

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Долгорукова Сергія Олеговича на тему «Автоматизоване проектування випробувального стенду навігаційного обладнання», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю:

05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт

### Актуальність теми роботи

Дисертаційну роботу Долгорукова Сергія Олеговича присвячено вирішенню важливої науково-практичної проблеми, що пов'язана з автоматизованим проектуванням та виготовленням випробувальних установок (стендів) для навігаційного обладнання, які відіграють важливу роль в загальному процесі дослідження характеристик сучасних літальних апаратів.

Для вирішення проблеми автоматизованого проектування випробувальних стендів навігаційного обладнання використано сучасні методологічні підходи до аналізу процесів взаємодії проектувальника і технічних засобів, в яких пропонуються різні варіанти організації та оптимізації взаємодії людини та автоматизованої системи, встановлення ролі людини, розподілу функцій між системою та людиною. Як висновок, виникає завдання формалізованого опису діяльності людини-оператора, розробки математичних моделей, структурних рішень та алгоритмів, які призначені для інтелектуалізації процесів прийняття рішень в автоматизованих системах проектування, а також обробки інформаційних потоків, застосування передових методів та пристроїв для оцінювання функціональності навігаційного обладнання з метою підвищення його надійності і, як наслідок, безпеки польотів.

Основні результати, які представлені в роботі, отримано на кафедрі авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів Національного авіаційного

*Вхідний № 21/51.03*

*Від 14.09.21*

університету при виконанні відповідних НДР НАН та МОН України, у яких здобувач був безпосереднім виконавцем окремих етапів, пов'язаних із розв'язанням задач аналізу функціональності аеронавігаційного обладнання та шляхів підвищення його надійності. На основі докладного огляду сучасних літературних джерел автор зробив належну постановку задачі дисертаційної роботи.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Наукові положення, результати і висновки дисертації є достатньо обґрунтованими. Вони базуються на ретельному аналізі сучасних науково-технічних джерел з досліджуваної проблеми; коректному визначенні мети і задач дослідження; бездоганному використанні відомих і розробці нових математичних моделей функціонування системи автоматизації проектування; критичному порівнянні відомих і отриманих результатів обчислювальних експериментів, виконаних автором роботи, та чіткому формулюванню висновків.

**Структура дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списків використаних джерел до кожного розділу та додатків.

У вступі обґрунтована актуальність теми дослідження, сформульовані мета та завдання досліджень, наукова новизна та практична цінність, наведено огляд літературних джерел за темою досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами й темами.

У першому розділі дисертації наведені принципи побудови випробувальних стендів для різних типів навігаційного обладнання. Описується навігаційне обладнання як об'єкт випробування. Поліпшення загальних підходів проектування випробувальних стендів та тих, які конкретно відносяться до розробки ВС навігаційного обладнання досягається поєднанням переваг досягнень в області штучного інтелекту і автоматизації

виробництва та сучасних засобів САПР. Здійснено формалізовану постановку завдання проектування випробувального стенду за допомогою САПР із визначенням завдань, виконання яких дозволить розробити ВС та побудувати автоматизовану систему проектування ВС.

**У другому розділі** наведений опис проведених досліджень автоматизованого проектування ВС. Найбільш цікавими результатами цього розділу є розробка та вивчення багато-агентської системи автоматизованого проектування випробувальних стендів навігаційного обладнання. Отримані технологічні вдосконалення дають можливість виконувати проектування на базі навчання з підкріпленням для вирішення завдання багатокритеріального прийняття рішень. Було розроблено інтелектуальний підхід для реалізації САПР на основі типової структури ВС, включаючи механіку, електроніку та програмне забезпечення; спираючись на існуючий досвід в побудові систем гібридного інтелектуального проектування. Це стало можливим завдяки перетворенню завдання мульти-дисциплінарного оптимального проектування випробувального стенду навігаційного обладнання в багато-агентську систему автоматизованого проектування, що складається з різних інструментів САПР та інтелектуальних агентів, які виконують роль посередника між інженерами-проектувальниками і інструментами САПР загального призначення.

**У третьому розділі** описуються необхідні етапи для розробки підсистеми автоматизованого проектування інтелектуальних агентів для проектування елементів ВС на базі штучного інтелекту. Найбільш цікавими результатами цього розділу є розробка середовища навчання з підкріпленням для інтелектуальних агентів на базі прикладу для вирішення завдання оптимального вибору комплексу технічних засобів для проектування карданного підвісу випробувального стенду. Побудовано модель комплексу програмного середовища проектування ВС, що забезпечує інтеграцію існуючих САПР в єдиний автономний комплекс, в якому людина-оператор

визначає критерії та обмеження, що кодуються функцією винагороди для агентів, в межах яких багато-агентській системі з підтримкою ІІ дозволяється управляти автоматизованими операціями. Навчання з підкріпленням використовується для вирішення завдання багатокритеріального прийняття рішень, в результаті забезпечується покращення простору пошуку проектних рішень з точки зору використання попередніх знань. Представлено загальний метод побудови інтелектуальних САПР, що можуть бути інтегровані у процес проектування ВС для досягнення різних результатів та цілей виробництва.

**Четвертий розділ** дисертаційної роботи присвячений експериментальним та теоретичним результатам проведених досліджень автоматизованого проектування випробувальних стендів навігаційного обладнання. Проведено моделювання інтеграції САПР Femap Nastran та агента механічної збірки відповідального за розрахунок моделі похибки випробувального стенду в середовищі програмування Python, що дозволило заощадити час проектування збірки вала опорної частини ВС. Проведено реалізацію елементів ВС на основі запрограмованої САПР для створення дослідної моделі випробувального імітаційного динамічного трьох осевого стенду. Створення системи випробування навігаційного обладнання, навчально-наукової лабораторії авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів НАУ забезпечувалося спроектованим та побудованим у дисертаційній роботі середовищем автоматизованого проектування. Найбільш цікавим у цьому розділі є те, що у дисертаційній роботі проведено комп'ютерне моделювання на основі розроблених моделей агентів у середовищі Matlab та Simulink, а також порівняно результати загальновідомих методів Topsis і Promethee та розробленого багато-агентського середовища навчання з підкріпленням.

**Наукова новизна результатів, отриманих дисертантом.** Отримані автором дисертації наукові результати загалом є новими. Найбільш цікавими з них можна назвати наступні:

1. В дисертаційній роботі розроблений багато-агентський підхід для автоматизації проектування ВС, який використовує агентів-проектувальників з елементами ІІІ – навчання з підкріпленням для вирішення завдання багатокритеріального прийняття рішень, що дає в результаті покращення пошуку проектних рішень з точки зору використання попередніх знань та дозволяє отримати конфігурацію ВС з поліпшеними технічними характеристиками.

2. Для забезпечення взаємодії між ієрархічними рівнями інженерів-проектувальників та інтелектуальних агентів з власними моделями поведінки, розроблено нову технологію побудови комплексу програмного середовища САПР, засновану на мета-агентах, що дозволяє скоротити час проектування та забезпечити взаємодію зацікавлених учасників процесу проектування та виробництва за межами організацій.

3. В дисертаційній роботі також розроблено метод побудови САПР ВС, що забезпечує інтеграцію існуючих САПР в єдиний автономний комплекс, в якому людина-оператор визначає критерії та обмеження, в межах яких багато-агентській системі з підтримкою ІІІ дозволяється управляти автоматизованими операціями, що призводить до економії часу проектування та дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики ВС.

4. Вперше запропоновано метод розв'язання задачі багатокритеріального прийняття рішень під час проектування, який при його імплементації використовує агенти з автономним навчанням, що самостійно збирають дані, генерують нові знання і використовують їх для коригування процесу прийняття рішень, що дозволяє безпосередньо оптимізувати цільові параметри без необхідності визначати модель та форму апроксимації цих функцій.

5. На основі запрограмованої САПР розроблено, побудовано, налаштовано

випробувальний стенд для тестування навігаційного обладнання з такими характеристиками: габаритні розміри стенда – 1840x1715x1400 мм; максимальна маса навігаційного обладнання, що випробовується – 100 кг; діаметр обертової платформи – 1000 мм; кути повороту та середні радіуси – зовнішня вісь  $\pm 180$  (360) град., 700 мм; середня вісь  $\pm 30$  (60) град., 600 мм; внутрішня вісь  $\pm 180$  (360) град., 530 мм; точність за кутами, крену і тангажу  $\pm 1$  град., канал курсу  $\pm 1.5$  град.; кутова швидкість каналу тангажу – 700 град/сек, каналу крену – 160 град/сек, каналу курсу – 150 град/сек.

**Наукова та практична цінність роботи** полягають у такому:

1. В дисертаційній роботі спроектована та побудована система випробування навігаційного обладнання, навчально-наукової лабораторії авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів НАУ, що дозволило перевірити ефективність системи автоматизованого проектування для побудови ВС.

2. На основі запрограмованої САПР розроблено, побудовано та налаштовано дослідну модель випробувального імітаційного динамічного трьох-осевого стенду.

3. Результати дисертаційної роботи впроваджено у процес виробництва мікропроцесорних систем релейного захисту (МРЗС) державного підприємства «Виробниче об'єднання «Київприлад» у конструкторсько-технологічному відділі.

**Публікації та апробація роботи.** Результати дисертації були апробовані на 8 міжнародних наукових конференціях. Результати дисертації викладені у 14 наукових роботах: у тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях (з них 1 стаття – у закордонному виданні ЕС та ОЕСР, 5 статей у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз), 8 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій (з них 8 включені до міжнародних

наукометричних баз включаючи Scopus).

**Анотування дисертації** з достатньо повнотою відображає основні положення дисертації, наукову новизну та висловки.

### **Зауваження та недоліки**

1. Бажано докладніше пояснити у чому полягає запропонований автором інтелектуальний підхід до реалізації системи автоматизації проектування.
2. Вважаю за доцільне конкретизувати умови невизначеності, про які згадує автор, і запропонувати заходи для боротьби з ними. Те ж саме стосується нелінійностей.
3. Бажано конкретизувати суть системного підходу (с. 91) до інформаційної підтримки всіх етапів життєвого циклу виробу.
4. У роботі недостатньо чітко описана процедура оцінювання ймовірностей (с. 131) для багатовимірного розподілу; крім того, було б доцільно вказати, яких конкретно подій стосуються ці ймовірності.
5. Бажано вказати, які конкретні значення може приймати функція нагород і як ці значення впливають на якість оптимізації.
6. Робота містить деякі стилістичні неточності: наприклад, «багато-агентний» необхідно замінити на «багато-агентський»; «електропривід» на «електропривод»; словосполучення «випадкова помилка» замінити на «випадкова похибка».

### **Висновки по роботі в цілому**

Вважаю, що дисертаційна робота Долгорукова Сергія Олеговича

«Автоматизоване проектування випробувального стенду навігаційного обладнання» за своїм змістом повністю відповідає паспорту спеціальності 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт. Дисертація виконана на високому сучасному науково-технічному рівні і є завершеною науково-дослідною роботою, яка вирішує важливу актуальну проблему високоякісного тестування навігаційного обладнання і наукового обґрунтування та розробки математичних моделей функціонування системи автоматизації проектування. Робота у цілому містить достатню наукову новизну. Тема дослідження має значні перспективи для подальшого розвитку у майбутньому.

Дисертація відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р. № 656, які висуваються до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а здобувач, Долгоруков Сергій Олегович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 — системи автоматизації проектувальних робіт.

**Офіційний опонент:**

професор кафедри математичних методів системного аналізу

Інституту прикладного системного аналізу

Національного технічного університету України

«КПІ ім. Ігоря Сікорського»

доктор технічних наук, професор



П. І. Бідюк

