

ВІДГУК

на дисертаційну роботу Полякова Михайла Олексійовича «Теоретико-множинні моделі функціональних структур інтегрованих і когнітивних систем» поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 — математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дослідження та її зв'язок з науковими програмами, планами та темами

Дисертаційна робота М.О. Полякова присвячена моделюванню функціональних структур сучасних систем технічного, в тому числі виробничого призначення. Загальними вимогами до таких систем є адаптивність, інтероперабельність підсистем, інтелектуальне перетворення інформації та різних форм знань, типізація структур та елементів систем. Ці вимоги не повною мірою відображені у відомих математичних моделях систем, особливо на високому рівні узагальнення, що ускладнює моделювання, збільшує трудомісткість створення систем та робить актуальною тему дослідження М.О. Полякова.

Дисертаційна робота виконувалася в Національному університеті «Запорізька політехніка» у межах до науково-дослідних робіт: «Дослідження систем прогнозування та покращення енергоефективності електромеханічних, електронних апаратів та обладнання енергоємних виробництв» (2015—2018 рр., держ. реєстр. номер 0119U001350), «Інтелектуальні інформаційні технології обробки даних» (2018—2021 рр., держ. реєстр. номер 0118U100063), які виконані на кафедрах електричних і електронних апаратів та програмних засобів.

Вірогідність отриманих результатів, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджена їх несуперечністю загальнонауковим засадам, коректним використанням методів системного аналізу, використанням при моделюванні елементів фундаментальних методів теорій автоматів, множин, математичної логіки, порівнянням результатів аналітичних досліджень із результатами імітаційного

моделювання та позитивними результатами дослідницько-промислової перевірки запропонованих рішень.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукові ідеї дослідження М.О. Полякова полягають у відбудові моделі ієрархії системи через спільний елемент підсистем, що виконує різні функції в цих підсистемах, ув'язки ієрархії перероблення знань з ієрархією керування діяльністю системи, визначенні нових типових елементів які мають збільшені функціональні можливості, визначенні нових типів поведінки керувальних автоматів та інші.

Автором вперше отримані такі нові результати:

1. Розроблено теоретико-множинну модель функціональної структури системи, яка відрізняється тим, що інтегрує її підсистеми за принципом взаємодії через спільний елемент, що дозволяє підвищити інтероперабельність їх моделей

2. Розроблено теоретико-множинну модель небінарного скінченного автомата, яка відрізняється складом і небінарними властивостями елементів множин та описом функцій на рівні станів автомата, а саме, введенням множин керувань, функцій станів автомата, які задають умови активації стана, тип активності виходів та структуру переходів з активного стану та через це збільшують рівень узагальнення моделі відносно до операцій процесів діяльності системи.

3. Розроблено семантичну модель скінченного автомата та метод її використання, яка відрізняється семантичною формою опису причинно-наслідкових відносин у автоматі та в його станах, введенням контурів діяльності та керування, що через розширення бази знань для прийняття коригувального рішення дозволяє підвищити адаптивність системи та зменшити витрати на діагностування системи.

4. Запропоновано модель когнітивної системи, яка відрізняється тим, що базується на принципі однорідності знань про систему, її зовнішнє середовище та кінцевий об'єкт і, на відміну від принципу фон Неймана для обчислюваних систем, характеризується розширенням об'єкта однорідності, теоретично обґрунтовує використання знань про систему при її адаптації.

5. Розроблено узагальнену теоретико-множинну модель функціональної структури когнітивної системи, яка відрізняється використанням інтегрованої коренеподібної ієрархії підсистем на всіх рівнях моделювання, які взаємодіють з базою знань у різних формах піраміди знань, що дозволяє будувати моделі систем різного призначення з уніфікованих елементів та зменшити на цій основі терміни їх створення.

Автором удосконалено:

6. Теоретико-множинні моделі структур контурів дискретного, безперервного та гібридного керування, які відрізняються тим, що побудовані через агрегацію типових модулів керувальних автоматів та вхідних, вихідних і проміжних операційних автоматів із додатковими входами та виходами керування, що дозволяє будувати адаптивні підсистеми діяльності з уніфікованих модулів.

7. Модель створення керувальних та операційних автоматів, яка відрізняється тим, що до формалізмів мови LD промислових контролерів стандарту МЕК 61131-3 додано конструкції автоматів, що дозволяє типізувати процес створення моделей автоматів

8. Методи моделювання процесів у когнітивній системі на основі динамічного визначення комплексу цілей її функціонування, які відрізняються тим, що поточний комплекс цілей відповідає певному стану та виходу скінченного автомата цілей, а умови переходу до цього стану формуються конверторами та операційними автоматами підсистем пізнання та когнітивності через обрання стратегії роботи з цілями, оцінювання цілей та поточного стану їх досягнення за пропонованим комплексом показників, що дозволяє типізувати функціональну структуру підсистеми визначення цілей функціонування системи.

9. Модель підсистеми діяльності когнітивної системи, яка відрізняється тим, що побудована у вигляді ієрархії рівнів із керованими скінченими автоматами цілей, сценаріїв, поведінки та операцій, які пов'язані шинами, що дозволяє типізувати структуру підсистеми, розширити її адаптивні можливості та запобігти конфліктам цілей.

10. Модель функціональної структури віддаленої лабораторії для вивчення цифрових об'єктів, яка відрізняється тим, що подає її як інтегровану систему запропонованих кіберфізичних моделей об'єктів що

дозволяє збільшити різноманіття експериментів та зменшити витрати через заміну коштовних фізичних моделей на більш дешеві та прості моделі з емуляцією можливостей складних моделей.

11. Теоретико-множинні моделі системи безперервного прогнозування параметрів складного технічного об'єкта (на прикладі потужного трансформатора), які відрізняються тим, що використовують запропоновані моделі функціональної структури когнітивних систем та спеціалізованих конверторів і керувальних автоматів, що дозволяє через використання нових форм знань для визначення та прогнозування динаміки стану та параметрів технічного об'єкта, обрання та адаптації цілей функціонування системи розширити функціональні можливості системи прогнозування щодо збільшення терміну використання технічного об'єкта, підвищити на цій основі точність прогнозування.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблено:

— методика визначення моделей функціональної структури інтегрованих та когнітивних систем технічного призначення та моделей їх елементів через використання обмеженого набору типових елементів, що дозволяє зменшити затрати часу на створення математичної моделі системи;

— рекомендації щодо моделювання когнітивних систем безперервного прогнозування параметрів ресурсу ізоляції потужного трансформатора, що дозволяє збільшити точність прогнозування через розширення бази знань;

— рекомендації щодо моделювання функціональної структури віддалених лабораторій цифрових об'єктів, що дозволяють реалізувати нові види та збільшити різноманіття експериментів.

Практичну цінність дослідження підтверджено актами впровадження отриманих у дисертаційній роботі результатів у Національному університеті «Запорізька політехніка» МОН України, ТОВ «Енергоавтоматизація» (м. Запоріжжя, Україна) та Технічному університеті Ільменау (м. Ільменау, Німеччина). Зокрема результати дослідження використано у навчальному процесі підготовки магістрів, створенні навчального модуля в рамках міжнародного проєкту ICo-op (530278-TEMPUS-1-2012-1-DE-TEMPUS-JPHES) за програмою TEMPUS Європейської Комісії, в процесі проєктування систем неперервного контролю (моніторингу) автотрансформаторів для ПС

500 кВ «Нура» (Казахстан), а також при модернізації віддалених лабораторій у Національному університеті «Запорізька політехніка» та Технічному університеті Ільменау.

Значущість отриманих результатів для науки та практичного використання полягає в тому, що розроблено комплекс теоретико-множинних моделей для дослідження та синтезу функціональної структури перспективних інтегрованих і когнітивних систем, розширені функціональні можливості добре відомих моделей скінчених автоматів. Значущість результатів дослідження для практичного використання полягає в зменшенні затрат часу на створення математичної моделі системи; збільшенні точності прогнозування витрат ресурсу ізоляції потужного трансформатора через розширення бази знань системи, реалізації нових видів та збільшення різноманіття експериментів у віддалених лабораторіях цифрових об'єктів.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

За темою дисертаційної роботи автором опубліковано 48 наукових праць, з них у 30 роботах викладено основні наукові результати дослідження; 17 робіт засвідчують апробацію матеріалів дисертації та одна робота додатково відображає її наукові результати. Слід відзначити, що 17 робіт автора за темою дисертації індексовані в НМБ *Scopus* та одна – у *WoS*. Серед робіт, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації є 10 англомовних доповідей на конференціях, що відбулися у Європі, Азії, Північній та Південній Америці.

Рівень та кількість публікацій та рівень апробації результатів дослідження Полякова М.О. відповідають вимогам, що ставляться до докторських дисертацій в Україні. В опублікованих працях викладено всі винесені на захист положення дисертаційної роботи.

Оформлення дисертації та автореферату

Дисертація та автореферат відповідають один одному за змістом та оформленню, виконані згідно з чинними вимогами до докторських дисертацій. Автореферат стисло відбиває суть основних наукових положень і результатів, кваліфікаційні ознаки дослідження, висновки та перелік праць здобувача за темою дисертації, анотації українською та англійською мовами.

Структура та зміст дисертації

Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел зі 165 найменувань і 4 додатків; містить 389 сторінок тексту, в тому числі 130 рисунків, 32 таблиці, 14 сторінок додатків. Основний текст дисертації викладено на 329 сторінках. Основна частина автореферату викладена на 35 сторінках.

Вступ містить стандартні кваліфікаційні ознаки дослідження: обґрунтування актуальності, мету роботи, завдання та об'єкт дослідження, розкриває наукову новизну та практичну цінність, види реалізації та впровадження результатів роботи, дані про публікації та особистий внесок дисертанта.

У **першому розділі** проаналізовані загальні питання побудови та наявні математичні моделі структур систем і методи їх моделювання, моделі скінченних та гібридних автоматів, визначено ієрархічний характер наявних систем, шляхи підвищення якості систем через розширення її інформаційної бази та когнітивних здібностей. У розділі також сформульовано завдання досліджень.

Матеріали **другого розділу** роботи висвітлюють питання моделювання інтегрованої системи та її елементів – операційних та керувальних автоматів, а саме запропонована теоретико-множинна модель ієрархічної інтегрованої системи, розглянути різновиди операційних автоматів, запропоновані моделі семантичних, гібридних та небінарних керувальних автоматів, автоматів на базі fuzzy контролерів.

Третій розділ присвячено моделюванню функціональної структури когнітивної системи. Запропонована типова структура та теоретико-множинна модель такої системи, структура її рівнів, конвертори форм знань, модель підсистеми діяльності, структури та моделі функціонування системи на основі динамічного комплексу цілей, формалізм багатоавтоматного комплексу ієрархічної підсистеми діяльності.

У **четвертому розділі** досліджені запропоновані математичні моделі елементів інтегрованих і когнітивних систем. А саме досліджена ефективність моделей небінарних автоматів у процесі реалізації технологічної поведінки керувального автомата за допомогою розробленої комп'ютерної програми. Також досліджена інтеперабельність інтегрованих систем за умов використання запропонованого типового елемента зв'язку

підсистем. У розділі досліджені семантичні автомати та причинно-наслідкові зв'язки в автоматі з контурами керування та діяльності.

У **п'ятому розділі** розглянуто приклади використання запропонованих моделей інтегрованих систем при моделюванні віддалених лабораторій для дослідження цифрових об'єктів. Модель віддаленої лабораторії подана як трирівнева інтегрована система. Запропоновані нові підсистеми в рамках цієї моделі дозволили підвищити різноманіття експериментів у лабораторії.

Шостий розділ присвячено моделюванню когнітивної системи планування витрат ресурсу ізоляції потужного трансформатора на базі запропонованої у третьому розділі типової моделі когнітивної системи. З цією метою запропонована низка методів обробки даних безперервного контролю параметрів трансформатора та елементи для реалізації цих методів у моделі когнітивної системи.

У **висновках** сформульовано основні результати дисертаційної роботи.

У **додатках** наведено список публікацій здобувача за темою дисертації та довідки про впровадження результатів наукових досліджень

Використання в докторській дисертації результатів наукових досліджень за якими була захищена кандидатська дисертація

У межах Росії, де у 1988 році відбувся захист кандидатської дисертації Полякова М.О. на тему «Методы и средства повышения эффективности автоматизированного контроля электрических соединений в узлах корабельной цифровой вычислительной техники» (рос. мовою) відсутні матеріали дисертації дозволені до публікації в відкритих виданнях. Питання контролю електричних з'єднань будь-яких електронних вузлів не розглянуті у докторській дисертації здобувача. Наукові праці здобувача за темою кандидатської дисертації, також не використані у його докторській дисертації.

Зауваження до роботи

Дисертаційна робота М.О. Полякова не вільна від недоліків, а саме:

1. У розділі 4 є посилання на розробку дисертантом програмних реалізацій алгоритмів симуляції небінарних автоматів, за допомогою яких виконані дослідження ефективності цих автоматів у порівнянні з бінарними.

Було б доцільно визначити ці програмні реалізації як корисний результат роботи та навести їх практичну цінність у вступі до дисертації.

2. При обґрунтуванні методу діагностики технічного стану системи охолодження трансформатора (пункт 6.2.3) шляхом ідентифікації та аналізу динаміки його теплових параметрів використана досить спрощена "точкова" теплова модель теплового балансу в якій трансформатор представлений матеріальною точкою. Чому не застосовані відомі "багатокомпонентні" або польові моделі, які більш точно представляють розподіл температури в трансформаторі.

3. У пунктах 6.4.2 та 6.4.3, як середовище для розроблення операційних та керувальних автоматів, використано пакет програм RSVIEW32 компанії Rockwell Automation який є досить застарілим. Чому не використано більш сучасні пакети, наприклад, Factory Talk, WinCC?

4. У списку використаних джерел у тексті дисертації є 10 джерел [40,122,124, 126, 127, 129, 132, 141, 157, 161], автором або співавтором яких є здобувач і які відсутні у списку публікацій здобувача за темою дисертації та відомостей про апробацію результатів дисертаційної роботи. Чому ці роботи не включені до списку публікацій здобувача за темою дисертації?

5. У тексті дисертації та авторефераті не завжди ураховані останні правила українського правопису, є рисунки з дрібними елементами, що важко читаються, наприклад, рис. 5.9, 6.14.

Наведені зауваження мають окремий характер, не впливають на наукову цінність роботи в цілому та не знижують її позитивної загальної оцінки.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Полякова Михайла Олексійовича «Теоретико-множинні моделі функціональних структур інтегрованих і когнітивних систем» є завершеним науковим дослідженням що містить наукові положення та науково обґрунтовані результати, які розв'язують важливу науково-прикладну проблему розроблення математичних моделей функціональних структур інтегрованих і когнітивних систем із підвищенням інтероперабельності їх підсистем та використанням вищих форм знань і, на підставі цього, розширення функціональних можливостей моделей таких систем і уніфікації функціональних структур та елементів таких систем. Результати дисертаційної роботи отримані автором особисто, опубліковані у провідних науково-технічних виданнях та апробовані на міжнародних

конференціях і семінарах. Дисертація Полякова М.О. відповідає спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювані методи.

Вважаю, дисертаційна робота Полякова Михайла Олексійовича «Теоретико-множинні моделі функціональних структур інтегрованих і когнітивних систем» за актуальністю, обсягом, новизною, високим науковим рівнем проведених досліджень та кількістю публікацій за темою дисертації відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. зі змінами затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 р., №1159 від 30 грудня 2015 р. та № 567 від 27 липня 2016 року до докторських дисертацій, а її автор Поляков Михайло Олексійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювані методи.

Офіційний опонент:

Професор кафедри автоматизації
виробничих процесів Національної
металургійної академії України,
доктор технічних наук, професор

В. І. Головко

Підпис проф. каф. автоматизації
виробничих процесів, д.т.н., проф.
Головко В.І. ЗАВІРЯЮ



Нач. відділу кадрів НМетАУ

В.С. Шифрін