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

ВІДГУК

офіційного опонента ДЗЕВЕРІНА Ігоря Григорійовича на дисертаційну роботу Шаптали Сергія Олександровича "Методи та моделі прийняття рішень щодо формування потоків повітряного руху при спільному використанні пілотованої та безпілотної авіації", подану 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

Дисертаційна робота Шаптали Сергія Олександровича присвячена актуальному науковому завданню 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. Актуальність обраного напряму визначається не лише кількісним зростанням безпілотної авіації, а насамперед зміною самої логіки використання повітряного простору: перехід від роздільного використання повітряного простору пілотованою і безпілотною авіацією до формування інтегрованого повітряного простору вимагає узгодження дій різнорідних користувачів, скорочення часу вироблення рішень та адаптації планів до динамічних просторово-часових обмежень.

У роботі коректно пов'язано проблематику інтеграції безпілотних авіаційних систем із концепціями гнучкого використання повітряного простору, вільних маршрутів, багаторівневого планування та необхідністю забезпечення пріоритетності завдань державної авіації в особливий період. Автор не обмежується аналізом процедур організації повітряного руху, а формулює системне протиріччя між зростанням обсягу інформації й кількості обмежень, з одного боку, та вимогою скорочення часу прийняття рішень – з іншого. Саме це протиріччя обґрунтовує необхідність переходу до моделі прийняття рішень з контурами координації та адаптації.

Зв'язок дисертації з науковими програмами та практичними завданнями простежується достатньо чітко. Результати одержано у межах науково-дослідних робіт "Апостол" (№ 0120U000054д) і "Ієрархія-3" (№ 0123U000022д), а також під час розроблення перспективної підсистеми підтримки прийняття рішень системи управління Повітряних Сил Збройних Сил України та науково-методичного апарату щодо визначення складу сил і засобів угруповання Повітряних Сил. Це

підтверджує безпосередній зв'язок теми з актуальними завданнями авіаційного транспорту та сектору безпеки і оборони.

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

Структура дисертації є логічною та відповідає послідовності розв'язання поставлених завдань. У першому розділі здійснено аналіз нормативних, організаційних і технологічних підходів до формування потоків повітряного руху та сформульовано наукове завдання. Другий розділ присвячено побудові моделі прийняття рішень і методу координації в багаторівневій системі. У третьому розділі синтезовано адаптивний регулятор, визначено параметри підлаштування (тобто параметри регулятора, що коригуються в процесі адаптації) і обґрунтовано алгоритм адаптації. У четвертому розділі проведено чисельне моделювання, експериментальну перевірку розроблених підходів і сформовано практичні рекомендації щодо організаційно-функціональної структури системи управління.

Обґрунтованість наукових положень забезпечено застосуванням системного аналізу, формалізації, методів теорії управління, дослідження операцій, теорії прийняття рішень, теорії інформації, теорії ймовірностей, моделювання та теорії адаптивних систем. Важливо, що автор послідовно переводить предметні положення у математичну форму: задає глобальні й локальні функції якості, вводить механізми міжрівневого та внутрішньорівневого узгодження рішень (узгодження рішень як між різними рівнями ієрархічної системи управління, так і між елементами одного рівня), визначає умови координованості, формує рекурентні цільові нерівності та аналітичні умови збіжності адаптивних процесів.

Вірогідність отриманих результатів підсилюється тим, що теоретичні побудови не залишаються на рівні загальних схем, а перевіряються на серії розрахункових експериментів із варіюванням параметрів зовнішнього впливу, реакції системи, інтенсивності потоку, запізнення в каналах управління та параметрів цільових обмежень. Для оцінювання ефективності повітряного руху за показниками довжини маршруту, витрат пального та часу використання повітряного простору використано структуру повітряного простору України, 14 аеропортів і аеродромів, характеристики безпілотних літальних апаратів RQ-4 Global Hawk та Bayraktar TB2. Отримані результати дозволяють простежити зв'язок між зміною умов функціонування системи, кількістю виходів за встановлені обмеження та часом навчання адаптивного механізму.

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

Достовірність результатів дисертації визначається коректним вибором математичного апарату, послідовним переходом від постановки завдання до синтезу методів та їх експериментальної перевірки, а також узгодженістю проміжних і підсумкових висновків. Побудовані моделі мають предметну інтерпретацію через параметри повітряного простору, локальні цілі користувачів,

керуючі впливи та зовнішні збурення, що дозволяє оцінювати не лише формальні властивості алгоритмів, а й їх можливість використання в системах планування.

Наукова новизна роботи має взаємопов'язаний модельний, методичний та алгоритмічний характер. До найбільш суттєвих результатів слід віднести: вперше розроблену модель прийняття рішень з управління польотами пілотованої та безпілотної авіації в системі формування потоків повітряного руху, що поєднує механізми координації, адаптації, виявлення та ідентифікації проблемних ситуацій; удосконалений метод координації, який 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; модель вибору параметрів підлаштування адаптивного регулятора, що дістала подальшого розвитку шляхом послідовного врахування динамічних властивостей об'єкта, обмежень керування та запізнення.

Суттєвою позитивною рисою є те, що зазначені результати утворюють не набір ізольованих рішень, а єдиний інструментарій: координаційний контур забезпечує узгодження цілей і локальних дій, а адаптивний контур – перебудову управління за зміни внутрішніх і зовнішніх умов. Така композиція відповідає поставленій меті дослідження і забезпечує конструктивний перехід від загальної концепції інтегрованого повітряного простору до математично формалізованих процедур прийняття рішень.

4. Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертаційної роботи представлені у 11 наукових працях, серед яких 6 статей у наукових фахових виданнях України, 1 розділ у колективній монографії та 4 матеріали міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій. Тематика публікацій охоплює постановку завдання формування потоків в інтегрованому повітряному просторі, координацію та адаптацію процесів прийняття рішень, моделювання в умовах невизначеності, питання децентралізованого управління безпілотними системами та окремі прикладні аспекти використання сучасних методів підтримки прийняття рішень.

Результати дослідження апробовано на чотирьох наукових конференціях. У дисертації наведено розподіл особистого внеску здобувача у працях, виконаних у співавторстві, що дає змогу ідентифікувати результати, отримані безпосередньо автором. За змістом публікації охоплюють основні етапи дисертаційного дослідження та відображають положення, які становлять його наукову новизну і практичне значення.

5. Практичне значення одержаних результатів дослідження

Практичне значення дисертації полягає у можливості використання розроблених моделей, методів та алгоритмів для автоматизації формування потоків повітряного руху в інтегрованому повітряному просторі, виявлення

проблемних ситуацій, координації рішень різних рівнів управління та адаптації структури використання повітряного простору до динамічних змін обстановки.

У четвертому розділі наведено кількісні результати, які характеризують потенційний ефект запропонованого підходу: для досліджуваного умовного сценарію одержано скорочення сумарного часу зайнятості повітряного простору в межах вільних маршрутів до 3 год 42 хв та зниження витрат авіаційного пального на 8–13 %, що в перерахунку на прийняті автором ціни 2026 року оцінено приблизно у 1,7 млн гривень на один умовний виліт важкого безпілотного літального апарату. Окрему практичну цінність становлять рекомендації щодо введення до структури ОЦВ СОПР контурів координації та адаптації, а також інформаційних і управлінських підрозділів для виявлення, маршрутизації та вирішення проблемних ситуацій.

Практичну спрямованість результатів підтверджено актами впровадження у Центральному науково-дослідному інституті Збройних Сил України, Центральному управлінні військової освіти і науки Генерального штабу Збройних Сил України та ТОВ "Системний електронний експорт". Зазначене свідчить про затребуваність запропонованих рішень під час розроблення методичного апарату оцінювання процесів управління, перспективних підсистем підтримки прийняття рішень і рекомендацій щодо застосування безпілотних систем.

6. Оцінка ідентичності анотації та основних положень дисертації

Анотація українською та англійською мовами в цілому адекватно відображає зміст дисертаційної роботи. У ній послідовно представлено актуальність дослідження, загальну постановку наукового завдання, зміст чотирьох розділів, основні положення наукової новизни, характер проведеної експериментальної перевірки та практичні результати.

Наведені в анотації положення щодо моделі прийняття рішень, методу координації, методу адаптації та структури адаптивного регулятора відповідають змісту відповідних розділів дисертації. Структурно анотація відповідає логіці викладу матеріалу від аналізу проблематики до експериментальної оцінки та рекомендацій. Істотних змістовних розбіжностей між анотацією та основними положеннями дисертації не встановлено.

7. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу, її теоретичну обґрунтованість, практичну спрямованість та одержані автором результати, вважаю за доцільне висловити окремі зауваження і побажання, які мають переважно уточнювальний та рекомендаційний характер.

По-перше, у практичному значенні результатів дисертації (стор. 30) зазначається, що розроблені методи, модель та алгоритми дозволяють вирішувати завдання формування потоків повітряного руху в режимі реального масштабу часу. Водночас в експериментальній частині основна увага приділена часові навчання та перенавчання адаптивного механізму t^*. Для більш повного

підтвердження саме режиму реального часу доцільно було б додатково навести характеристики обчислювальної продуктивності програмної реалізації: тривалість одного циклу розрахунку керуючого впливу та її залежність від розмірності задачі й використовуваних обчислювальних засобів.

По-друге, на стор. 193 зазначено, що розрахунки щодо розподілу повітряного простору виконувалися із застосуванням спеціалізованої програми Jeppesen FliteMap. Для забезпечення повної відтворюваності обчислювального експерименту доцільно було б додатково зазначити версію програмного забезпечення, стан навігаційної бази даних та вихідні припущення, за якими формувалися маршрутні й паливні характеристики. Таке уточнення має методичний характер і не впливає на встановлені автором закономірності.

По-третє, у висновках до четвертого розділу та загальних висновках зазначено, що за зміни зовнішніх умов механізм адаптації знаходить рішення приблизно за 3 хвилини. Водночас наведені в роботі результати експериментів показують, що час адаптації t^* залежить від умов функціонування системи та параметрів експерименту. Тому доцільно було б уточнити, що значення близько 3 хвилин характеризує конкретний досліджений режим, у якому отримано $t^*=183$ *с*, а не є універсальною часовою характеристикою механізму адаптації для всіх можливих умов. У відповідному експерименті після цього часу адаптації планування надалі здійснювалося в межах установлених обмежень.

По-четверте, під час формування адаптивного регулятора на стор. 206 для параметра обмеження керування *Cu* прийнято значення 45%. Наведені експериментальні результати підтверджують працездатність механізму за такого значення, однак окремий аналіз чутливості показників m^* та t^* до зміни *Cu* не проводиться. Доцільно було б у подальшому оцінити вплив цього параметра на швидкість адаптації та кількість виходів за встановлені обмеження, що могло б додатково обґрунтувати вибір параметрів регулятора для різних умов функціонування.

По-п'яте, автор здійснює чисельне моделювання та верифікацію запропонованого математичного апарату на прикладі структури повітряного простору України. Наступним логічним етапом розвитку отриманих результатів могла б стати їх валідація із залученням масивів фактичних даних про реальні процеси планування та перерозподілу повітряного простору або в умовах спеціалізованого імітаційного стенду за участю персоналу органів управління. Це дозволило б додатково оцінити вплив людського фактора, інформаційних затримок та організаційних процедур, які в математичній моделі подаються у формалізованому вигляді.

Наведені зауваження не мають принципового характеру, не ставлять під сумнів достовірність отриманих результатів, сформульовані положення наукової новизни та практичне значення дисертаційної роботи. Вони переважно стосуються уточнення меж застосовності окремих кількісних оцінок, підвищення

відтворюваності проведених експериментів та визначення перспектив подальшої експериментальної перевірки запропонованих методів і моделей.

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.

Робота характеризується логічною структурою, належним рівнем математичної формалізації, взаємопов'язаністю моделі координації та адаптивного контуру, наявністю чисельної й експериментальної перевірки та практично орієнтованих рекомендацій. Наведені в дисертації результати мають наукову новизну, достатній ступінь обґрунтованості та практичне значення. За матеріалами дисертації та наведеними автором відомостями про публікації й особистий внесок підстав для висновку про порушення принципів академічної доброчесності не встановлено.

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

Провідний науковий співробітник наукового центу Повітряних Сил університету, кандидат військових наук, старший науковий співробітник

Ігор ДЗЕВЕРІН

19.08.2026

ЗАСВІДЧУЮ

Заступник начальника Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба з наукової роботи, заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор

полковник

Костянтин ВАСЮТА

19.08.2026