістю визначення всі параметрів переходів.

Тому пропонується новий підхід. Відповідно до нового підходу виконується послідовне використання графу станів. Необхідно зазначити, що при кожному використанні графу відбувається зміцнення його станів. Таким чином кожному графу станів відповідає певний рівень зміцнення.

Розглянемо графову модель процесу ξ_t , яка складається з декількох рівнів зміцнення, починаючи з верхнього третього рівня (рис. 3).

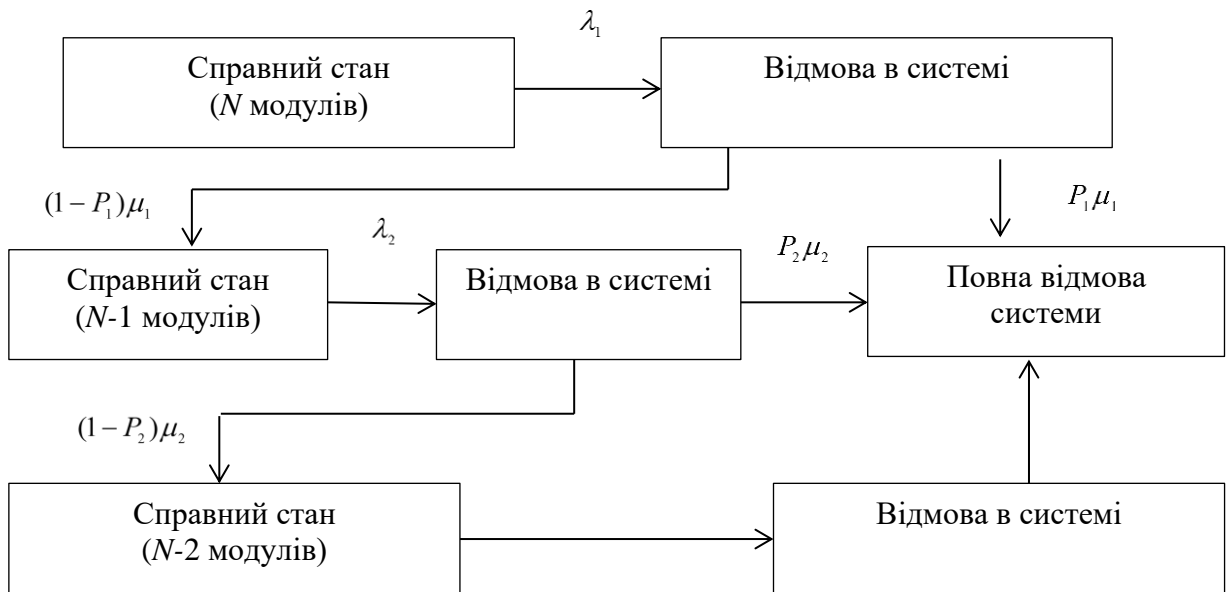


Рис. 3. Третій рівень зміцнення графової моделі процесу ξ_t

Розподіл інтегральних об'єднаних станів на складові їх станів приводить до другого рівня зміцнення (рис.4).

В свою чергу, кожний стан другого рівня зміцнення функціонально стійкої ІСП може розбиватися на більш детальні стани, які можна розглядати окремо. На першому рівні стани ІСП вже не можуть бути представлені у вигляді сукупності більш детальних станів.

Відмінною особливістю першого рівня зміцнення є така обставина. Для графу станів-переходу, який відповідає першому рівню, визначення всіх ймовірностей переходів в стан повної відмови (ПВ) є складною задачею. Знання всіх ймовірностей переходів необхідно для визначення, виділених, трьох ймовірностей R_1 , R_2 , R_3 . Тому для першого рівня розглядається підхід, завдяки якому виділені ймовірності R_1 , R_2 , R_3 визначаються без попереднього визначення всіх ймовірностей переходів в графі станів. На основі представленої методики визначення ймовірності R_1 , розроблено алгоритм, блок-схема якого зображена на рис. 4.

Після того як визначені ймовірності переходів в стани повної відмови R_1 , R_2 і R_3 (параметри другого рівня), можуть бути знайдені параметри третього рівня функціонально стійкої інформаційної системи підприємства.

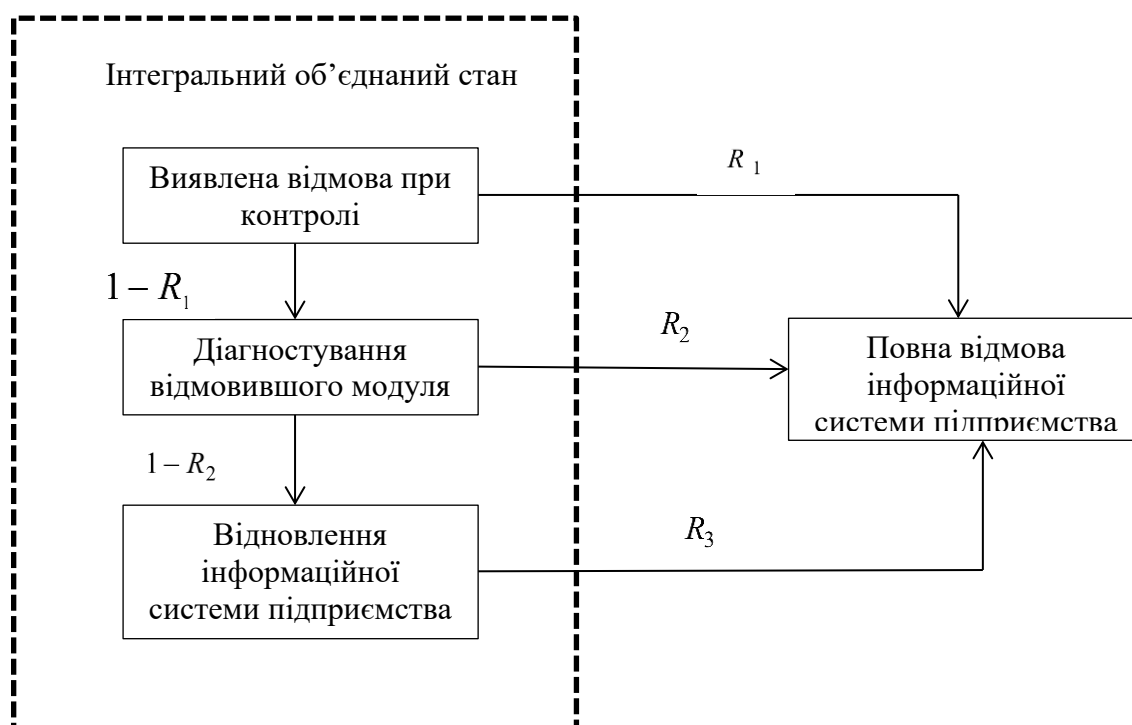


Рис. 4. Другий рівень зміцнення графової моделі процесу ξ_t

Так, наприклад, ймовірність P_1 визначається так

$$P_1 = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)(1 - R_3).$$

При визначені ймовірностей R_1 , R_2 і R_3 використовуються параметри першого рівня, які визначаються в результаті імітаційного моделювання.

Таким чином, в розділі розроблено методологію побудови функціонально стійкої узагальненої інформаційної системи виробничого підприємства, яка включає в себе інформаційні системи забезпечення функціонально стійкого технологічного процесу та системи оперативного виробничого планування. Функціональна стійкість такої узагальненої системи забезпечується за рахунок використання запропонованих методів контролю та адаптивного самодіагностування.

П'ятий розділ присвячено математичному моделюванню процесу діагностування узагальненої інформаційної системи підприємства для підтвердження правильності розробленого науково-методичного апарату. При цьому, узагальнена інформаційна система розбивалась на кілька підсистем, які містять в собі певне число модулів. Передбачається, що розбиття на підсистеми може здійснюватися за будь-яким принципом: функціональним, просторовим, тощо. Для розбиття на підсистеми важливе значення має кількість модулів у кожній підсистемі — вона не повинна перевищувати 30 модулів. Дане обмеження обумовлено обмеженістю обчислювальної потужності сучасної мікропроцесорної техніки під час рішення класу NP-повних задач. При обмежені в 30 модулів система діагностування може протягом прийняттого часу видати діагноз — технічний стан модулів підсистеми.

Технічний стан підсистеми видається у вигляді бінарного вектору:

$$S = \{s_i\} = \{0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, \dots, 1, 0, 0\}, \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

де $s_i = 0$ — позначає працездатний стан модуля M_i ; $s_i = 1$ — позначає непрацездатний стан модуля M_i .

Математичне моделювання проводилось з метою визначення основних показників діагностування:

1) D — достовірність діагностування;

2) t_d — час діагностування — час від моменту відмови деякого модуля до моменту видачі алгоритмом аналізу технічного стану модулів S .

Разом із тим, інші основні показники діагностування не моделювались, що обумовлено такими судженнями:

1) Π — повнота діагностування — відсоток апаратного та програмного забезпечення обчислювального модуля, що підлягає перевірці під час діагностування. Дана характеристика повністю обумовлена тестовим завданням, що пересилається кожному модулю під час виконання елементарної перевірки. В залежності від того, на скільки буде охоплено тестовою перевіркою все обладнання, такою і буде повнота діагностування;

2) Γ — глибина діагностування — характеризує масштабування процедури виявлення несправностей «до типового елемента заміни», «до плати», «до елемента», тощо. В даному випадку глибина діагностування повністю обумовлена методом діагностування, в результаті якого визначається непрацездатний модуль ІСП.

Інші припущення, прийняті в роботі під час проведення моделювання:

- передбачається, що всі модулі, що входять до складу підсистеми, зв'язані з іншими модулями підсистеми. Тобто існує принаймні один маршрут передачі інформації між будь-якою парою модулів підсистеми;

- всі модулі підсистеми не являються абсолютно надійними. Приймається, що на момент початку процедури діагностування, кожний модуль має певну апріорну ймовірність працездатного стану, яка позначена p та варіюється під час моделювання в таких значеннях:

$$p = \{0,80; 0,85; 0,90; 0,95\};$$

- в алгоритмі аналізу діагностичної інформації (результатів перевірок) задається заданий рівень достовірності діагностування, який виконує роль ознаки припинення накопичування результатів перевірок в пам'яті модуля, що буде виконувати зазначений алгоритм. Задана достовірність варіюється під час моделювання із такими значеннями:

$$D_{\text{зад}} = \{0,80; 0,85; 0,90; 0,95; 0,98\};$$

- поточний час моделювання та час діагностування визначався в умовних одиницях часу (уоч), за які прийнято кілька машинних циклів роботи процесора на власній тактовій частоті.

- обчислювальні модулі функціонують за циклічною схемою та виконують основні задачі певний період часу $T_{\text{пер}}$. Під час моделювання прийнято, що кожний модуль має випадкове значення $T_{\text{пер}}$, що розподілено за рівномірним законом розподілу в таких межах:

$$T_{пер} = [8; 10] (уоч);$$

- частина періоду рішення основних задач відводиться на рішення сервісних задач, обробки переривань та виконання діагностичних завдань. Саме протягом цього часу виконується елементарна перевірка: перевіряючий відсилає до модуля, який перевіряє тестову задачу, останній виконує її та відправляє назад результат тестової задачі, перевіряючий модуль порівнює отриманий результат із еталонним та видає результат перевірки r_{ij} . Цей час отримав назву — час паузи $T_{п}$, який задається для кожного модуля також випадковим чином в межах:

$$T_{п} = (15...25) \cdot T_{пер};$$

- накопичення діагностичної інформації моделюється у відповідності до методу умовної передачі інформації. У випадку, коли результат перевірки $r_{ij}=1$, то цей результат поповнює матрицю результатів i -го модуля. Причому поповнення здійснюється заміною попереднього результату. У випадку, коли $r_{ij}=0$, то накопичення результатів виконується в два етапи: 1) аналогічне поповнення матриці результатів i -го модуля; 2) пересилка оновленої матриці результатів i -го модуля до j -го модуля із подальшим доповненням і оновленням матриці результатів j -о модуля. Причому, будь-який елемент матриці R_j оновлюється таким чином: якщо старе значення r_{ij} було 0, а нове — 1, то записується нове значення $r_{ij}=1$; якщо старе значення r_{ij} було 1, а нове — 0, то залишається 0;

- після накопичення інформації (поповнення матриці результатів перевірок), кожний модуль обчислює ймовірність видачі правильного результату, що слугує ознакою завершення накопичення результатів. Якщо значення даної ймовірності буде вище ніж $D_{зад}$, то даний модуль припиняє виконання перевірок і починає виконувати алгоритм аналізу результатів перевірок;

- кількість результатів перевірок, накопичених даним модулем, позначається як $K_{пер}$;

- суть алгоритму аналізу результатів перевірок полягає в обчисленні апостеріорних ймовірностей працездатного стану всіх модулів та визначення поточного технічного стану модулів підсистеми $S=\{s_i\}$. Причому модуль, що зміг накопичити скоріше за всіх інших перевірки, що задовольняють вищезазначеній ознаці, аналізує тільки результати, які зберігаються в пам'яті даного модуля;

- на цьому процедура діагностування закінчується і визначається правильність проведеного діагностування методом порівняння $S=\{s_i\}$ із заданим технічним станом на початку моделювання;

- обчислення достовірності діагностування D здійснюється за рахунок виконання 100 разів процедури діагностування із заданим числом непрацездатних модулів та випадковим розподілом непрацездатних модулів;

- помилки першого та другого родів P_I та P_{II} не обчислювались. Це обумовлено неможливістю виділити пропущені та хибні відмови, якщо в підсистемі задається кілька непрацездатних модулів.

Моделювання здійснювалось на персональному комп'ютері Intel ® Celeron ® CPU J3455, 1,5 GHz, 8 Gb з операційною системою Windows 10 Pro на мові програмування Java SE 8.

Середній час моделювання однієї процедури діагностування не перевищував 2,5 хвилини, що є прийнятним для моделювання зазначених процедур із розмірністю підсистеми $N < 30$ модулів.

Під час моделювання фіксувались параметри діагностування: достовірність D , обсяг діагностичної інформації $K_{\text{пер}}$, час діагностування t_d за умови варіювання кількості відмов у підсистемі $N_{\text{від}}$, значень заданої достовірності діагностування $D_{\text{зад}}$ та апріорної ймовірності працездатного стану модулів p .

За результатами моделювання побудовано графіки залежності достовірності діагностування D , кількості перевірок $K_{\text{пер}}$ та часу діагностування t_d від кількості відмов у підсистемі $N_{\text{від}}$ за умови різних значень заданої достовірності діагностування $D_{\text{зад}}$ та апріорної ймовірності працездатного стану модулів p , для підсистеми, що складається із $N=30$ модулів (рис. 5, 6).

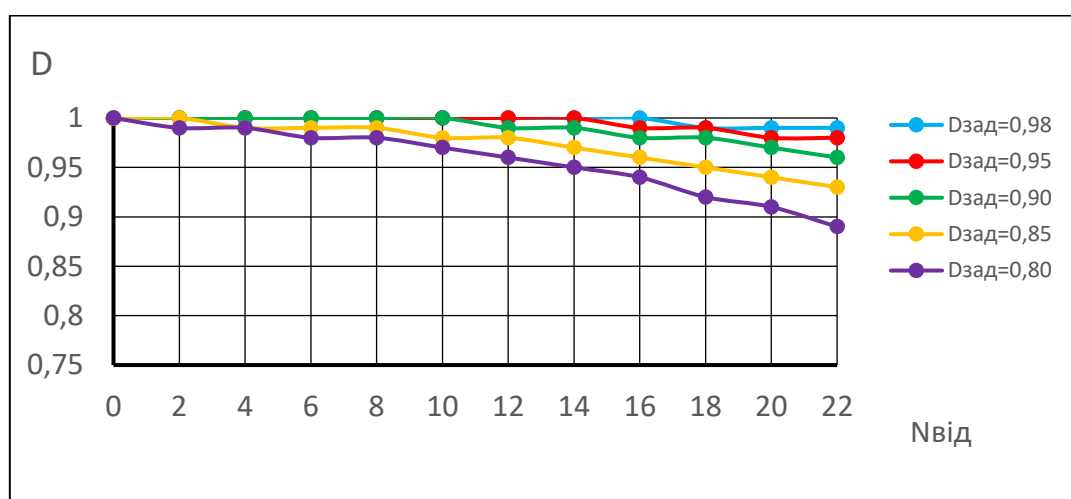


Рис. 5. Залежність достовірності діагностування D від числа модулів, що відмовили, $N_{\text{від}}$ за умови $D_{\text{зад}}=0,8\dots0,98$, $p=0,95$, $N=30$

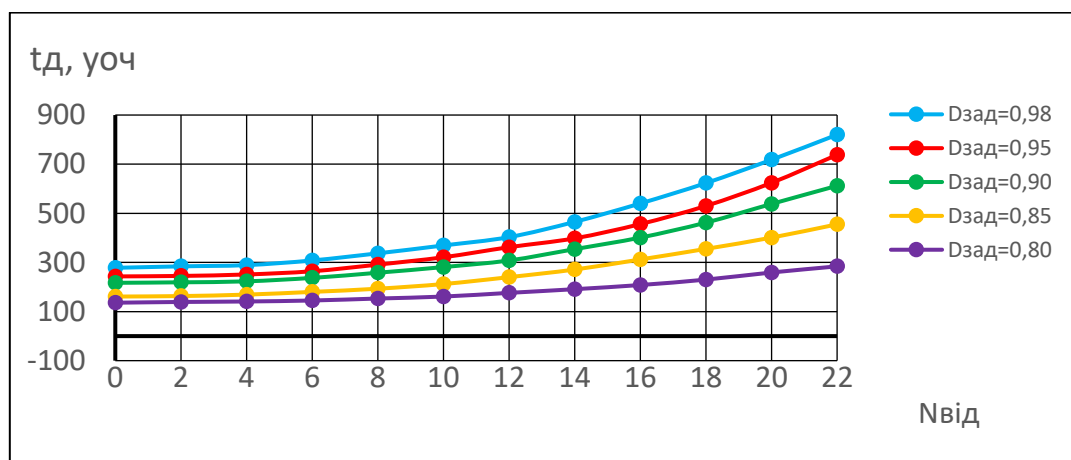


Рис. 6. Залежність часу діагностування t_d від числа модулів, що відмовили, $N_{\text{від}}$ за умови $D_{\text{зад}}=0,8\dots0,98$, $p=0,95$, $N=30$

Результати моделювання процедури самодіагностування системи із $N = 30$ модулів дозволили зробити такі висновки. Збільшення модулів системи призвело до закономірного підвищення обсягу діагностичної інформації $K_{\text{пер}}$ та часу діагностування t_d .

Графіки залежностей достовірності діагностування від числа модулів, які відмовили $N_{\text{від}}$, за різних значень заданого рівня достовірності $D_{\text{зад}}$ та p (див. рис. 5) показали, що тенденції зміни достовірності діагностування, у порівнянні із результатами моделювання системи $N = 15$, $N = 20$ та $N = 25$, залишаються такими ж самими. Це свідчить про правильність проведених експериментальних досліджень. Аналіз даних графіків показує, що за умови відсутності модулів, які відмовили $N_{\text{від}} = 0$, в усіх випадках буде 100-відсоткова достовірність $D = 1$. За умови малого числа відмов у системі $N_{\text{від}} < 11$ достовірність діагностування залишається на достатньо високому рівні: $D \geq 0,95$. За умови значної кількості відмов $N_{\text{від}} = 14 \dots 22$ для системи із $N = 30$ модулів, достовірність діагностування за будь-яких умов вище ніж $D_{\text{зад}}$. Даний результат також підтверджує основну властивість адаптивного самодіагностування — можливість діагностування із достовірністю не нижче заданої.

Аналіз обсягів діагностичної інформації на графіках залежностей кількості результатів перевірок $K_{\text{пер}}$ від числа модулів, які відмовили $N_{\text{від}}$, показав, що при малому числі відмов $N_{\text{від}} \leq 2$, діагностування здійснюється на основі обсягу діагностичної інформації $K_{\text{пер}} < 150$ за умови заданої достовірності $D_{\text{зад}} \geq 0,80$. Даний обсяг діагностичної інформації для системи із $N = 30$ модулів можна порівняти із потужністю множини ребер повнозв'язного графу, в якому $m = N \cdot (N - 1) = 870$ ребер. При збільшенні заданої достовірності $D_{\text{зад}}$ до рівня 0,98, обсяг діагностичної інформації зростає до $K_{\text{пер}} = 500 \dots 650$ перевірок. Це пояснюється запропонованою інформаційною технологією накопиченням результатів перевірок до моменту, коли модуль, що накопичив певну кількість результатів перевірок, має обчислювати ознаку достатності діагностичної інформації за умови заданого рівня $D_{\text{зад}}$. Якщо діагностична інформація задовольняє зазначеній ознаці, то модуль починає виконувати алгоритм аналізу результатів та визначає технічний стан модулів системи.

Зазвичай обсяг діагностичної інформації $K_{\text{пер}}$ впливає на основний показник ефективності діагностування — час діагностування t_d , який може характеризувати час «існування відмови» в системі.

Аналіз графіків залежностей часу діагностування t_d від числа $N_{\text{від}}$ (див. рис. 6) показує, що за малого числа відмов $N_{\text{від}} \leq 4$ час діагностування не перевищує 350 у.о.ч. (умовних одиниць часу). При значній кількості відмов $N_{\text{від}} = 14 \dots 22$ зростає час діагностування. Але значення t_d не перевищує рівня в 850 у.о.ч.

Разом із тим, слід зазначити, що згідно теорії надійності та припущень щодо ординарності потоку відмов як незалежних подій, імовірність одночасної відмови $N_{\text{від}} = 22$ модулів із $N = 30$ в інформаційній системі наближається до нуля. Проте, в роботі розглядаються такі випадки та результати проведеного

моделювання підтверджують, що за запропонованим методом адаптивного самодіагностування являється можливим виявлення непрацездатних модулів системи при відмові більше половини всіх модулів системи.

Аналіз графіків залежності достовірності діагностування D від кількості відмов у підсистемі $N_{\text{від}}$ за умови варіювання розмірності підсистеми N та апріорної імовірності працездатного стану модулів p та заданої достовірності $D_{\text{зад}}$ дозволяє зробити такі висновки:

- достовірність діагностування практично не змінюється внаслідок розширення системи (зміні числа модулів системи N). Це пояснюється властивістю адаптивного самодіагностування — можливістю діагностування із заданою достовірністю $D_{\text{зад}}$;

- значення достовірності суттєво залежать від числа відмов $N_{\text{від}}$. При збільшенні числа $N_{\text{від}}$ зменшується достовірність діагностування D . Це обумовлено особливостями алгоритму аналізу результатів перевірок, в якому вся множина модулів розбивається на дві підмножини — можливих справних та можливих несправних модулів. Саме потужність множини можливих несправних модулів впливає на прийняття рішення, тобто на достовірність діагностування;

- залежність достовірності від апріорної імовірності працездатного стану модулів p показує незначне підвищення достовірності із зростанням значення p . Це також обумовлено особливостями алгоритму аналізу діагностичної інформації, в якому приймається рішення про відмови модулів безпосередньо з урахуванням значення p .

Аналіз графіків залежності часу діагностування t_d від кількості відмов у підсистемі $N_{\text{від}}$ за умови варіювання розмірності підсистеми N та апріорної імовірності працездатного стану модулів p та заданої достовірності $D_{\text{зад}}$ дозволяє зробити такі висновки:

- час діагностування t_d — це час від моменту початку процедури діагностування до моменту видачі діагнозу. Даний параметр також має випадковий характер, обумовлений особливостями технології накопичення результатів перевірок. Час діагностування залежить від завантаженості модулів — відношення проміжку паузи до циклу обчислювального процесу. Дане відношення не моделювалось і не досліджувалось. В роботі зроблено припущення, що під час проектування програмного забезпечення зазвичай відводяться певні паузи, що використовуються для сервісних задач, удосконалення програмного забезпечення тощо. Тобто для діагностичних задач та проведення елементарних перевірок між модулями завжди знайдуться проміжки часу;

- час діагностування t_d , так як і кількість перевірок $K_{\text{пер}}$, в залежності від числа відмов в підсистемі $N_{\text{від}}$ змінюється за експоненціальним характером. При малій кількості відмов $N_{\text{від}} = (0 \dots 0,2)N$ час діагностування t_d практично не змінюється. Це свідчить про те, що за малого числа відмов алгоритм аналізу результатів перевірок дозволяє прийняти рішення із прийнятною достовірністю $D \geq D_{\text{зад}}$;

- при значній кількості відмов $N_{\text{від}} = (0,4 \dots 0,75)N$ час діагностування t_d різко зростає. Це пояснюється необхідністю проведення алгоритму аналізу за

значною кількістю результатів перевірок. Очевидно, в даному випадку необхідний час на накопичення такого обсягу діагностичної інформації;

- результати досліджень значень часу діагностування t_d дозволяють розраховувати число операцій, на які треба робити відкат назад в обчислювальному процесі під час виявлення відмови одного або декількох модулів. Це необхідно робити, щоб відмова модуля не вплинула на обчислювальний процес та не призвела до помилки обчислень під час функціонування інформаційної системи за призначенням. Слід зазначити, що цей показник також впливає на основну властивість інформаційної системи підприємства — її функціональну стійкість.

Основні відмінності запропонованої методики адаптивного діагностування, що впливають із результатів моделювання:

1) на відміну від запропонованої методики, існуючі методики тестового діагностування дозволяють виявляти непрацездатні модулі при відмові більше половини всіх модулів $N_{\text{від}} \geq N / 2$;

2) зазначена властивість адаптивного самодіагностування, на відміну від існуючих, обумовлена збільшенням часу діагностуванням та прийнятним зниженням достовірності діагностування. Разом із тим, час діагностування є прогнозованим та знаходиться в прийнятних межах, що дозволяють вчасно виявити відмови, відкотити обчислювальний процес та забезпечити нечутливість обчислювального процесу відносно відмов модулів системи.

3) достовірність діагностування, у порівнянні з існуючими методами, може зменшуватись на незначну величину. Проте, властивість методики — проведення діагностування із заданою достовірністю дозволяє, за необхідності, керувати достовірністю, що не дозволяє жодний із існуючих методів.

4) в роботі зроблено припущення, що одночасна відмова 75 % модулів може відбутись внаслідок того, що реальні модулі системи не є незалежними, вони не є повністю захищеними від навмисних пошкоджень, уражень та інших причин, що призводять до множинних кратних відмов.

Таким чином, результати математичного моделювання процедури адаптивного самодіагностування інформаційної системи підприємства дозволяє зробити такі висновки:

- підтверджено правильність запропонованої методики адаптивного самодіагностування;

- адаптивність в даному випадку означає, що процедура діагностування пристосовується до відмовної ситуації. Діагностична інформація хаотично накопичується. Її обсяг та характер залежить від відмовної ситуації. А потім за рахунок баессовського оцінювання визначається детермінований діагноз, який із певною достовірністю виявляє відмови в системі;

- можливість проводити діагностування системи за прийнятний час великого числа відмов, що перевищує половину числа всіх модулів системи.

- запропонована методика дозволяє проводити діагностування із достовірністю не нижче заданої, де значення $D_{\text{зад}}$ може налаштовуватись в кожній процедурі окремо.

ВИСНОВКИ

В результаті дисертаційних досліджень вирішена важлива науково-прикладна проблема щодо розробки методологічних основ побудови та використання функціонально стійкої узагальненої інформаційної системи підприємства, яка повинна автономно функціонувати в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. Ця проблематика має суттєве значення для проектування, модернізації та об'єднання існуючих інформаційних систем підприємства в одну узагальнену інформаційну систему підприємства з метою забезпечення їх високої ефективності при функціонуванні за призначенням. Відсутність аналогічних рішень у нашій країні та за кордоном робить результати досліджень пріоритетними.

В дисертації одержані такі основні результати:

1. На підставі проведеного аналізу існуючих методів синтезу та діагностування інформаційних систем підприємств виявлено протиріччя між необхідністю стійкого функціонування інформаційних систем підприємств в умовах дії зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів і можливостями існуючих методів та методик забезпечення властивості функціональної стійкості інформаційних систем підприємства. На даний час велика кількість наукових робіт присвячена проектуванню та оптимізації складних технічних систем, які володіють певною ефективністю функціонування в залежності від обраного показника якості. В них багато уваги приділено завданню синтезу живучих та надійних систем. Проте, в цих роботах не в повній мірі відображені питання контролю та самодіагностування систем. Не достатньо уваги приділено процесу відновлення систем після парирования руйнувань різного рівня і збереженню системою можливості виконання основних функцій в умовах впливу дестабілізуючих факторів. Виходячи з цього, сформульована в дисертації науково-прикладна проблема є актуальною.

2. Вперше розроблено метод формування функції керування параметрами технологічного процесу виробничого підприємства для забезпечення функціональної стійкості даного процесу. Даний метод відрізняється від існуючих тим, що використовує принцип управління за відхиленням та враховує запропоновані автором необхідні та достатні умови того, що у виробничому процесі будуть реалізовані еталонні вимоги. Зазначений метод забезпечує точність керування технологічним процесом.

3. Вперше розроблено математичну модель функціонально стійкого технологічного процесу, що забезпечується інформаційними системами виробничого підприємства. Дана модель відрізняється від існуючих використанням математичного апарату псевдообернених матриць. Запропонована модель дозволяє описати та промодельювати технологічний процес, що забезпечується інформаційними системами виробничого підприємства.

4. Удосконалено метод аналізу технологічного процесу, що забезпечується інформаційними системами виробничого підприємства. Даний метод включає в себе запропоноване означення, умови та критерії функціональної стійкості

технологічного процесу. Зазначений метод дозволяє під час здійснення технологічного процесу якісно і кількісно характеризувати здатність інформаційних систем підприємства до парирування наслідків нештатних ситуацій, що виникають в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів.

5. Удосконалено методи контролю та адаптивного самодіагностування, на основі яких забезпечується функціональна стійкість інформаційної системи підприємства. Дані методи відрізняються від існуючих способами виконання елементарних перевірок та можливістю закінчення процедури оцінки технічного стану інформаційної системи підприємства в будь-який момент часу. Запропоновані методи контролю та адаптивного самодіагностування використовуються під час роботи інформаційної системи підприємства за призначенням під впливом зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. Завдяки розробленим методам можна досягти необхідної достовірності діагностування. Це забезпечується за рахунок відслідковування кожним модулем системи поточної структури перевірочних зв'язків, оскільки кожна структура характеризується певним значенням достовірності діагностування.

6. Удосконалено методіку забезпечення властивості функціональної стійкості інформаційної системи підприємства, за рахунок представлення функціонування системи у вигляді формалізованого процесу, в якому основними типами процедур є накопичення перевірок, аналіз перевірочних зв'язків, діагностування модуля, який відмовив та відновлення функціонування системи. Зазначена методіка дозволяє забезпечити властивість функціональної стійкості інформаційної системи підприємства.

7. Вперше розроблено методологію побудови функціонально стійкої узагальненої інформаційної системи виробничого підприємства, яка включає в себе інформаційні системи забезпечення функціонально стійкого технологічного процесу та системи оперативного виробничого планування. Функціональна стійкість такої узагальненої системи забезпечується за рахунок використання запропонованих методів контролю технічного стану та адаптивного самодіагностування, а також відновлення працездатності системи.

8. Реалізація запропонованих в дисертації методологічних основ побудови функціонально стійкої узагальненої інформаційної системи виробничого підприємства, як сукупність концептуальних, теоретичних та технологічних основ, дозволяє: проектувати та експлуатувати функціонально стійкі інформаційні системи підприємств, які функціонують в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів; підвищити показники функціональної стійкості існуючих інформаційних систем підприємств, що характеризують здатність системи парирувати нештатні ситуації за рахунок перерозподілу ресурсів; в процесі автономного функціонування, протягом заданого проміжку часу, без втручання обслуговуючого персоналу, виявляти відмови модулів системи за мінімальний час із достовірністю не нижче заданої, що дасть можливість своєчасного перерозподілу виконуваних завдань та відновлення процесу функціонування.

9. Розроблені методи контролю та адаптивного самодіагностування дозволяють виявляти несправності, що виникають в модулях інформаційної системи із необхідною достовірністю діагностування та за мінімальний час.

10. Результати досліджень прийняті до впровадження в ПрАТ «Бліц-інформ» (акт від 14.02.2019 р.), в ТОВ «Краматорський феросплавний завод» (акт від 25.09.2019 р.), в ПАТ «Українська гірничо-металургійна компанія» (акт від 20.12.2019 р.), в навчальний процес кафедри комп'ютерних наук Державного університету телекомунікацій при викладанні дисципліни «Основи теорії надійності та діагностики телекомунікаційних систем» для студентів спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» денної форми навчання (акт від 12.02.2020 р.).

11. Мета досліджень щодо забезпечення функціональної стійкості узагальненої інформаційної системи підприємства за рахунок покращення показників діагностування, досягнута та всі часткові завдання вирішені повністю. Наукові результати досліджень є внеском у розвиток теоретичних і прикладних основ розроблення моделей і методів оцінювання якості та підвищення надійності, функціональної безпеки та живучості інформаційних та інформаційно-управляючих систем в частині, що стосується розробки моделей та методів підвищення показників функціональної стійкості інформаційних систем виробничих підприємств.

12. Перспективними шляхами подальших досліджень у зазначеному напрямку може бути широке коло питань щодо розробки нових та удосконалення існуючих методик забезпечення функціональної стійкості інформаційних систем виробничих підприємств, які мають автономно функціонувати в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Собчук В.В., Барабаш О.В., Мусієнко А.П., Лаптев О.А. Аналіз основних підходів та етапів щодо забезпечення властивості функціональної стійкості інформаційних систем підприємства. *Sciences of Europe, Praha: Sciences of Europe*, 2019. Vol 1, No 42. P. 41 – 44.

2. Собчук В.В., Мусієнко А.П., Ільїн О.Ю. Аналіз використання ієрархічної структури для забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством. *Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології»*. К.: ДУТ, 2018. № 4 (61). С. 53 – 61.

3. Собчук В.В., Мусієнко А.П., Ільїн О.Ю., Мацько О.Й. Методика оцінювання якості функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством з ієрархічною організацією засобів забезпечення функціональної стійкості. *Науково-практичний журнал «Зв'язок»*. К.: ДУТ, 2018. № 6. С. 3 – 7.

4. Собчук В.В., Барабаш О.В., Лукова-Чуйко Н.В., Мусієнко А.П. Забезпечення функціональної стійкості інформаційних мереж на основі розробки

методу протидії DDoS-атакам. Науково-технічний журнал «Сучасні інформаційні системи». Харків: НТУ «Харківський політехнічний інститут», 2018. Том 2, № 1. С. 56 – 63.

5. Sobchuk V., Kapustian O. Approximate Homogenized Synthesis for Distributed Optimal Control Problem with Superposition Type Cost Functional. *Statistics, Optimization and Information Computing*, June 2018, Vol. 6, Issue 2. P. 233 – 239. (Scopus)

6. Собчук В.В., Котенко А.М., Зідан А.М., Бодров С.В. Застосування ширококутових сигналів у телекомунікаційних мережах систем відеоспостереження об'єктів інформаційної діяльності. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, 2018. VII (24), Issue 200, Budapest, Hungary. P. 61 – 62.

7. Собчук В.В., Федонюк А.А., Музика Л.П., Микитюк І.О. Управління ціною політикою збутових мереж на ринку чорних металів на платформі ІС 8.2 УПП. Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво», 2015, № 19, Луцьк, ЛНТУ, С 146 – 155.

8. Sobchuk V., Varabash O., Kopyika O., Zamrii I., Musienko A. Fraktal and Differential Properties of the Inversor of Digits of Q_s -Representation of Real Number. *Modern Mathematics and Mechanics: Fundamentals, Problems and Challenges*, 2019. Springer. P. 79-95. (Scopus)

9. Собчук В.В., Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі. Науково-технічний журнал «Сучасні інформаційні системи». Харків: НТУ «Харківський політехнічний інститут», 2019. Т. 3, № 2. С. 116 – 121.

10. Собчук В.В., Кучук Н.Г., Лукова-Чуйко Н.В. Оптимізація пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвективної системи. Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку». Полтава: ПНТУ, 2019. Вип. 3 (55). С. 120 – 125.

11. Собчук В.В., Бондарчук А.П., Бржезька З.М., Довженко Н.М., Макаренко А.О. Дослідження проблематики функціонування алгоритму передачі інформації при передачі інформації при наявності прихованих вузлів в безпроводних сенсорних мережах. Електронне наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка». К.: Київський університет імені Бориса Грінченка, 2019. Том 4, № 4. С. 54 – 61.

12. Собчук В.В., Лаптев О.А., Саланда І.П., Сачук Ю.В. Математична модель структури інформаційної мережі на основі нестационарної ієрархічної та стаціонарної гіпермережі. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2019. Вип. 64. С. 124 – 132.

13. Sobchuk V.V., Varabash O.V., Sobchuk A.V., Sobchuk V.V., Lyashenko I.O. Functionally sustainable wireless sensor network technologies aspects analysis. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, 2019. VII (23), Issue 193, Budapest, Hungary. P. 46 – 48.

14. Sobchuk V.V., Laptev A.A., Barabash O.V., Savchenko V.V., Savchenko V.A. The method of searching for digital means of illegal reception of information in information systems in the working range of Wi-Fi. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. India, 2019. Vol. 6, Issue 7. ISSN: 2350-0328. P. 10101 – 10105.

15. Sobchuk V.V., Barabash O.V., Musienko A.P., Lyashenko I.O. Methods for diagnosing hidden and persistent failures in enterprise wireless sensor networks. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, 2019. VI (25), Issue 206, Budapest, Hungary, P. 29 – 32.

16. Собчук В.В., Барабаш О.В., Лаптев О.А., Мусієнко А.П. Методика виявлення несанкціонованого доступу до інформаційних систем підприємства у цифровому діапазоні. *Науково-практичний журнал «Зв'язок»*. К.: ДУТ, 2019. № 1 (137). С. 3 – 7.

17. Собчук В.В., Мусієнко А.П., Лаптев О.А., Борсук Б.М. Методика вибору оптимального вхідного сигналу радіомоніторингу для програмних засобів на базі перетворення Фур'є. *Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку»*. Полтава: ПНТУ, 2019. Вип. 4 (56). С. 135 – 141.

18. Собчук В.В., Коваль М.О., Мусієнко А.П., Мацько О.Й. Метод діагностування прихованих відмов в інформаційній системі на основі застосування дворівневої системи забезпечення функціональної стійкості. *Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології»*. К.: ДУТ, 2019. № 1 (62). С. 22 – 31.

19. Собчук В.В., Довженко Н.М., Коваль М.О. Математична модель багатокритеріальної оптимізації якості обслуговування сенсорних мереж з використанням принципу справедливості. *Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології»*. К.: ДУТ, 2019. № 3 (64). С. 90 – 97.

20. Mashkov O.A., Sobchuk V.V., Barabash O.V., Dakhno N.B., Shevchenko H.V., Maisak T.V. Improvement of variational-gradient method in dynamical systems of automated control for integro-differential models. *Mathematical Modeling and Computing*, 2019, Vol. 6, No 2, P. 344 – 357. (Scopus)

21. Sobchuk V. Methodology of price policy management in information systems of marketing networks. *Scientific discussion*. Praha, Czech Republic, 2019. Vol. 1, No 36. P. 36 – 41.

22. Sobchuk V., Asrorov F., Kurylko O. Finding of bounded solutions to linear impulsive systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6, No 4 (102). P.14 – 20. (Scopus)

23. Собчук В.В., Галахов Є.М. Розвиток моделей кібератак у площині інформаційної безпеки підприємства. *Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології»*. К.: ДУТ, 2019. № 4 (65). С. 12 – 24.

24. Собчук В.В., Лаптев О.А., Савченко В.А. Метод підвищення завадостійкості системи виявлення, розпізнавання і локалізації цифрових сигналів в інформаційних системах. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. К.: ВІКНУ, 2019. Вип. 66. С. 90 – 104.

25. Собчук В.В. Методика створення єдиного інформаційного простору на виробничому підприємстві з функціонально стійким виробничим процесом. Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку». Полтава: ПНТУ, 2019. Вип. 6 (58). С. 84 – 91.

26. Собчук В.В. Бюджетування та моделювання процесів виробничих підприємств. Збірка матеріалів доповідей учасників Міжнародної науково-практичної конференції «Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2012 рік», м. Луцьк – Світязь, 7 – 9 вересня 2012 року. Луцьк: СНУ імені Лесі Українки, 2012. С. 51 – 52.

27. Собчук В.В., Харкевич Ю.І., Жигалло К.М., Собчук А.В. Системний аналіз – застосування при оптимізації бізнес-процесів підприємств. Збірник наук. пр. за матеріалами наук.-практ. конф «Стан та перспективи інноваційно-інвестиційного розвитку міста Луцька», м. Луцьк, 5 – 7 жовтня 2012 року. Луцьк: СНУ ім. Лесі Українки, 2012. С. 160 – 165.

28. Собчук В.В., Собчук А.В. Управління ціновою політикою збутових мереж. Збірка матеріалів доповідей учасників III Міжнародної науково-практичної конференції «Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2014 рік», м. Луцьк – Світязь, 6 – 8 червня 2014 року. Луцьк: СНУ імені Лесі Українки, 2014. С. 95 – 98.

29. Собчук В.В. Бюджетування як технологія моделювання процесів на виробничих підприємствах. Збірка матеріалів доповідей учасників IV Міжнародної науково-практичної конференції «Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2015 рік», м. Луцьк–Світязь, 12 – 14 червня 2015 року. Луцьк: СНУ імені Лесі Українки, 2015. С. 55 – 56.

30. Собчук В.В., Капустян О.В., Романюк І.Р. Глобальні атрактори нескінченновимірних імпульсних систем без єдності. Збірка матеріалів доповідей учасників V Міжнародної науково-практичної конференції «Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2016 рік», м. Луцьк–Світязь, 5 – 7 червня 2016 року. Луцьк: СНУ імені Лесі Українки, 2016. С. 29 – 30.

31. Собчук В.В., Капустян О.А. Наближений синтез в наближеній задачі оптимального керування з цільовим функціоналом типу Немицького. Збірка матеріалів доповідей учасників VI Міжнародної науково-практичної конференції «Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2017 рік», м. Луцьк–Світязь, 5 – 7 червня 2017 року. Луцьк: СНУ імені Лесі Українки, 2017. С. 16 – 18.

32. Собчук В.В., Пічкур В.В., Таїрова М.С., Башляков О.М. Про критерії керованості з множини в множину лінійних дискретних систем і систем з імпульсним впливом. Збірка матеріалів доповідей учасників VII Міжнародної науково-практичної конференції «Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2018 рік», м. Луцьк–Світязь, 3 – 5 червня 2018 року. Луцьк: СНУ імені Лесі Українки, 2018. С. 37.

33. Собчук В.В., Башляков О.М., Пічкур В.В. Про практичну стійкість розв'язків систем звичайних диференціальних рівнянь. Збірка матеріалів доповідей учасників VIII Міжнародної науково-практичної конференції

«Математика. Інформаційні технології. Освіта. 2019 рік», м. Луцьк–Світязь, 2 – 4 червня 2019 р. Луцьк: СНУ імені Лесі Українки, 2019. С. 14 – 15.

34. Sobchuk V., Varabash O., Dakhno N., Shevchenko H. Integro-Differential Models of Decision Support Systems for Controlling Unmanned Aerial Vehicles on the Basis of Modified Gradient Method. IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC). Ukraine, Kyiv, 16 October 2018. P. 94 – 97. (Scopus)

35. Собчук В.В. Аналіз використання ієрархічного підходу в інформаційних системах підприємств для забезпечення властивості функціональної стійкості. The International Scientific Conference “Advances of Science”: Proceedings of articles. Czech Republic, Karlovy Vary – Ukraine, Kyiv, 11 October 2019. P. 127 – 132.

36. Sobchuk V., Laptev A., Kliukovskyi D. Statistical Method of Estimation the Radio Signal on the Basis of Correlation-regression Analysis. The 2nd International scientific and practical conference “Scientific achievements of modern society”, 9-11 October, 2019, Liverpool, United Kingdom. 2019. P. 10 – 18.

37. Sobchuk V., Varabash O., Dakhno N., Shevchenko H. Unmanned Aerial Vehicles Flight Trajectory Optimisation on the Basis of Variational Inequality Algorithm and Projection Method. IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). Ukraine, Kyiv, 22–24 October 2019. P. 136 – 139. (Scopus)

38. Собчук В.В., Гогоняц С.Ю. Структура інформаційної мережі на основі ієрархічної гіпермережію. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції «Актуальні проблеми кібербезпеки»: збірник тез, м. Київ, 24 жовтня 2019 року. – К.: ДУТ, 2019. – С. 123 – 126.

39. Собчук В.В., Барабаш О.В. Функціональна стійкість процесів управління на основі інтелектуалізації інформаційної системи підприємства. II Міжнародна науково-практична конференція “Priority Directions of Science Development”, м. Львів, 25 – 26 листопада 2019 року. Львів, 2019. С. 233 – 235.

40. Sobchuk V., Perestyuk M., Kapustyan O., Asrorov F. Existence and stability of uniform attractors for N-dimensional impulsive-perturbed parabolic system. International Workshop QUALITDE-2019, Desember 7 – 9, 2019, Tbilisi, Georgia. P. 145 – 148.

41. Собчук В.В., Шуклін Г.В., Барабаш О.В. Математична модель визначення рівня захищеності інформаційної системи інтернет-трейдинг. Міжнародна науково-практична конференція «Наукоємні технології в інфокомунікаціях», м. Кам'янець-Подільський, 23 – 25 травня 2019 року. Харків – Кам'янець-Подільський, 2019. С. 74 – 75.

42. Собчук В.В. Математична модель технологічного процесу на виробничому підприємстві. Всеукраїнська науково-технічна конференція «Застосування програмного забезпечення в інфокомунікаційних технологіях»: Збірник тез, м. Київ, 5 лютого 2020 року. К.: ДУТ, 2020. С. 14 – 16.

43. Собчук В.В., Пічкур В.В., Таїрова М.С., Башняков О.М. Критерій керованості з множини початкових станів на термінальну множину для

лінійних дискретних систем. Науковий журнал «Дослідження в математиці і механіці». Одеса: ОНУ ім. І.І. Мечникова, 2018. Том 23, № 1 (31). С. 81 – 87.

44. Собчук В.В., Капустян О.В., Асроров Ф.А. Рівномірний атрактор для N -мірної імпульсно-збуреної параболічної системи. Міжнародний математичний журнал «Нелінійні коливання». 2019. К.: Інститут математики НАН України. Том 22, № 4. С. 474 – 481. (Scopus)

АНОТАЦІЯ

Собчук В.В. Методологічні основи забезпечення функціональної стійкості інформаційних систем підприємств в умовах впливу дестабілізуючих факторів. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». — Державний університет телекомунікацій, Київ, 2020.

В результаті дисертаційних досліджень вирішена важлива науково-прикладна проблема щодо розробки методологічних основ побудови та використання функціонально стійкої узагальненої інформаційної системи підприємства, яка повинна автономно функціонувати в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів.

Вперше розроблено метод формування функції керування параметрами технологічного процесу виробничого підприємства для забезпечення функціональної стійкості даного процесу. Даний метод відрізняється від існуючих тим, що використовує принцип управління за відхиленням та враховує запропоновані автором необхідні та достатні умови того, що у виробничому процесі будуть реалізовані еталонні вимоги. Зазначений метод забезпечує точність керування технологічним процесом.

Удосконалено методи контролю та адаптивного самодіагностування, на основі яких забезпечується функціональна стійкість інформаційної системи підприємства. Дані методи відрізняються від існуючих способами виконання елементарних перевірок та можливістю закінчення процедури оцінки технічного стану інформаційної системи підприємства в будь-який момент часу. Запропоновані методи контролю та адаптивного самодіагностування використовуються під час роботи інформаційної системи підприємства за призначенням під впливом зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. Завдяки розробленим методам можна досягти необхідної достовірності діагностування. Це забезпечується за рахунок відслідковування кожним модулем системи поточної структури перевірочних зв'язків, оскільки кожна структура характеризується певним значенням достовірності діагностування.

Ключові слова: інформаційна технологія, функціональна стійкість, інформаційна система підприємства, контроль, адаптивне самодіагностування, функція керування.

АННОТАЦИЯ

Собчук В.В. Методологические основы обеспечения функциональной устойчивости информационных систем предприятий в условиях воздействия дестабилизирующих факторов. — Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 «Информационные технологии». — Государственный университет телекоммуникаций, Киев, 2020.

В результате диссертационных исследований решена важная научно-прикладная проблема по разработке методологических основ построения и использования функционально устойчивой обобщенной информационной системы предприятия, которая должна автономно функционировать в условиях воздействия внешних и внутренних дестабилизирующих факторов.

Впервые разработан метод формирования функции управления параметрами технологического процесса производственного предприятия для обеспечения функциональной устойчивости данного процесса. Данный метод отличается от существующих тем, что использует принцип управления по отклонению и учитывает предложенные автором необходимые и достаточные условия того, что в производственном процессе будут реализованы эталонные требования. Указанный метод обеспечивает точность управления технологическим процессом.

Усовершенствованы методы контроля и адаптивного самодиагностирования, на основе которых обеспечивается функциональная устойчивость информационной системы предприятия. Данные методы отличаются от существующих способами выполнения элементарных проверок и возможностью окончания процедуры оценки технического состояния информационной системы предприятия в любой момент времени. Предложенные методы контроля и адаптивного самодиагностики используются во время функционирования информационной системы предприятия по назначению под влиянием внешних и внутренних дестабилизирующих факторов. Благодаря разработанным методам можно достичь требуемой достоверности диагностирования. Это обеспечивается за счет отслеживания каждым модулем системы текущей структуры проверочных связей, поскольку каждая структура характеризуется определенным значением достоверности диагностирования.

Результаты исследований приняты к внедрению в ЗАО «Блиц-информ», в ООО «Краматорский ферросплавный завод», в ОАО «Украинская горно-металлургическая компания», а также в учебном процессе Государственного университета телекоммуникаций при преподавании дисциплины «Основы теории надежности и диагностики телекоммуникационных систем» для студентов специальности 122 «Компьютерные науки» дневной формы обучения.

Цель исследований по обеспечению функциональной устойчивости обобщенной информационной системы предприятия за счет улучшения показателей диагностирования, достигнута и все частичные задачи решены

полностью. Научные результаты исследований является вкладом в развитие теоретических и прикладных основ разработки моделей и методов оценки качества и повышения надежности, функциональной безопасности и живучести информационных и информационно-управляющих систем в части, касающейся разработки моделей и методов повышения показателей функциональной устойчивости информационных систем предприятия.

Ключевые слова: информационная технология, функциональная устойчивость, информационная система предприятия, контроль, адаптивное самодиагностики, функция управления.

ABSTRACT

Sobchuk V.V. Methodological bases of enterprises information systems functional stability ensuring in conditions of destabilizing factors influence. — Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences on a specialty 05.13.06 «Information technologies». — State University of Telecommunications, Kyiv, 2020.

As a result of dissertation researches the important scientific and applied problem concerning development of methodological bases of construction and use of functionally stable generalized information system of the enterprise which should function independently in the conditions of influence of external and internal destabilizing factors is solved.

For the first time, the method of formation and technological process parameters management in industrial enterprise for the maintenance of functional stability property for this process is developed. This method differs from the existing ones in that it uses the principle of variance control and takes into account the necessary and sufficient conditions proposed by the author that the reference requirements will be implemented in the production process. This method ensures the accuracy of process control.

The methods of control and adaptive self-diagnosis have been improved, on the basis of which the functional stability of the enterprise information system is ensured. These methods differ from existing methods of performing basic inspections and the ability to complete the procedure for assessing the technical condition of the information system of the enterprise at any time. The proposed methods of control and adaptive self-diagnosis are used during the operation of the information system of the enterprise by purpose under the influence of external and internal destabilizing factors. Thanks to the developed methods it is possible to reach necessary reliability of diagnosis. This is ensured by tracking the current structure of the test links by each module of the system, as each structure is characterized by a certain value of the reliability of the diagnosis.

Keywords: information technology, functional stability, enterprise information system, control, adaptive self-diagnosis, control function.