

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Удовенка Сергія Григоровича на дисертаційну роботу Нікуліної Олени Миколаївни «Методи, моделі та інформаційна технологія оптимізації управління складними динамічними системами (на прикладі енергоблоку АЕС)», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології

Актуальність теми роботи.

Дисертаційна робота Нікуліної О.М «Методи, моделі та інформаційна технологія оптимізації управління складними динамічними системами (на прикладі енергоблоку АЕС)» присвячена дослідженню науково-прикладної проблеми розробки методів, моделей та інформаційної технології оптимізації управління складними динамічними системами, які характеризуються високим порядком моделей і великою кількістю параметрів та нелінійностей, на основі об'єднання програмних блоків моделей систем і методів оптимізації, критеріїв систем, подання інформації про динамічні процеси і процеси оптимізації, модулів методів інтегрування та структур даних.

Управління складними динамічними системами (зокрема енергетичними установками великої потужності) вимагає використання сучасних інформаційних технологій створення або удосконалення спеціалізованих інформаційних управляючих систем (ІУС). Типовим прикладом ІУС складної динамічної системи є ІУС енергоблоку АЕС, що складається з низки локальних ІУС та потребує модернізації для експлуатації в умовах необхідності підвищення їх безпеки і надійності, а також покращення їх маневрених характеристик, показників стійкості та якості. Аналогічні проблеми виникають і при створенні ІУС для багатьох інших складних динамічних систем у різних технічних галузях.

Однією з основних інженерних проблем створення та вдосконалення ІУС складних динамічних систем є проблема оптимізації їх показників якості, особливості якої визначають велика кількість конструктивних параметрів, складність формалізації і визначення показників якості, суперечність вимог, що пред'являються до них, високий порядок моделей систем. Моделювання ІУС складних динамічних систем пов'язане з ідентифікацією структури та параметрів моделей, яка є можливою лише з

використанням методів оптимізації. Традиційні інформаційні технології розрахунку ІУС зазвичай засновані на істотному спрощенні моделей та застосуванні наближених непрямих скалярних критеріїв якості. Найбільшим недоліком у розрахунках ІУС є те, що в цій галузі не завжди застосовуються ефективні моделі та методи оптимізації.

Таким чином, актуальність дисертаційної роботи обумовлена необхідністю розробки ефективних методів, моделей та інформаційної технології оптимізації управління складними динамічними системами (на прикладі оптимізації систем управління енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000), що сприяли б підвищенню надійності, точності та якості автоматизації цих систем.

Зв'язок виконаного дослідження з галузевими науковими програмами, пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки.

Дослідження, представлені в роботі, виконувалися відповідно до пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки України у рамках: держбюджетних науково-дослідних робіт МОН України за темами «Розвиток теорії та методів синтезу децентралізованого робастного керування розподіленими мережами поставок в умовах невизначеності» (№ ДР 0111U002285) та «Моделювання динамічних процесів в середній та зовнішній іоносфері в період аномального 24-го циклу сонячної активності» (№ ДР 0115U001180), де здобувач була виконавцем; ініціативних науково-дослідних робіт МОН України за темами «Розробка методів і алгоритмів багатоцільової оптимізації радіоелектронних та автоматичних систем» (№ ДР 0118U002008), де здобувач була керівником, «Розробка математичних моделей систем автоматичного управління енергоблоку АЕС для аналізу маневреності енергоблоку» (№ ДР 0118U002009) та «Розвиток методів багатокритеріального аналізу та синтезу систем автоматичного керування енергетичними процесами» (№ ДР 0118U002010), де здобувач була відповідальним виконавцем, а також у рамках гранту Президента України для підтримки наукових досліджень молодих вчених на 2017 р. за договором № Ф70/111-2017 «Прикладні рішення комплексного активного впливу на втрати електроенергії та її якість у розподільчих електромережах України» та у рамках договору з науково-дослідної роботи з ТОВ «НВП Моноліт Енерго» «Аналіз стійкості контурів керування і регулювання з програмно-технічними

комплексами на базі технічних засобів автоматизації M2002M», де здобувач була відповідальним виконавцем.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Нікуліної О.М., обумовлена ретельним аналізом літературних джерел щодо теми дослідження, коректним і обґрунтованим вибором теми і завдань дослідження, а також використанням сучасних методів дослідження. Зокрема, запропоновані здобувачем моделі та інформаційна технологія базуються на використанні перевірених принципів і методів сучасного математичного апарату, класичних положень теорії автоматичного керування, теорії диференціальних рівнянь, імітаційного моделювання фізичних явищ, які мають місце при управлінні енергетичними об'єктами. Отримані теоретичні результати підтверджені модельними експериментами та не суперечать загально відомим фактами, знанням та методам, що свідчить про обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок задач, застосуванням відомих математичних методів аналізу, відповідністю змісту математичних моделей фізичній суті описуваних процесів. Проведені в дисертаційному дослідженні експерименти характеризуються коректністю постановки та якісним аналізом результатів. Наукові результати здобувача успішно застосовані під час використання в підприємствах та організаціях України, які займаються дослідженням систем управління складними динамічними системами.

Наукова новизна результатів роботи полягає в тому, що теоретичні та експериментальні дослідження, проведені здобувачем, дозволили вирішити актуальну науково-практичну проблему підвищення рівня наукової обґрунтованості технічних проектів зі створення та вдосконалення ІУС складних динамічних систем (на прикладі оптимізації систем управління енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000) за рахунок використання розроблених методів, моделей та інформаційної технології. У рамках вирішення цієї проблеми отримані такі найбільш суттєві наукові результати:

– вперше розроблено функціональну модель процесу оптимізації управління складними динамічними системами на основі об'єднання

програмних блоків моделей динамічних систем і методів оптимізації, блоку обчислення критеріїв якості систем, блоку подання інформації про динамічні процеси і процеси оптимізації, модулів методів інтегрування та модуля структур даних з формуванням структур даних задач та процесів оптимізації, що дозволяє записувати структури даних в файл з можливістю продовження процесу оптимізації складної динамічної системи та представлення його результатів в текстовій та графічній формах;

– вперше запропоновано загальні моделі динамічних систем з відносними змінними стану, на основі яких побудовані нелінійні математичні моделі для автоматизації процесів управління ядерним реактором ВВЕР-1000 серії В-320, парогенератором ПГВ-1000, паровою турбіною К-1000-60/1500-2 та енергоблоком АЕС, що відрізняються врахуванням багатьох параметрів і нелінійностей та завдяки мінімальній кількості обчислень дозволяють точніше і швидше виконувати імітаційне моделювання, ідентифікацію та оптимізацію параметрів систем управління цими об'єктами;

– вперше запропоновано загальні моделі інформаційно-управляючих систем динамічних об'єктів, на основі яких розроблені моделі для оцінювання якості та підвищення функціональної безпеки інформаційно-управляючих систем ядерного реактора ВВЕР-1000 серії В-320, парогенератора ПГВ-1000, парової турбіни К-1000-60/1500-2 та енергоблоку АЕС для створення гарантоздатних автоматизованих систем управління складними динамічними системами критичного застосування;

– вперше розроблено комплексний критерій оцінювання якості математичних моделей складних динамічних систем, що враховує обмеження значень параметрів моделей, умови стійкості процесів та показник відхилення теоретичних і експериментальних процесів, що дозволяє виконати методами оптимізації ідентифікацію параметрів моделей в елементах енергоблоку АЕС за даними натурних експериментів;

– вперше обґрунтовано стійкість інформаційних управляючих систем другого контуру енергоблоків АЕС з реакторами ВВЕР-1000 при зміні параметрів ПІ регуляторів на основі аналізу ступеня стійкості та меж області стійкості для моделей цих систем;

– вперше розроблено інформаційну технологію оптимізації управління складними динамічними системами шляхом програмної реалізації розроблених методів та моделей, що дозволяє виконати оптимізацію

інформаційних управляючих систем енергоблоку АЕС і наочно представити процес обробки інформації у вигляді таблиць та графіків для прийняття рішень при створенні автоматизованих систем управління;

– вдосконалено методи аналізу математичних моделей динамічних систем з використанням матричних методів інтегрування систем диференціальних рівнянь, на основі яких виконаний аналіз процесів в моделях складних динамічних систем, зокрема в нелінійних моделях основних елементів енергоблоку АЕС – ядерного реактора ВВЕР-1000, парогенератора ПГВ-1000, парової турбіни К-1000-60/1500-2, що дозволяє оцінити точність цих моделей;

– отримала подальший розвиток методологія оптимізації параметрів регуляторів інформаційних управляючих систем енергоблоку АЕС на основі нелінійних моделей ядерного реактора ВВЕР-1000, парогенератора ПГВ-1000, парової турбіни К-1000-60/1500-2.

Практичні результати роботи, їх рівень і ступінь впровадження.

Практичне значення результатів роботи полягає в тому, що розроблені та програмно реалізовані методи, моделі та інформаційна технологія знайшли практичне застосування при оптимізації управління складними динамічними системами, що забезпечує покращення показників якості процесів управління і сприяє підвищенню надійності систем. Ступінь впровадження результатів дисертаційної роботи (зокрема, методів, моделей та інформаційної технології оптимізації управління системами, що містять моделі реактора ВВЕР-1000 серії В-320, парогенератора ПГВ-1000, різних парових турбін та всього енергоблоку АЕС), підтверджується довідками про їх використання в Інституті іоносфери НАН і МОН України (м. Харків), АТ «ТУРБОАТОМ» (м. Харків) та ТОВ «НВП Моноліт Енерго» (м. Харків). Результати дисертаційного дослідження впроваджені також у навчальний процес на кафедрах радіоелектроніки і системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій НТУ «ХП».

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях.

За результатами дисертаційних досліджень здобувачкою опубліковано 50 наукових праць, у тому числі: 22 статті у фахових наукових виданнях України з технічних наук (з них 2 статті входять до міжнародної

наукометричної бази Scopus) та 25 публікацій у матеріалах науково-технічних конференцій.

У цілому рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях відповідають необхідним вимогам.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати.

Оцінка змісту дисертації та автореферату

Дисертація складається з анотації, вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків.

У **вступі** наведено обґрунтування актуальності теми дисертації, показано зв'язок роботи з науковими програмами і темами, сформульовані мета і основні задачі дослідження, визначено наукову новизну отриманих результатів, їх теоретичну та практичну значущість, наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію та публікації результатів, її структуру і обсяг.

У **першому розділі** дисертації проведено аналіз сучасного стану наукових досліджень в області створення інформаційних технологій управління складними динамічними системами та обґрунтовано напрямки дисертаційного дослідження. Як приклад складної динамічної системи розглянуто найпотужніший в Україні енергоблок АЕС з ядерним реактором ВВЕР-1000. Розглянуто методи моделювання процесів в складних динамічних системах та аналізу ІУС, визначено показники якості ІУС і можливості їх застосування до процесів управління складними динамічними системами. Проаналізовано існуючі підходи до оптимізації показників якості ІУС.

У **другому розділі** наведено загальну структуру інформаційної технології аналізу та оптимізації управління складними динамічними системами, яка включає шість основних функціональних елементів: блок моделей систем, модуль методів інтегрування СДС, блок обчислення критеріїв якості, блок методів оптимізації, модуль структури даних та блок подання інформації. Згідно з цією структурою розроблено функціональну модель процесу оптимізації, наведену в графічній нотації IDEF0, яка враховує складність розв'язання задач оптимізації управління СДС та (завдяки використанню структур даних задач і розділенню процесу оптимізації) дозволяє запам'ятовувати процес оптимізації з можливістю його

продовження або представлення результатів. Це дозволяє найбільш повно використовувати можливості сучасної комп'ютерної техніки для реалізації запропонованої інформаційної технології.

У третьому розділі узагальнено принципи моделювання динамічних систем та розроблено конкретні моделі динамічних систем для ІТ оптимізації управління на прикладі енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000 серії В-320. Математичні моделі у вигляді лінійних СДР включають вектори стану та початкових умов, вектори змінних параметрів систем, вектор зовнішніх дій, оператор виходу моделі, вектор вихідних змінних. Математичні моделі у вигляді передавальних функцій (ПФ) включають вектори змінних параметрів систем. Моделі у вигляді ПФ приведені до моделей у вигляді СДР.

Як приклад складної динамічної системи розглянуто двоконтурну технологічну схему виробництва електроенергії енергоблоком АЕС, яка включає ядерний реактор (ЯР) ВВЕР-1000 серії В-320, парогенератор (ПГ) ПГВ-1000, парову турбіну (ПТ) К-1000-1500/60-2 та багато інших елементів. У свою чергу всі елементи енергоблоку теж є складними динамічними системами, що характеризуються складними динамічними процесами, нелінійними залежностями між різними показниками їх стану, великою кількістю конструктивних та технологічних параметрів, а також високим порядком математичних моделей.

У четвертому розділі розроблено та узагальнено методи аналізу складних динамічних систем та аналізу процесів в реакторі ВВЕР-1000 серії В-320, парогенераторі ПГВ-1000, паровій турбіні К-1000-60/1500-2 на основі нелінійних математичних моделей цих об'єктів управління.

Формалізовано числові методи інтегрування СДР, які використовуються для побудови перехідних процесів у динамічних системах, а також обчислення показників якості систем. Для підвищення точності та надійності обрані матричні методи інтегрування: метод матричної експоненти для інтегрування лінійних СДР, системні методи першого, другого і третього ступенів для інтегрування нелінійних СДР. Розроблено алгоритми методів інтегрування та допоміжних їх параметрів.

У п'ятому розділі розроблено моделі ІУС для складних динамічних об'єктів на прикладі ІУС енергоблоку з реактором ВВЕР-1000.

На основі узагальнених моделей регулятора та об'єкта управління представлена узагальнена модель ІУС у векторному вигляді СДР, що

включає вектори стану, змінних та постійних параметрів, зовнішніх дій. Для лінійних ІУС з ПІ регулятором отримана модель у вигляді ПФ, що призначена для ідентифікації параметрів об'єктів управління.

Об'єднанням систем диференціальних рівнянь узагальненої моделі отримана модель ІУС реактора з ПІ регулятором нейтронної потужності з управлінням ядерним реактором за допомогою поглинаючих стрижнів.

Шостий розділ присвячено узагальненню моделей інформаційно-управляючих систем для ідентифікації параметрів ІУС та використанню ІТ для ідентифікації параметрів динамічних систем на прикладі ІУС парогенератора ПГВ-1000 та ІУС інших елементів другого контуру енергоблоку АЕС.

Для обліку всіх обмежень задачі ідентифікації за скалярними штрафними функціями сформована векторна цільова функція (ВЦФ) ідентифікації. Використання ВЦФ для розв'язання задач ідентифікації ІУС дозволяє автоматизувати і прискорити процеси розв'язання цих задач з послідовним виконанням всіх вимог, що висуваються до систем. Для оптимізації ВЦФ реалізовані методи безумовної оптимізації скалярних функцій з перезавантаженням операції порівняння для класу векторних функцій. Проведений аналіз стійкості та меж області стійкості для систем управління деаераторів, конденсаторів, головних парових колекторів, колекторів власних потреб, турбоживильних насосів, сепараторів пароперегрівачів, підігрівачів низького і високого тиску енергоблоків обґрунтовує стійкість розглянутих систем управління для енергоблоків з реакторами ВВЕР-1000.

В сьомому розділі наведено результати обчислення критеріїв якості ІУС – прямі показники якості і покращених інтегральних квадратичних оцінок, формуванні на їх основі ВЦФ та методів їх оптимізації, а також приклади використання ІТ оптимізації управління складними динамічними системами.

Аналіз цих результатів дозволяє зробити висновок, що оптимізація показників якості системи з використанням запропонованої в дисертації ІТ істотно поліпшила процеси управління.

Висновки за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел охоплює 276 найменувань. Відповідні публікації в сукупності формують досить повне і об'єктивне сучасне уявлення про стан досліджуваної теми.

У додатках наведено технічні та технологічні характеристики об'єктів управління енергоблоку АЕС, додаткові результати з ідентифікації об'єктів управління, процеси оптимізації інформаційно-управляючих систем енергоблоку, матеріали щодо впровадження результатів дисертаційної роботи та список публікацій за темою дисертаційної роботи.

Текст автореферату ідентичний за змістом основних положень дисертації та досить повно відображає основні наукові результати роботи.

Відповідність дисертації паспорту спеціальності.

Дисертаційну роботу виконано у відповідності до пунктів 2 (розроблення інформаційних технологій для аналізу та синтезу структурних, інформаційних і функціональних моделей об'єктів і процесів, що автоматизуються), 3 (розроблення моделей і методів автоматизації виконання функцій і завдань виробничого й організаційного управління у звичайних і багаторівневих структурах на основі створення і використання нових інформаційних технологій) та 14 (розроблення та дослідження моделей і методів оцінювання якості та підвищення надійності, функціональної безпеки та живучості інформаційних та інформаційно-управляючих систем, а також інформаційних технологій для створення гарантоздатних автоматизованих систем переробки інформації й управління критичного застосування), зазначених в паспорті спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології.

Зауваження по дисертації.

1. Надто загальним є обраний здобувачем об'єкт дослідження – «процеси управління складними динамічними системами». Слід було б його обмежити класом детермінованих безперервних динамічних систем.

2. Аналіз стану проблеми розробки інформаційних технологій управління складними динамічними системами, наведений в першому розділі, є дещо поверхневим. Зокрема, в підрозділі 1.6 слід було б детальніше зупинитися на формалізованому представленні існуючих прямих показників якості управління.

3. Доцільно було б розглянути сукупність та рівень можливих збурень, що впливають на якість процесів управління досліджуваними в роботі об'єктами ядерної енергетики.

4. Відомо, що ядерні реактори є об'єктами критичного застосування. Втім в роботі не розглянуто необхідність забезпечення додаткових вимог до надійності технології управління цими об'єктами.

5. Здобувач стверджує, що для нелінійної ідентифікації параметрів з великою кількістю змінних параметрів (на прикладі парогенератора) найефективнішим методом виявилася комбінація генетичного алгоритму з методом Хука – Дживса (298с.). Втім, в роботі не наведено процедуру такої ідентифікації та результати її застосування.

6. У третьому розділі побудовано нелінійні математичні моделі складних динамічних об'єктів енергоблоку (реактора, парогенератора, парової турбіни), але можливість безпосереднього застосування використаних в роботі принципів нелінійного моделювання для інших типів складних динамічних систем є дещо проблематичною.

7. З дисертації та автореферату не ясно, яким чином аксіальний офсет впливає на стійкість ядерного реактора.

8. В підрозділі 7.2 розглядається обчислення покращених інтегральних квадратичних оцінок якості процесів управління динамічними об'єктами, але далі по тексту дисертації такі оцінки ніде не використовуються.

9. В авторефераті на рис. 1 представлена дуже спрощена структура інформаційної технології оптимізації управління складними динамічними системами, хоча в самій дисертації вона суттєво розширена.

10. В авторефераті надто стисло представлено зміст другого розділу дисертації, присвяченому розробці структури та елементів інформаційної технології управління оптимізації управління складними динамічними системами.

11. В основних розділах або додатках до дисертації слід було б навести елементи опису програмної реалізації запропонованої інформаційної технології (графічний інтерфейс, діаграми класів тощо).

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну характеристику роботи та не зменшують відзначені вище актуальність, наукову і практичну цінність дисертаційної роботи.

Загальний висновок.

Дисертаційна робота Нікуліної Олени Миколаївни «Методи, моделі та інформаційна технологія оптимізації управління складними динамічними системами (на прикладі енергоблоку АЕС)» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології. Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, спрямованим на підвищення рівня наукової обґрунтованості технічних проєктів зі створення та вдосконалення ІУС складних динамічних систем за рахунок використання розроблених методів, моделей та інформаційної технології. Вважаю, що за актуальністю обраної теми, достовірністю і обґрунтованістю висновків, новизною досліджень, значимістю отриманих результатів для науки і практики дисертаційна робота повністю відповідає вимогам пп. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013р., щодо докторських дисертацій, а здобувач Нікуліна Олена Миколаївна заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри
інформатики та комп'ютерної техніки
Харківського національного економічного
університету ім. С. Кузнеця,
доктор технічних наук, професор



С. Г. Удовенко

Підпис Удовенка Сергія Григоровича засвідчую.
Вчений секретар
Харківського національного економічного
університету ім. С. Кузнеця



О. В. Писарчук