Голові разової спеціалізованої вченої
ради Національного університету
"Київський авіаційний інститут",
доктору технічних наук, професору
Валерію КОЗЛОВСЬКОМУ

ВІДГУК

офіційного опонента ЗАЙЦЕВА Олександра Вікторовича на дисертаційну роботу Шаптали Сергія Олександровича "Методи та моделі прийняття рішень щодо формування потоків повітряного руху при спільному використанні пілотованої та безпілотної авіації", яка подана до захисту у разову спеціалізовану вчену раду Національного університету "Київський авіаційний інститут" на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 272 – Авіаційний транспорт з галузі знань 27 – Транспорт.

1. Актуальність теми дисертації, зв'язок з науковими програмами, темами

Актуальність дисертаційної роботи Шаптали Сергія Олександровича, підтверджується важливістю наукового завдання: підвищення ефективності управління потоками повітряного руху в інтегрованому повітряному просторі шляхом розроблення адаптивних методів і моделей прийняття рішень щодо координації польотів пілотованої та безпілотної авіації.

Так, в сучасних умовах спостерігається стрімке збільшення безпілотної авіації, що докорінно змінює сутність використання повітряного простору. Вже неможливим стає відокремлене розділення повітряного простору між пілотованою і безпілотною авіацією. Тому актуальним є узгодження роботи різнорідних користувачів системи управління, створення єдиного повітряного простору, суттєве зменшення на прийняття рішень, динамічної адаптації системи до умов що стрімко змінюються.

Відповідно, автор вдало сформував наукове протиріччя, що полягає у зростанні обсягу інформації й кількості обмежень з одного боку та вимогою скорочення часу прийняття рішень – з іншого. Це дало змогу розкрити актуальні питання гнучкої інтеграції безпілотних авіаційних систем, забезпечення пріоритетності завдань, створення моделі прийняття рішень з контурами координації та адаптації.

Результати дисертаційного дослідження відповідають профільним науковим програмам та практичним завданнями авіаційного транспорту та сектору безпеки і оборони, а саме:

- впроваджені в науково-дослідних роботах "Апостол" (№ 0120U000054д) та "Ієрархія-3" (№ 0123U000022д);

- використані під час створення перспективної підсистеми підтримки прийняття рішень системи управління Повітряних Сил Збройних Сил України;
- використані під час створення науково-методичного апарату визначення складу сил і засобів угруповання Повітряних Сил.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх вірогідність

Зміст дисертації побудовано системно, послідовно та логічно, поставлені в роботі завдання розкриті з достатнім рівнем повноти. Перший розділ присвячено аналізу відомих підходів формування потоків повітряного руху, сформульовано наукове завдання. Другий розділ описує модель прийняття рішень та метод координації в багаторівневій системі. Третій розділ розкриває питання створення адаптивного регулятору, формування алгоритму та параметрів адаптації. Четвертий розділ розкриває питання чисельного моделювання, експериментальної перевірки запропонованих положень, практичних рекомендацій.

Наукові положення обґрунтовано достатньо повно, з використанням методів системного аналізу, формалізації, теорій управління, дослідження операцій, прийняття рішень, інформації, теорії ймовірностей та моделювання, теорії адаптивних систем. Основні положення, які винесені автором на захист формалізовані та описані в математичній формі.

Теоретичні положення винесені на захист перевірені експериментально, враховують вплив зовнішніх та внутрішніх чинників системи та її обмеження. З метою оцінки ефективності запропонованих рішень використовується реальна структура повітряного простору України, достатня кількість аеропортів (аеродромів), сучасні та актуальні безпілотні літальні апарати.

3. Достовірність та наукова новизна одержаних результатів, повнота їх викладу в опублікованих працях

Математичний апарат використаний в роботі обраний коректно, робота викладена послідовно (за принципом – постановка завдання, формування методів, експериментальна перевірка), часткові та загальні висновки корелюють між собою, що визначає достовірність результатів дисертації. Розроблені в роботі моделі мають в своєму складі низку важливих параметрів повітряного простору, користувачів, впливів, зовнішніх збурень. Це дозволяє використовувати їх в реальних системах планування.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- вперше розроблену модель прийняття рішень з управління польотами пілотованої та безпілотної авіації в системі формування потоків повітряного руху, яка об'єднує механізми координації, адаптації, виявлення та ідентифікації проблемних ситуацій;

- удосконалений метод координації, що забезпечує міжрівневу та внутрішньорівневу консолідацію рішень шляхом декомпозиції глобального завдання та модифікації локальних функцій якості;
- удосконалений метод адаптації до поточної повітряної обстановки на основі рекурентних цільових нерівностей із прогнозуванням стану підсистеми на один крок уперед;
- дістала подальшого розвитку модель вибору параметрів підлаштування адаптивного регулятора, шляхом послідовного врахування динамічних властивостей об'єкта, обмежень керування та запізнення.

Результати роботи відповідають поставленій меті дослідження і забезпечують не тільки формування загальної концепції інтегрованого повітряного простору, але й описують процедури прийняття рішень в формалізованому математичному вигляді.

4. Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях

Положення дисертації викладені у 11 наукових працях, з них 1 розділ у колективній монографії, 6 статей у наукових фахових виданнях України, 4 матеріали міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій. Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях – на достатньому рівні. Публікації охоплюють питання обґрунтування актуальності завдання, особливості формування потоків, координацію та адаптацію процесів прийняття рішень, процеси моделювання, децентралізованого управління системами, практику використання методів підтримки прийняття рішень в сучасних умовах.

Апробація дослідження здійснена на 4 наукових конференціях. В роботі вказано необхідну та повну інформацію про особистий внесок здобувача для праць у співавторстві. Представлені публікації мають наукову новизну і практичне значення, що повною мірою відображає положення дисертаційного дослідження та його основні етапи.

5. Практичне значення одержаних результатів дослідження

Використання розроблених автором в результаті дослідження моделей, методів та алгоритмів з метою автоматизації процесів формування потоків повітряного руху в інтегрованому повітряному просторі, своєчасного виявлення проблем, координації роботи на різних рівнях управління, адаптації до динамічних змін обстановки, має вагоме практичне значення.

Так, в роботі кількісно показано потенційний ефект запропонованого підходу:

- досягнуто скорочення загального часу зайнятості повітряного простору в межах вільних маршрутів;
- досягнуто 8–13 % зниження витрат пального (на 2026 рік – це біля 1,7 млн гривень/виліт).

Практичну цінність також мають рекомендації щодо введення до складу ОЦВ СОПР контурів координації та адаптації, інформаційних і управлінських підрозділів для виявлення та вирішення проблемних ситуацій.

Практичне значення одержаних результатів дослідження підтверджено актами впровадження у ТОВ "Системний електронний експорт", Центральному управлінні військової освіти і науки Генерального штабу Збройних Сил України, Центральному науково-дослідному інституті Збройних Сил України.

6. Оцінка ідентичності анотації та основних положень дисертації

Зміст дисертаційної роботи на достатньому рівні відображений в анотації українською та англійською мовами. В анотації розкриті питання актуальності, постановки наукового завдання, положення дисертації що розкриті в 4 розділах, положення наукової новизни, результати експериментальної перевірки, практичні результати.

Висвітлені в анотації положення щодо моделі прийняття рішень, методу координації, методу адаптації та структури адаптивного регулятора відповідають змісту відповідних розділів дисертації. Анотація відповідає послідовності викладу матеріалу (починаючі від аналізу проблематики і закінчуючи проведенням експерименту та формулюванням висновків та рекомендацій.

Невідповідності анотації та положень дисертації не встановлено.

7. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації

В цілому, за результатами розгляду дисертації, рівнем теоретичного вирішення наукового завдання, рівнем обґрунтованості розроблених автором методів, моделей і практичним внеском, вважаю що робота підготовлена на достатньо високому рівні. Проте хочу окреслити наступні дискусійні положення та зауваження, які не знижують загальної позитивної оцінки дисертації.

По-перше, під час синтезу методу координації у підрозділі 2.4 (стор. 129–130) автор безпосередньо зазначає, що отримані результати відносяться до випадку, коли відсутня конфліктність, а система планування має властивість безумовної узгодженості. Таке припущення є цілком виправданим для формального синтезу та дослідження властивостей запропонованого методу. Водночас предметна область дисертації передбачає спільне використання інтегрованого повітряного простору різними категоріями користувачів, цілі та пріоритети яких у реальних умовах можуть не лише відрізнятися, а й безпосередньо суперечити один одному. Особливо це стосується необхідності забезпечення пріоритетного виконання завдань державної авіації в особливий період за одночасного збереження прийнятного рівня функціонування інших складових повітряного руху. Тому робота, виграла б від більш детального визначення меж застосовності запропонованого методу у випадках обмеженої або часткової узгодженості цілей, а

також від формалізації механізму вирішення ситуацій, коли досягнення локального оптимуму одним із суб'єктів об'єктивно погіршує умови функціонування іншого.

По-друге, значна частина математичного апарату координації, викладеного у другому розділі, спирається на можливість декомпозиції глобальної функції якості та, в окремих випадках, на припущення щодо її сепарабельності або адитивності. Зокрема, на стор. 123–129 розглядається випадок, коли глобальна вартість може бути представлена як сукупність локальних вартостей, що створює належне математичне підґрунтя для модифікації локальних функцій якості. Разом з тим у реальній системі організації повітряного руху окремі показники мають суттєво взаємозалежний характер: зміна завантаження одного сектора впливає на суміжні сектори, зміна маршруту одного потоку може створювати додаткові обмеження для іншого, а безпекові та часові характеристики не завжди можуть бути зведені до простої суми локальних ефектів. У зв'язку з цим доцільним напрямом подальшого дослідження видається оцінка працездатності запропонованого методу для несепарабельних глобальних функцій якості або, принаймні, більш чітке визначення класу задач формування потоків, для яких прийняте припущення про адитивність є достатньо адекватним.

По-третє, при обґрунтуванні принципу узгодження взаємодій на стор. 131–132 автор справедливо зазначає, що його застосування потребує можливості вимірювання або обчислення фактичних сполучних входів між локальними елементами системи. Це є важливою умовою реалізованості запропонованого механізму координації. Проте в реальній автоматизованій системі управління значення таких параметрів можуть надходити із затримкою, містити похибки, мати різну дискретність оновлення або тимчасово бути відсутніми. У роботі ці обставини детально не досліджуються саме стосовно контуру координації. На нашу думку, доцільно було б додатково оцінити стійкість координуючого механізму до похибок визначення сполучних входів та встановити допустимі межі неточності вихідної інформації, за яких зберігаються властивості міжрівневої та внутрішньорівневої узгодженості. Це мало б істотне значення для практичного застосування запропонованого підходу в інформаційно неоднорідному середовищі.

По-четверте, при виборі алгоритму адаптації у підрозділі 3.3 автор визначає клас умов, за яких забезпечується кінцева збіжність адаптивного регулятора. Зокрема, на стор. 168–169 приймаються припущення щодо стійкості об'єкта по управлінню, обмеженості зовнішнього впливу, відомості сталої, що обмежує такий вплив, а для реалізації алгоритму «Полоска-2» необхідним є знання знаку коефіцієнта (b_1) та верхньої оцінки (C_b) для його модуля. З математичної точки зору такі передумови сформульовані коректно і дозволяють довести збіжність алгоритму. Водночас для практичної реалізації адаптивного механізму становить інтерес питання його поведінки у випадку помилки в апріорній оцінці зазначених параметрів або короткочасного виходу зовнішнього впливу за передбачені межі. Доцільним було б дослідити робастність запропонованого алгоритму до такого роду невизначеності та визначити умови, за яких помилка у вихідних припущеннях

призводить лише до погіршення характеристик адаптації, а за яких – до втрати її збіжності. Таке дослідження додатково розширило б уявлення про межі практичної застосовності запропонованого регулятора.

По-п'яте, у підрозділі 3.3 автор встановлює важливу залежність між рівнем субоптимальності адаптивного регулятора та тривалістю процесу його адаптації: зазначається, що наближення рівня оптимальності (ρ) до одиниці супроводжується збільшенням часу адаптації. Водночас у роботі не запропоновано окремого критерію вибору значення (ρ), який би враховував специфіку конкретної оперативної ситуації. Для системи формування потоків повітряного руху цей компроміс має принципове практичне значення, оскільки прагнення отримати рішення, максимально наближене до оптимального, може бути недоцільним, якщо витрати часу на його одержання перевищують допустимий горизонт прийняття рішення. Перспективним було б формування адаптивного правила вибору рівня (ρ) залежно від характеру проблемної ситуації, інтенсивності зміни повітряної обстановки, наявного часового ресурсу та критичності завдання. Це дозволило б пов'язати теоретичний показник субоптимальності з конкретними вимогами оперативного управління повітряними потоками.

В цілому, висловлені мною дискусійні положення та зауваження не мають вирішального характеру і не впливають на наукову новизну, обґрунтованість та практичну значущість отриманих в роботі результатів. Надані мною зауваження в більшості мають рекомендаційних характер для подальших наукових розвідок та практичного впровадження результатів.

8. Загальний висновок та оцінка дисертації

Дисертаційна робота Шаптали Сергія Олександровича "Методи та моделі прийняття рішень щодо формування потоків повітряного руху при спільному використанні пілотованої та безпілотної авіації" є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальне наукове завдання синтезу методів та моделей прийняття рішень щодо формування потоків повітряного руху в інтегрованому повітряному просторі.

Дисертаційна робота має логічну структуру, достатній рівень формалізації, цілісність, експериментальну частину та практичні рекомендації. Результати що висвітлені в роботі мають наукову новизну, достатній ступінь обґрунтованості та практичне значення. В матеріалах роботи та наведених автором відомостях про публікації й особистий внесок підстав для висновку про порушення принципів академічної доброчесності не встановлено.

За актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та достовірністю одержаних результатів, практичним значенням і повнотою їх опублікування дисертаційна робота Шаптали Сергія Олександровича на тему "Методи та моделі прийняття рішень щодо формування потоків повітряного руху при спільному використанні пілотованої та безпілотної авіації" відповідає вимогам до дисертацій

на здобуття ступеня доктора філософії, а її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 272 – Авіаційний транспорт.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

Начальник кафедри інформаційних технологій
Воєнної академії імені Євгенія Березняка,
доктор технічних наук, професор

Олександр ЗАЙЦЕВ

25 08 2026

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ

Заступник начальника Воєнної академії імені Євгенія Березняка,
кандидат технічних наук
полковник

Вячеслав МИРОНЕНКО

25 08 2026

Головне управління розвідки Міністерства оборони України
Воєнна академія імені Євгенія Березняка
Код 14303342