

ВІДГУК
офіційного опонента,
доктора технічних наук, професора *Азарскова Валерія Миколайовича*
на дисертацію
Мамчура Юлія Валерійовича
за темою: «Зворотні задачі динаміки в тренажерному комплексі
дистанційно пілотованого літального апарату
екологічного спостереження»,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.07.14 «Авіаційно-космічні тренажери»

Актуальність теми дисертації.

Відомо, що у сучасних умовах особливе місце серед робототехнічних систем займають дистанційно пілотовані літальні апарати. Результат стрімкого розвитку безпілотної авіації – це залучення півсотні країн світу в розробку і серійне виробництво безпілотних літальних апаратів різного класу і призначення. Причому «безпілотники» стали активно застосовуватися, особливо в задачах екологічного моніторингу навколишнього середовища. На сьогоднішній день в нашій країні створюється чимало безпілотних авіаційних комплексів різного призначення, в тому числі для екологічного моніторингу.

Проблему підвищення рівня професійної підготовки операторів по управлінню БПЛА і скороченню витрат по їх підготовці неможливо вирішити без широкого застосування спеціальних тренажерів.

У теперішній час проблема підвищення ефективності навчання пілотів (операторів БПЛА) безумовно є актуальною. Це пов'язано з постійним ускладненням процесу управління літальними апаратами, в тому числі і безпілотними. Аналіз літератури свідчить, що при стрімкому розширенні поля діяльності безпілотних літальних апаратів має місце гостра нестача кваліфікованих операторів. При наявності високого попиту на БПЛА у світі

фактично відсутня розвинена система підготовки фахівців-операторів, як самого апарату, так і цільової апаратури. Але на сьогодні ще не налагоджено виробництво відповідного обладнання тренажерів.

Саме тому, актуальним є наукове завдання, яке полягає в удосконаленні інформаційного та програмного забезпечення спеціального тренажерного комплексу дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу. Тому тема дисертаційної роботи Мамчура Ю.В., яка присвячена рішення цього наукового завдання, що має істотне значення для розвитку галузі створення тренажерів БПЛА є актуальною.

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

Автор добре розуміє специфіку задачі, що розглядається у дисертації та коректно формулює її постанову.

Системний аналіз існуючих тренажерних комплексів для підвищення ефективності підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів, аналіз структури тренажерного комплексу та його алгоритмічного забезпечення при управлінні польотом безпілотного літального апарата екологічного спостереження, аналіз особливостей вимог до тренажерного комплексу управління польотом ДПЛА екологічного спостереження, аналіз критеріїв ефективності навчання на тренажері ДПЛА екологічного спостереження та шляхів та напрямків підвищення якості підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження, які виконано досить кваліфіковано, склали основу розробки науково-методичного апарату синтезу тренажерного контуру навчання для керування безпілотного апарату на основі вирішення зворотних задач динаміки.

Для вирішення поставлених у дисертаційній роботі завдань використані: теорія автоматичного та ергатичного керування, системного аналізу для визначення структури тренажерного комплексу екологічного моніторингу; методи математичного моделювання і функціонального аналізу; методи

вирішення зворотних задач динаміки для синтезу алгоритмічного забезпечення моделюючого тренажерного комплексу. Також використовувались теорія матриць, інтегрального числення та методи імітаційного моделювання з використанням комп'ютерної програми Matlab для оцінки ефективності підготовки операторів тренажерного комплексу.

Розроблені автором практичні рекомендації ґрунтуються на розробленому ним науково-методичному апараті, який є достатньо чутливим для відповідних змін вихідних даних.

Відмічаю, що наукові положення та рекомендації, які сформульовані у висновках по чотирьом розділах зроблено науково обґрунтовано і логічно за результатами аналізу, узагальнення відомих та отриманих результатів, теоретичних досліджень, а також експериментальної перевірки даних, що використовувалися у процесі імітаційне моделювання та оцінка ефективності підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження.

Достовірність одержаних результатів.

Достовірність наукових положень, які захищаються здобувачем, висновків і рекомендацій підтверджується їх відповідністю методології дослідження поставленої проблеми; повнотою розгляду на теоретичному і експериментальному рівнях об'єкту дослідження, що охоплюють його змістовні і процесуальні характеристики; застосуванням комплексу методів, адекватних предмету дослідження.

Достовірність і обґрунтованість результатів дисертації ґрунтуються на:

- узгодженості з наявними результатами інших авторів, які опубліковані у вітчизняній та зарубіжній літературі;
- даних про успішне практичне застосування запропонованих теоретичних та прикладних основ моделювання та оцінка ефективності підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження.

Наукова новизна та важливість результатів, які одержані автором в дисертації, полягають в наступному:

У результаті проведених досліджень вирішено наукове завдання, яке полягає в удосконаленні інформаційного та програмного забезпечення спеціального тренажерного комплексу дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу.

Метою роботи визначено підвищення ефективності процесу підготовки оператора дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження за рахунок удосконалення інформаційного та програмного забезпечення спеціального тренажерного комплексу ДПЛА.

Для досягнення поставленої мети автором поставлено та вирішено наступні завдання:

- Здійснено аналіз створення спеціалізованих тренажерних комплексів щодо підвищення ефективності підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження.
- Розроблено методи створення спеціалізованих підсистем управління тренажерних комплексів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу.
- Розроблено модель контуру керування спеціалізованого тренажерного комплексу ДПЛА екологічного моніторингу, яка заснована на використанні зворотних задач динаміки.
- Розроблено методику проведення екологічного моніторингу об'єктів критичної інфраструктури із застосуванням спеціалізованого тренажера дистанційно пілотованих літальних апаратів.
- Розроблено методику проведення навчання оператора ДПЛА екологічного спостереження об'єктів критичної інфраструктури на спеціальному тренажерному комплексі дистанційно пілотованих літальних апаратів.
- Розроблено науково-практичні рекомендації, які базуються на результатах імітаційного моделювання та оцінювання ефективності підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження.

Автором дисертації визначено, що підготовка пілотів на авіаційному тренажері екологічного моніторингу це один з найважливіших елементів забезпечення безпечної експлуатації ДПЛА. Вона дозволяє мінімізувати негативний вплив від людського фактору, тобто звести до мінімуму можливість помилкових дій оператора ДПЛА екологічного моніторингу. Тренажерна підготовка є специфічним етапом професійної підготовки майбутніх операторів ДПЛА екологічного спостереження.

В роботі визначені завдання екологічного моніторингу і типи перспективних спеціалізованих тренажерів ДПЛА екологічного моніторингу.

Обґрунтовано необхідність підвищення ефективності навчання на тренажері пілотів ДПЛА екологічного спостереження.

Розроблено новий підхід до навчання пілотів ДПЛА екологічного спостереження на тренажері, який полягає в розробці автоматизованої системи управління навчанням управління ДПЛА відповідно до завдань екологічного спостереження і обліку рівня початкової підготовки та індивідуальних якостей пілота.

Розроблено два алгоритми оптимізації навчальних планів пілотів ДПЛА екологічного спостереження на тренажері, перший з яких заснований на розрахунку коефіцієнта важливості за результатами аналізу екологічної безпеки, а другий – на використанні функціоналу ефективності одиничного тренінгу.

Підготовка операторів на тренажерах екологічного моніторингу дає широкі можливості в дослідженні нових прогресивних методів і прийомів навчання, дозволяє робити аналіз допущених помилок в техніці пілотування і експлуатації систем ДПЛА екологічного моніторингу. Існуюча модель тренажерної підготовки передбачає першочергове вирішення завдання формування автоматизованих сенсомоторних дій рефлекторного рівня. В міру ускладнення систем управління ДПЛА екологічного спостереження підвищуються роль і значення інтелектуальних професійно важливих якостей операторів, що вимагає відповідної корекції їх професійної підготовки.

- Розроблено алгоритм ідентифікації персональних показників швидкості освоєння простих і складних навичок, показників ступеня, який змінюється в залежності від індивідуальних особливостей оператора при освоєнні простих і складних навичок на підставі генетичного алгоритму.
- Розроблено методику автоматизованого формування навчально-тренувальних операцій. Технологічне рішення даної задачі дозволяє сформуванню навчально-тренувальних операцій для пілотів ДПЛА з урахуванням його поточного рівня освоєння операційних функцій екологічного моніторингу, індивідуальних особливостей щодо сприйняття інформації.
- Проведено обґрунтування і розроблена узагальнена структурна модель автоматизованої системи управління тренажером ДПЛА. Відмінною особливістю якої є наявність в ній спеціальної бази знань конкретної предметної області, яка призначена для формування моделі управління процесом навчання операторів ДПЛА екологічного спостереження, метою доведення існуючого у нього рівня освоєння операційних функцій до необхідного.

При визначенні характерних властивостей тренажерного комплексу, що впливає на вирішення поставленого завдання, доцільно врахувати особливості призначення та застосування саме дистанційно пілотованих літальних апаратів. Це визначається тим, що апаратура тренажера (тренажерних комплексів) повинна відповідати функціональному призначенню ДПЛА. При цьому тенденції створення, розвитку та удосконалення тренажерних комплексів повинні відслідковувати тенденції напрямків застосування ДПЛА в сучасних умовах.

Апаратура тренажерного комплексу ДПЛА повинна забезпечувати відпрацьовування оператором наступних дій: забезпечення застосування ДПЛА екологічного спостереження в простих і складних метеорологічних умовах; ручний зліт і посадка (приземлення) ДПЛА (штатний або аварійний режим за

командою з пункту управління); керування польотом літака за заданою програмою екологічного моніторингу з можливістю зміни польотного завдання; забезпечення безпеки повітряного руху та безпеки об'єктів спостереження; можливість тренування діям в умовах виникнення надзвичайних ситуацій.

Проведений аналіз свідчить, що сьогодні на українські ДПЛА і БПЛА можуть бути покладені більш широкі завдання в інтересах національної безпеки, які потрібно відпрацьовувати на спеціалізованих тренажерах ДПЛА: підготовка даних, що стосуються терористичних груп при плануванні антитерористичних операцій (як приклад можливої перспективної системи може розглядатися система “високоточна зброя” (можливе застосування – боротьба з терористами); забезпечення заходів щодо контролю за судноплавством і недопущення браконьєрства і терористичних акцій в морській зоні.

Здійснено синтез математичних моделей дистанційно пілотованих літальних апаратів та визначено особливості їх параметрів. Для синтезу комплексного тренажера ДПЛА екологічного моніторингу запропонована технологія врахування аеродинамічних характеристик літака, яка передбачає три етапу: перший – врахування характеристик (параметрів) самого літака (модель датчиків первинної інформації, електроприводів органів керування) та динаміки його руху; другий – врахування параметрів оточуючого середовища: температура, густина повітря, тиск, турбулентна атмосфера (модель Драйдена); третій – врахування особливостей льотчика-оператора ДПЛА.

Для синтезу тренажерного комплексу дистанційно пілотованого літального апарату екологічного моніторингу запропоновано застосувати метод зворотних задач динаміки, який передбачає послідовне виконання наступних процедур: завдання бажаної траєкторії руху ДПЛА $X_n^0(t)$, визначення потрібних керуючих сил F для реалізації цієї траєкторії руху та визначення керуючих функцій (відхилення органів керування) для створення таких

сил $U_n^0(t)$. Цю технологію застосовано для синтезу програмного комплексу тренажера ДПЛА із заданими динамічними властивостями.

У розвитку концепцій алгоритмічного підходу – зворотних задач динаміки для функціонально-стійких бортових інформаційно-керуючих комплексів, отримано аналітичний вираз для керуючої сили. Отримано аналітичний вираз оцінювання якості процесу керування при нештатних ситуаціях з алгоритмом на основі рішення зворотної задачі динаміки, запропоновано і обґрунтовано структури алгоритму керування на тренажері із заданими динамічними властивостями на основі вирішення зворотних задач динаміки. Отримано алгоритм керування в стохастичній постановці при стабілізації ДПЛА на оперативно програмованій траєкторії (потрібної траєкторії для здійснення екологічного моніторингу) на основі рішення зворотної задачі динаміки, що забезпечує мінімум дисперсії вихідних координат. Структурна схема алгоритму представлено на рис. 2.9. Структурні схеми системи керування кутами тангажу, крену, ристання представлено на рис. 2.16 – 2.18.

Запропонована технологія інтелектуального розвантаження оператора тренажера ДПЛА при проведенні екологічного спостереження об'єктів критичної інфраструктури. Ця технологія передбачає застосування існуючих методів розподілу функцій управління між оператором та автоматичними пристроями, узгодження психофізіологічних характеристик оператора та автоматичних пристроїв, оцінку психофізіологічної напруженості оператора, і вимагає розроблення нових адекватних методів, що враховують процеси взаємодії людини і технічних пристроїв на більш високому рівні – інформаційному.

Інтелектуальне розвантаження оператора тренажера ДПЛА здійснюється шляхом підтримки прийняття рішень при проведенні екологічного спостереження об'єктів критичної інфраструктури. Ці рішення стосуються як вибору траєкторії руху так й порядку застосування спеціалізованого обладнання екологічного спостереження. Пошук ефективного рішення є в

прагненні пошуку екстремуму (для визначеності до мінімізації) значень показників якості.

Запропонована методика синтезу алгоритмів системи директорного керування для оператора ДПЛА екологічного спостереження при рішенні завдань моніторингу декількох об'єктів.

Директорне керування ДПЛА запропоновано здійснювати з однією з двох форм:

А. На програмному дисплеї імітатора візуальної обстановки тренажера відображаються положення органів керування: програмні та реальні. При тренуванні на тренажері завдання оператора полягає у відхиленні органів керування (керма) ДПЛА таким чином, щоб усунути (ліквідувати) різницю в положеннях програмного та реального органів керування. Включення бортового обладнання моніторингу у визначений час здійснюється натисканням на кнопку включення відповідної апаратури за відповідним сигналом. Цю форму директорного керування ДПЛА доцільно застосовувати на початковому етапі (первинна підготовка) підготовки оператора ДПЛА екологічного спостереження.

Б. В імітаторі пілотажно-навігаційної системі тренажера відображаються задані (програмні) параметри траєкторії руху та час включення (застосування) моніторингової апаратури. Форма візуалізації може відповідати візуалізації директорного керування в пілотажно-навігаційних комплексах сучасних літальних апаратів. При тренуванні на тренажері завдання оператора полягає у відхиленні органів керування (керма) ДПЛА таким чином, щоб усунути (ліквідувати) різницю в положеннях програмного та реального положень (відхилень) траєкторних параметрів руху. Включення бортового обладнання спостереження у визначений час також здійснюється натисканням на кнопку включення відповідної апаратури за відповідним сигналом.

При синтезі тренажера ДПЛА екологічного моніторингу доцільно врахувати та реалізувати в програмному забезпеченні тренажера особливості відпрацювання специфічних завдань екологічного спостереження (нештатних,

аварійних ситуацій). Такими завданнями є попередження та моніторинг пожеж, хімічних та радіаційних забруднень, вибухів, прояв екологічного тероризму тощо. Тому у тренажері ДПЛА екологічного спостереження доцільно передбачити можливість відпрацювання дій оператора з контролю пожеженобезпечної ситуації. При створенні програмного забезпечення спеціалізованого тренажеру потрібно враховувати особливості реальної обстановки в імітаторі візуальної обстановки тренажеру.

В роботі удосконалено узагальнену методику забезпечення функціональної стійкості тренажерного комплексу ДПЛА, яка відрізняється від існуючих використанням системи підтримки прийняття рішень для виявлення позаштатних ситуацій під дією зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. Реалізація даної методики дозволить підвищити достовірність виявлення нештатної ситуації та ефективність реагування екіпажу. Під показниками функціональної стійкості тренажерного комплексу ДПЛА розуміється оперативність прийнятих рішень пілотом та їх достовірність.

Запропонована структурно-функціональна модель тренажера, яка забезпечує реалізацію всіх функцій ДПЛА екологічного спостереження. Слід зазначити ключові відмінності представленої структурно-функціональної моделі від існуючих аналогів. У представленій структурно-функціональній моделі передбачено модуль автоматичної адаптації. Його основне призначення – забезпечити автоматичне підстроювання курсу відповідно до ступеня засвоєння матеріалу з урахуванням вимог до фахівців наземних служб забезпечення польотів і сучасних методів навчання.

Імітація надзвичайних ситуацій передбачає їх моделювання, дозволяючи оператору отримувати навички з пошуку алгоритму виходу, але цим його функції не обмежуються. При цьому забезпечується також робота з непередбаченими надзвичайними ситуаціями. Тому вихід з нештатних ситуацій вимагає формування нового алгоритму виходу.

Запропоновано склад тренажерного комплексу для професійної підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження, як індивідуального

та колективного тренажера для підготовки операторів групи ДПЛА екологічного спостереження. Визначено завдання для спеціального програмного забезпечення двох типів автоматизованих робочих місць керівника навчання (інструктора) і того, хто навчається (оператора).

Запропонована технологія на базі науково-методичного апарату побудови індивідуальної освітньої траєкторії при навчанні з використанням тренажера ДПЛА екологічного моніторингу та дій в нештатних ситуаціях.

З точки зору поставленого завдання модель розвитку надзвичайної ситуації повинна описувати процес послідовного прийняття рішень оператором щодо виходу з надзвичайної ситуації. Такий підхід обумовлений такими причинами: оператор тренажера має на основі аналізу ситуації, що виникла сформулювати мету виходу з надзвичайної ситуації, або, іншими словами, вибрати стратегію виходу з надзвичайної ситуації; в результаті прийнятого рішення стан об'єкта, на якому сталася надзвичайна ситуація, змінюється, і модель повинна описувати можливі результати цього рішення; модель надзвичайної ситуації повинна дозволяти оцінювати цільовий результат всіх можливих рішень (ціну рішень) і можливість реалізації результатів цих рішень; модель повинна дозволяти приймати рішення за різними критеріями, що описує різні переваги (значимість виконання процесу і можливість його перенесення, ризик виникнення аварії, наслідки невиконання процесу і т.д.).

Запропонована методика оцінювання наслідків можливих рішень щодо виходу з нештатної ситуації, вибору і обґрунтуванню критерію прийняття рішень щодо виходу з нештатної ситуації.

Запропонована методика оцінювання достовірності прийнятого рішення і часу реакції оператора дистанційно пілотованого літального апарату при виникненні нештатної ситуації (розрахунок показників своєчасності (оперативності) і достовірності прийнятих рішень).

Проведено моделювання середнього часу реагування на нештатну ситуацію із критичними відмовами від кількості одночасно введених відмов для певної нештатної ситуації. Моделювання проводилося при кількості

одночасно введених критичних відмов від 1 до 3. Критичні відмови вимагають негайних дій екіпажу, можуть призвести до авіаційних подій, коли подальший політ в штатному режимі неможливий. Проте можливим є втрата ДПЛА екологічного спостереження.

За результатами імітаційного моделювання розраховано середній час реагування на нештатну ситуацію із критичними відмовами $T_{кв}$ в залежності від кількості K одночасно введених відмов для певної нештатної ситуації, що свідчить про те, що досягнуто підвищення показників функціональної стійкості комплексу управління ДПЛА. Це забезпечує ефективність усунення нештатних ситуацій та дозволяє підвищити достовірність прийняття рішень оператором ДПЛА на 12–20 %.

За результатами моделювання на основі використання тренажерного комплексу ДПЛА досягнуто підвищення показників функціональної стійкості, що забезпечує усунення нештатних ситуацій та дозволяє говорити про підвищення достовірності прийняття рішень пілотом ДПЛА на 22–35 % за рахунок використання системи підтримки прийняття рішень в процесі функціонування під час пошуку рішень в нештатних ситуаціях виникнення збоїв та некоректностей в розподілених базах знань.

Таким чином, на основі виконаних розрахунків та проведених досліджень отримано такі нові результати.

ВПЕРШЕ:

1. Розроблено методи створення спеціалізованих підсистем управління тренажерних комплексів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу, які враховують критерії ефективності навчання та дозволяє підвищити ефективність підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження.

2. Розроблено модель контуру керування спеціалізованого тренажерного комплексу ДПЛА екологічного моніторингу, яка заснована на використанні зворотних задач динаміки та дозволяє описати процеси траєкторного управління та стабілізації літального апарату.

УДОСКОНАЛЕНО:

Методику проведення екологічного моніторингу об'єктів критичної інфраструктури із застосуванням спеціалізованого тренажеру дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу, яка на відміну від відомих враховує технологію інтелектуального розвантаження оператора тренажера та надає можливість проведення екологічного спостереження декількох об'єктів в одному польоті за рахунок застосування алгоритмів системи директорного керування на тренажері;

ОТРИМАЛИ ПОДАЛЬШИЙ РОЗВИТОК:

Застосування методів імітаційного моделювання та оцінювання ефективності підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження, що дозволяє покращити якість підготовки оператора та його дій у нештатних ситуаціях на тренажерному комплексі екологічного моніторингу.

Аргументування та критичне оцінювання порівняно з відомими рішеннями запропонованих автором нових рішень.

Найбільш повний і глибокий психологічний аналіз особливостей операторської діяльності на тренажерах представлено в ряді фундаментальних робіт В.М. Азарскова, Л.М. Блохіна, Г.Л. Баранова, В.Ф. Венди, В.Г. Денисова, В.П. Зинченка, В.В. Козака, О.В. Коломійцева, В.О. Кондратенкова, О.А. Кононова, Б.Ф. Ломова, О.А. Машкова, Е.А. Милеряна, В.А. Тарана, О.О. Терешкина, В.А. Пономаренка, В.Є. Саваневича, В.М. Сінеглазова, В.М. Тупкала, Ю.Г. Фокина, В.І. Христича та ін. Аналіз літератури показав, що на сьогоднішній день напрацьовано різні методи, механізми, принципи і методики визначення стану навколишнього середовища при проведенні екологічного моніторингу з використанням аерокосмічних технологій. Це підтверджується проведеними дослідженнями і працями в області застосування аерокосмічних технологій для завдань екології та природокористування таких вчених, як Азаров С.І., Аверин Г.В., Белявський Г.О., Богомья В.І., Бондар О.І., Бугор А.Н., Бусигин Б.С., Ващенко В.М., Волошин В.І., Гершензон В.Е.,

Гонин Г.Б., Горбулін В.П., Драновский В.І., Ємець М.А., Лялько В.І., Машков О.А., Мокин В.Б., Мосов С.П., Нестеренко О.П., Пашков Д.П., Петрук В.Г., Попов М.О., Присяжний В.І., Ребрин Ю.К., Рудько Г.І., Соколов Ю.М., Станкевич С.А., Тарарико О.Г., Федоровський О.Д., Фролов В.Ф., Ходоровский А.Я., Чумаченко С.М., Шапар А.Г., Шмандий В.М., Шматков Г.Г., Яцків Я.С. та інші.

Проведений аналіз свідчить, що незважаючи на чисельні досягнення в даній сфері залишається невирішеним ряд важливих комплексних прикладних задач стосовно вибору ефективних методів синтезу тренажерів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу, формуванню вимог до апаратного та програмного забезпечення тренажних комплексів, систем візуалізації зовнішньої обстановки та моделювання нештатних (аварійних) ситуацій.

Порівняльний аналіз з відомими рішеннями запропонованих автором нових рішень дозволяє визначити нові підходи до створення моделей та методів інформаційного та програмного забезпечення спеціалізованих тренажерів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження.

Практична значимість та важливість для галузі полягає в тому, що в роботі запропоновано методи, моделі, алгоритми, що дозволяють синтезувати апаратне та програмне забезпечення спеціалізованих тренажерів ДПЛА екологічного моніторингу та підвищити ефективність навчання операторів за рахунок управління ДПЛА з урахуванням особливостей об'єкта моніторингу та індивідуальних особливостей пілотів в нештатних (аварійних) ситуаціях.

Запропонований науково-методичний апарат дозволяє знизити обчислювальну складність та покращує можливості спеціалізованого тренажерного комплексу в порівнянні з існуючими тренажерами ДПЛА.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у Національному центрі управління та випробувань космічних засобів, Льотній академії Національного авіаційного університету, м. Кропивницький, Науково-виробничій

впроваджувальній фірмі «Геотехнологія», м. Київ, а також у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління Мінприроди України, м. Київ. Дані про впровадження підтверджено відповідними документами.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації вимогам, затвердженим МОН України.

У *вступі* обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні завдання дослідження, наведено відомості щодо зв'язку роботи з науковими програмами і темами. Подано стислу анотацію отриманих і дисертації результатів, висвітлено їх наукову новизну і практичну значимість, відзначено особистий внесок здобувача у спільних публікаціях, наведено кількісні показники стосовно опублікованих наукових праць, структури та обсягу дисертації.

У *першому розділі* «АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТРЕНАЖЕРНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТОРІВ ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТОВАНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ» здійснено аналіз структури тренажерного комплексу та його алгоритмічного забезпечення при управлінні польотом безпілотного літального апарата екологічного спостереження. Визначено особливості вимог до тренажерного комплексу управління польотом ДПЛА екологічного спостереження. Запропоновано критерії ефективності навчання на тренажері ДПЛА екологічного спостереження. Визначено шляхи та напрямки підвищення якості підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження. Зроблено постанову наукового завдання та формалізація задачі дослідження.

У *другому розділі* «РОЗРОБКА НАУКОВО-МЕТОДИЧНОГО АПАРАТУ СИНТЕЗУ ТРЕНАЖЕРНОГО КОНТУРА НАВЧАННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНОГО АПАРАТУ НА ОСНОВІ ВИРІШЕННЯ ЗВОРОТНИХ ЗАДАЧ ДИНАМІКИ» враховано особливості ДПЛА при синтезу тренажерного комплексу екологічного спостереження. Синтезовано математичні моделі

дистанційно-пілотованих літальних апаратів та особливості визначення їх параметрів. Синтезовано систему стабілізації руху ДПЛА на програмних траєкторіях. Зроблено оцінку якості процесу керування з алгоритмом на основі вирішення зворотних задач динаміки. Синтезовано програмний комплекс тренажера ДПЛА із заданими динамічними властивостями. Надано оцінку ефективності алгоритму стабілізації ДПЛА на програмній траєкторії з алгоритмом на основі вирішення зворотних задач динаміки.

У розділі 3 «МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ТРЕНАЖЕРІ ДПЛА ЕКОЛОГІЧНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ» розроблено технологію інтелектуального розвантаження оператора тренажера ДПЛА при проведенні екологічного спостереження об'єктів критичної інфраструктури. Зроблено формалізацію задачі побудови оператором оптимальних маршрутів руху ДПЛА для проведення екологічного спостереження декількох об'єктів в одному польоті. Синтезовано алгоритми системи директорного керування для оператора ДПЛА екологічного спостереження. Запропоновано реалізацію алгоритму системи директорного керування на тренажері ДПЛА екологічного спостереження.

Четвертий розділ «ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТОРІВ ДПЛА ЕКОЛОГІЧНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ» присвячено розробки моделі тренажерного комплексу для професійної підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження. Запропоновано склад тренажерного комплексу для професійної підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження. Проведено імітаційне моделювання та оцінювання якості підготовки оператора ДПЛА на тренажерному комплексі екологічного спостереження. Розроблено науково-методичний апарат підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження до дій в нештатних ситуаціях. Здійснено оцінку ефективності прийнятого рішення і часу реакції оператора дистанційно пілотованого літального апарату при виникненні нештатної ситуації.

У **висновках** відтворено основні результати дисертаційного дослідження, що відображають запропоновані моделі та методи інформаційного та програмного забезпечення спеціалізованих тренажерів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження.

У **додатках** наведено: список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію матеріалів дисертації; акти впровадження; автономні тренажери підготовки операторів безпілотних літальних апаратів; Програмний комплекс розробки маршруту і польотних завдань на тренажері ДПЛА екологічного спостереження; Завдання екологічного моніторингу для відпрацювання на спеціалізованих тренажерах ДПЛА екологічного спостереження; Рубрикатор завдань у сфері екологічного спостереження за допомогою ДПЛА.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів основної частини, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи 278 сторінок, у тому числі: 175 сторінок друкованого тексту (145 сторінок основного тексту, 30 окремих сторінок з рисунками і таблицями), анотація на 12 сторінках, список використаних джерел на 15 сторінках (133 найменувань), додатки на 57 сторінках.

Оцінка мови та стилю викладення дисертації і автореферату. Мова та стиль дисертації та автореферату свідчать про вміння автора аргументовано викладати свої думки та, у цілому, відповідають вимогам МОН України. Сформульовані у дисертаційній роботі основні положення, висновки та рекомендації викладені у логічній послідовності та доказовій формі, що значно сприяє усвідомленню думок автора. Всі розділи дисертації мають внутрішню єдність і завершеність. Змістовне наповнення підрозділів роботи відповідає змісту визначених розділів.

Отримані підсумкові результати дисертації співпадають із загальною метою і конкретними науковими завданнями, сформульованими у вступі.

В цілому, дисертаційна робота сприймається як кваліфікаційна закінчена наукова праця, що містить нові наукові результати.

Підтвердження повноти викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях.

Основні наукові і практичні результати, що отримані в ході дисертаційного дослідження, опубліковано з необхідною повнотою у 19 наукових працях. Основні наукові положення викладено в 8 наукових статтях, які опубліковані у спеціалізованих фахових виданнях. За матеріалами виступів на науково-технічних конференціях опубліковано 7 тез доповідей. Додатково результати досліджень відображені в статтях

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації. Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації і дає повне уявлення про отримані результати дослідження та їх наукову новизну і практичну значимість.

Відмічаю в цілому науково-коректний стиль викладення матеріалів дисертації. Назва роботи відповідає суті роботи, яка відповідає паспорту спеціальності 05.07.14 «Авіаційно-космічні тренажери».

Недоліки

У якості недоліків у роботі потрібно відмітити наступні.

1. Метою дослідження, судячи з роботи, визначено підвищення ефективності процесу підготовки оператора дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження за рахунок удосконалення інформаційного та програмного забезпечення спеціального тренажерного комплексу ДПЛА екологічного моніторингу. Вважаю, що при цьому доцільно було б навести у загальних висновках та тексту автореферату чисельні показники, які засвідчують підвищення ефективності навчання на тренажері саме за рахунок удосконалення імітатора динаміки польоту та застосуванні методів зворотних задач динаміки.

2. У наведеній функціональній схемі моделі тренажера ДПЛА екологічного спостереження не визначено зміст інформаційних потоків та інформації, що обробляється в тренажері.

3. Доцільно було б більш детально визначити пріоритети та переваги запропонованих: електронного інтерактивного підручника; індивідуального тренажера для відпрацювання індивідуальних практичних навичок виконання операцій на тренажері; програмного тренажера для відпрацювання практичних навичок виконання операцій в складі групи ДПЛА екологічного спостереження; підсистеми атестації персоналу; підсистеми підтримки прийняття рішень при виникненні надзвичайних ситуацій; підсистеми інформаційної підтримки професійної діяльності оператора ДПЛА.

4. Бажано було б визначити роль та місце запропонованого напряму удосконалення тренажера дистанційно-пілотованих літальних апаратів у загальній системі екологічного моніторингу навколишнього природного середовища та техногенно небезпечних об'єктів.

5. В роботі запропонована технологія інтелектуального розвантаження оператора тренажера ДПЛА при проведенні екологічного спостереження об'єктів критичної інфраструктури. Бажано було б визначити засоби та технологію інтелектуального розвантаження оператора при здійсненні екологічного моніторингу.

6. Нажаль, в авторефераті не наведено кількісні показники підвищення ефективності навчання на тренажері за рахунок удосконалення застосування методів зворотних задач динаміки. При цьому також бажано було б математично визначити (формалізувати) переваги запропоновано підходу, - використання зворотних задач динаміки в порівнянні з прямими оптимізаційними задачами (по часу, обчислювальним можливостям, точності).

7. Не визначено перелік нештатних (аварійних) ситуацій, які передбачається відпрацьовувати на тренажері.

8. В роботі мають місце окремі стилістичні похибки.

Але, відзначені недоліки не впливають суттєво на головні теоретичні та практичні результати дисертації.

Висновок.

Вивчення дисертаційної роботи, автореферату та опублікованих здобувачем наукових праць дозволяє стверджувати, що дисертаційна робота виконана автором одноосібно, на актуальну тему, представляє собою логічно завершене наукове дослідження, що розв'язує конкретне наукове завдання, свідчить про внесок автора в науку та **відповідає вимогам п. 9, 11, 12-14, 16 «Порядку присудження наукових ступенів» до кандидатських дисертацій**, а здобувач **Мамчур Юлій Валерійович** заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю **05.07.14 «Авіаційно-космічні тренажери»**.

**Офіційний опонент –
завідувач кафедри Аерокосмічних систем
управління Національного авіаційного
університету, доктор технічних наук,
професор, Заслужений працівник
транспорту України, Лауреат
Державної премії України в галузі
науки і техніки і Премії імені
М.К. Янгеля НАН України**



В.М. Азарсков

Підпис проф. Азарскова В.М. засвідчую

Вчений секретар НАУ



Єнчева Г.Г.