

**ДЕРЖАВНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНСТВО УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ЦЕНТР УПРАВЛІННЯ ТА ВИПРОБУВАНЬ**  
**КОСМІЧНИХ ЗАСОБІВ**

**МАМЧУР ЮЛІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ**

УДК 629.735.051:681.004.383(045)

**ЗВОРОТНІ ЗАДАЧІ ДИНАМІКИ В ТРЕНАЖЕРНОМУ КОМПЛЕКСІ**  
**ДИСТАЦІЙНО ПЛОТОВАНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ**  
**ЕКОЛОГІЧНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ**

Спеціальність 05.07.14 «Авіаційно-космічні тренажери»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління Міністерства екології та природних ресурсів України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,  
Заслужений діяч науки і техніки України  
**Машков Олег Альбертович**,  
проректор з наукової роботи Державної екологічної  
академії післядипломної освіти та управління  
Міністерство екології та природних ресурсів України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,  
Лауреат Державної премії і Премії ім. академіка  
М.К. Янгеля Національної академії наук України,  
Заслужений працівник транспорту України,  
**Азарсков Валерій Миколайович**,  
завідувач кафедри аерокосмічних систем управління  
Національного авіаційного університету МОН України

доктор технічних наук, професор,  
**Барабаш Олег Володимирович**,  
завідувач кафедри вищої математики Державного  
університету телекомунікацій МОН України

Захист відбудеться «19» грудня 2019 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.894.01 при Національному центрі управління та випробування космічних засобів за адресою: 01010, м. Київ, вул. Московська, 8, ауд. № 620.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного центру управління та випробування космічних засобів за адресою: 01010, м. Київ, вул. Московська, 8.

Автореферат розісланий « 8 » листопада 2019 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
кандидат технічних наук



В. В. Ожінський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У сучасних умовах особливе місце серед робототехнічних систем займають дистанційно пілотовані літальні апарати (ДПЛА). Результат стрімкого розвитку безпілотної авіації – це залучення півсотні країн світу в розробку і серійне виробництво безпілотних літальних апаратів (БПЛА) 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. Управління польотами ДПЛА полягає в передачі від групи керівництва польотами умов польоту, команд та інформації операторам і спрямовано на своєчасне і безпечне виконання ними польотних завдань. Управління ДПЛА здійснюють особи-оператори. Групи керівництва польотами постійно контролюють якість роботи операторів БПЛА, що керують заданими режимами польоту і виконання поданих команд.

У теперішній час проблема підвищення ефективності навчання пілотів (операторів БПЛА) 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 не налагоджено виробництво відповідного обладнання тренажерів.

Найбільш повний і глибокий психологічний аналіз особливостей операторської діяльності на тренажерах представлено в ряді фундаментальних робіт В.М. Азарскова, 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.

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.

Саме тому, актуальним є наукове завдання, яке полягає в удосконаленні інформаційного та програмного забезпечення спеціального тренажерного комплексу дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу.

**Зв'язок роботи з науковими програми, планами, темами.** Тема дисертаційної роботи та отримані результати відповідають тематиці наукових досліджень за напрямком авіаційно-космічних тренажерів екологічного спостереження, що виконувалися у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління згідно з планом науково-дослідних робіт: «Розробка нормативно-методичного документа – рубрикатора завдань у сфері екологічного моніторингу за допомогою космічних систем ДЗЗ та ГІС» (0118U005461). В даній роботі автором запропоновано методику проведення екологічного моніторингу об'єктів критичної інфраструктури із застосуванням спеціалізованого тренажеру дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертації є підвищення ефективності процесу підготовки оператора дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження за рахунок удосконалення інформаційного та програмного забезпечення спеціального тренажерного комплексу ДПЛА екологічного моніторингу.

Поставлена мета дисертаційного дослідження досягається вирішенням наступних наукових завдань:

1. Проведення аналізу створення спеціалізованих тренажних комплексів щодо підвищення ефективності підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження.

2. Розроблення методів створення спеціалізованих підсистем управління тренажних комплексів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу.

3. Розроблення моделі контуру керування спеціалізованого тренажерного комплексу ДПЛА екологічного моніторингу, яка заснована на використанні зворотних задач динаміки.

4. Розроблення методики проведення екологічного моніторингу об'єктів критичної інфраструктури із застосуванням спеціалізованого тренажеру дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу.

5. Розроблення методики проведення навчання оператора ДПЛА екологічного спостереження об'єктів критичної інфраструктури на спеціальному тренажерному комплексі дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу.

6. Розроблення науково-практичних рекомендацій, які базуються на результатах імітаційного моделювання та оцінювання ефективності підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження.

*Об'єкт дослідження* – процес навчання пілотів на тренажері дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження.

*Предмет дослідження* – моделі та методи інформаційного та програмного забезпечення спеціалізованих тренажерів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження.

*Методи дослідження.* Для вирішення поставлених завдань у дисертації були застосовані: 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.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в розкритті особливостей та закономірностей синтезу спеціалізованих підсистем управління навчанням оператора тренажерного комплексу дистанційно пілотованого літального апарату екологічного моніторингу за рахунок вирішення зворотних задач динаміки. При цьому:

1. Вперше 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. Вперше 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.

3. Удосконалено методіку 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;

4. Набуло подальшого розвитку 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.

**Практичне значення отриманих результатів** 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 навчання різним навичкам оператора 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.

**Впровадження отриманих результатів.** Результати дисертаційної роботи впроваджені у Національному центрі управління та випробувань космічних засобів (акт від 04.12.2018 р.), Льотній академії Національного авіаційного університету, м. Кропивницький (акт від 22.01. 2019 р.), Науково-виробничій впроваджувальній фірмі «Геотехнологія», м. Київ (акт від 20.12. 2018 р.), а також у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління Мінприроди України, м. Київ (акт від 26.12. 2018 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові та прикладні результати дисертаційної роботи, що опубліковані в [1 – 8], отримані здобувачем особисто. У роботах, виконаних у співавторстві авторові належить: в [1] теоретичне обґрунтування застосування методів зворотних задач динаміки в тренажерному комплексі ДПЛА; в [2] запропоновано напрямки розробки тренажерів підготовки операторів ДПЛА екологічного моніторингу; в [3] запропоновано модель контуру керування спеціалізованого тренажерного комплексу ДПЛА екологічного моніторингу, яка заснована на використанні зворотних задач динаміки; в [4] представлено аналітичні розрахунки алгоритму програмного керування на тренажері ДПЛА на основі алгоритмічної процедури рішення зворотної задачі динаміки як в детермінованій, так й стохастичній постановці; в [5] розроблено методи створення спеціалізованих підсистем управління тренажерних комплексів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу; в [6] удосконалено методику проведення екологічного моніторингу об'єктів критичної інфраструктури із застосуванням спеціалізованого тренажеру ДПЛА екологічного моніторингу на основі технології інтелектуального розвантаження оператора тренажера; в [7] отримано результати розрахунків, що підтвердили ефективність процесу управління на тренажерах дистанційно пілотованих літальних апаратів з алгоритмом на основі вирішення зворотних задач динаміки у [8] формалізовано задачу підготовки на тренажері оператора ДПЛА екологічного моніторингу та запропоновано критерії ефективності навчання.

**Апробація результатів дисертації.** Основні теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на семи наукових конференціях та семінарах: Науково-практичний семінар «Сучасні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу», Київ, ДЕА, 27 листопада 2017 р.; Науково-технічна конференція «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу» м. Київ, ДЕА, 24–25 квітня 2018 р.; Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту», с. Залізний Порт, Херсонська обл., ХНТУ, 21 – 25 травня 2018 р.; III міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи», Львів, ЛДУБЖД, 14 вересня 2018 р.; XVI міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми екологічної безпеки», Кременчук, КрНУ, 4 – 7 жовтня 2018 р.; II міжнародна науково-практична конференція «Інтелектуальні власність і право на шляху до сталого розвитку України», Київ, КПВП, 19 квітня 2019 р. XI міжнародна науково-практична конференція «Авіаційна та

екстремальна психологія у контексті технологічних досягнень», Київ, НАУ, 23 – 24 квітня 2019 року.

**Публікації.** За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 19 наукових праць. Основні наукові положення викладено в 8 наукових статтях [1-8], які опубліковані у спеціалізованих фахових виданнях. За матеріалами виступів на науково-технічних конференціях опубліковано 7 тез доповідей [9 – 15]. Додатково результати досліджень відображені в статтях [16 – 19].

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів основної частини, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи 312 сторінок, у тому числі: 224 сторінки друкованого тексту (180 сторінок основного тексту, 44 окремих сторінок з рисунками і таблицями), анотація на 12 сторінках, список використаних джерел на 15 сторінках (133 найменувань), додатки на 61 сторінці.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** висвітлено актуальність обраної теми, поставлено наукове завдання, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами наукових досліджень. Визначено об'єкт і предмет дослідження, сформульовано мету і поставлено часткові наукові завдання та визначено методи їх розв'язання. Сформульовано наукову новизну, практичну значущість отриманих результатів та наведено відомості про публікації й апробації результатів дослідження.

**Перший розділ** присвячений аналізу створення тренажерних комплексів щодо підвищення ефективності підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів. Особливу увагу приділено дослідженню шляхів та напрямків підвищення якості підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів, визначенню критеріїв ефективності навчання на тренажері ДПЛА екологічного моніторингу. Розглянуто особливості розроблення автоматизованої системи управління польотами ДПЛА екологічного спостереження. Зроблено постановку наукового завдання та формалізацію завдання дослідження. Визначається, що зміст комп'ютерної навчальної програми тренажера повинен відповідати польотним завданням ДПЛА екологічного спостереження. При необхідності програма повинна містити матеріали 3-D візуалізації місцевості спостереження, матеріали щодо особливостей застосування бортової апаратури спостереження, телекомунікаційної апаратури, дій в нештатних (аварійних ситуаціях). Тренажерний комплекс повинен дозволяти оператору можливість самостійно вибирати програму підготовки операторів. Інтерфейс тренажера повинен бути зручним для пілота-оператора. До вимог, що пред'являються до контролюючого блоку програмного забезпечення, відносяться: зміст кожного польотного завдання повинен бути логічно коректним; порядок формування нештатних (аварійних) ситуацій в польоті та роботі бортового обладнання. В разі неправильних дій пілота оператора ДПЛА повинна бути передбачена підказка на виконання “правильних” дій. При завершенні польоту на тренажері повинен проводитися аналіз правильності дій пілота-оператора і автоматичний розрахунок підсумкового оцінювання; перегляд статистики дій пілота-оператора ДПЛА екологічного спостереження. Таким чином, виходячи з проведеного аналізу, тренажер може не тільки підвищити якість і ефективність навчання оператора

ДПЛА екологічного спостереження, але і допомогти формувати професійну компетенцію фахівця за рахунок удосконалення інформаційного та програмного забезпечення спеціального тренажерного комплексу ДПЛА екологічного моніторингу.

**Другий розділ** присвячений розробці науково-методичного апарату синтезу тренажерного контуру керування безпілотного літального апарату на основі вирішення зворотних задач динаміки. При визначенні характерних властивостей тренажерного комплексу, що впливають 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 під час виконання польотного завдання; забезпечення безпеки повітряного руху та безпеки об'єктів спостереження; можливість тренування дій в умовах виникнення надзвичайних ситуацій.

Проведений аналіз свідчить, що сьогодні на українські ДПЛА і БПЛА можуть бути покладені наступні завдання в інтересах національної безпеки, які потрібно відпрацьовувати на спеціалізованих тренажерах ДПЛА: підготовка даних, при плануванні антитерористичних операцій (як приклад, що стосуються терористичних груп можлива перспективна 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, якій 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 (рис. 1).

У розвитку концепцій алгоритмічного підходу – зворотних задач динаміки для функціонально-стійких бортових інформаційних керуючих комплексів отримано аналітичний вираз для керуючої сили.

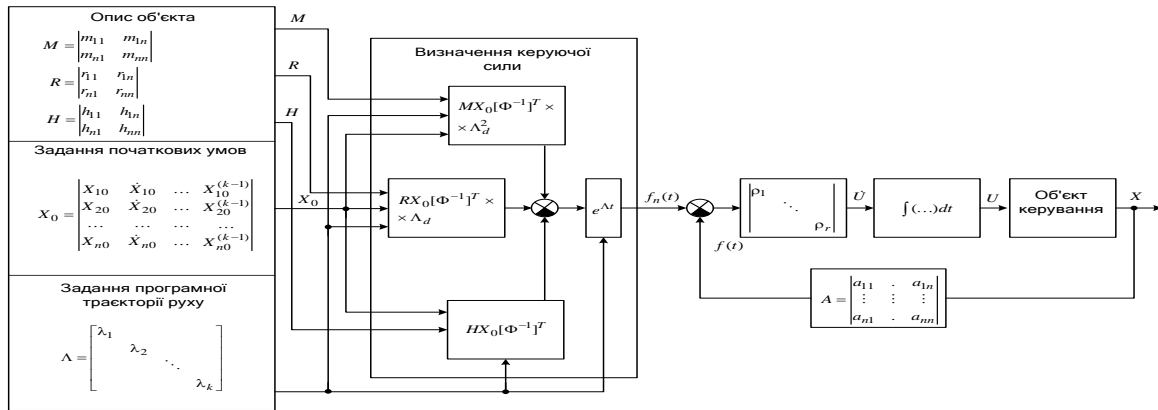


Рис. 1. Структурна схема спеціалізованої частини тренажерного комплексу для керування на основі вирішення зворотних задач динаміки

Час перехідного процесу  $t_n$  (при зовнішніх збуреннях) може бути оцінено за допомогою виразу

$$t_n \leq t_0 + \gamma^{-1} \ln \frac{C \|X_0 - X_n(t_0)\|}{\varepsilon - C\gamma^{-1}C_\pi},$$

де,  $X_0, X_n$  – вектор фазових координат ДПЛА реального та програмного руху;  $\varepsilon$  – ступень близькості реального і програмного рухів;  $t_0$  – початок руху;  $C$  і  $\gamma$  комплексні числа такі, що

$$\operatorname{Re} \gamma_i < -\gamma,$$

$$\|X(t) - X_n(t)\| < C \|X(t_0) - X_n(t_0)\| e^{-\gamma(t-t_0)},$$

$$\forall t > t_0.$$

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.

Система автоматичного управління (САУ) поздовжнім рухом ДПЛА на тренажері екологічного моніторингу формується з двох контурів: внутрішнього – контуру управління кутами тангажу, крену, ристання і зовнішнього – контуру управління положенням центра мас ДПЛА. Зовнішній контур визначає траєкторію руху ДПЛА, внутрішній контур забезпечує виконання команд зовнішнього контуру. Пропонується наступний підхід при розробці алгоритмів керування ДПЛА на тренажері. Процес синтезу системи керування рухом дистанційно-пілотованого літального апарату розбивається на кілька етапів:

1. Розрахунок аеродинамічних характеристик і типових траєкторій руху ДПЛА.

2. Формування нелінійної моделі просторового руху і лінеризованих моделей кутового руху ДПЛА.

3. Синтез алгоритмів керування (вибір структури законів управління) внутрішнього контуру управління кутами на основі лінеризованої моделі руху ДПЛА.

4. Корекція складних алгоритмів управління з використанням моделей рульових приводів і просторового руху ДПЛА.

5. Аналіз ефективності системи управління шляхом моделювання просторового руху ДПЛА при дії різних збурень.

Структурні схеми системи керування кутами тангажу, крену та рискання представлено на рис. 2–4 та визначають спеціалізовану частину тренажерного комплексу для керування на основі вирішення зворотних задач динаміки.

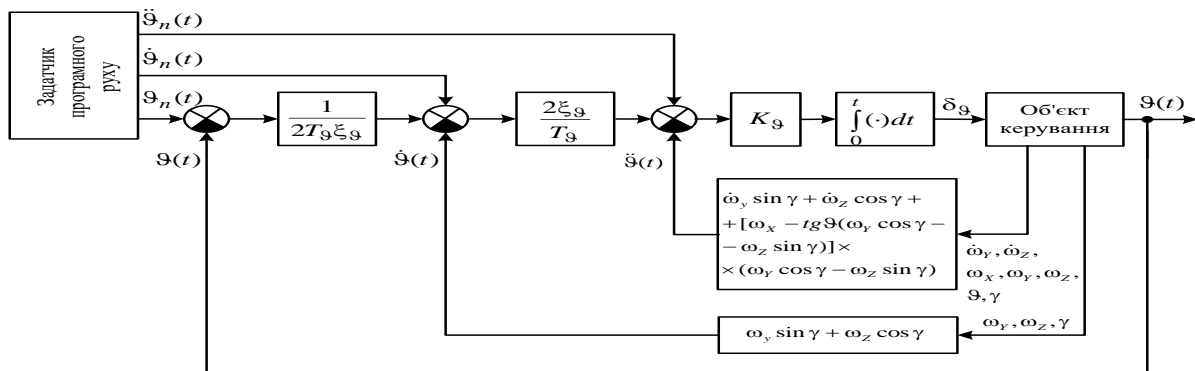


Рис. 2. Структурна схема керування кутом тангажу в тренажері ДПЛА

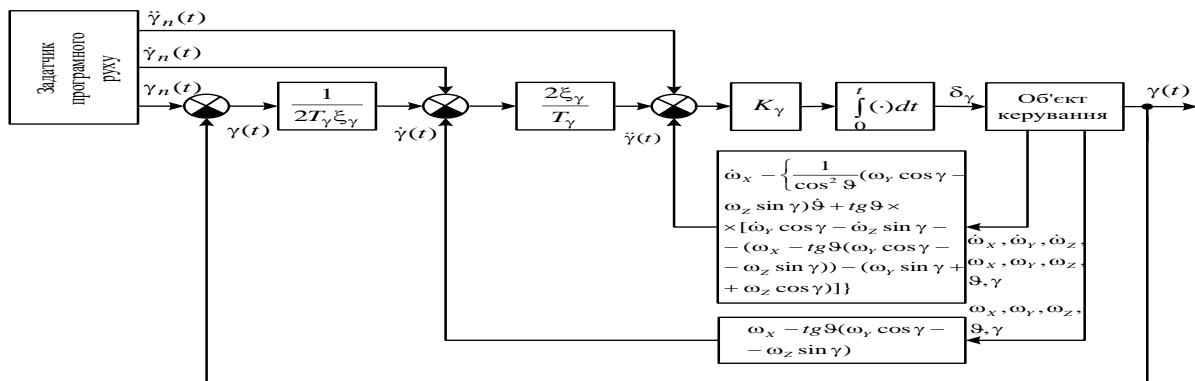


Рис. 3. Структурна схема системи керування кутом крену в тренажері ДПЛА

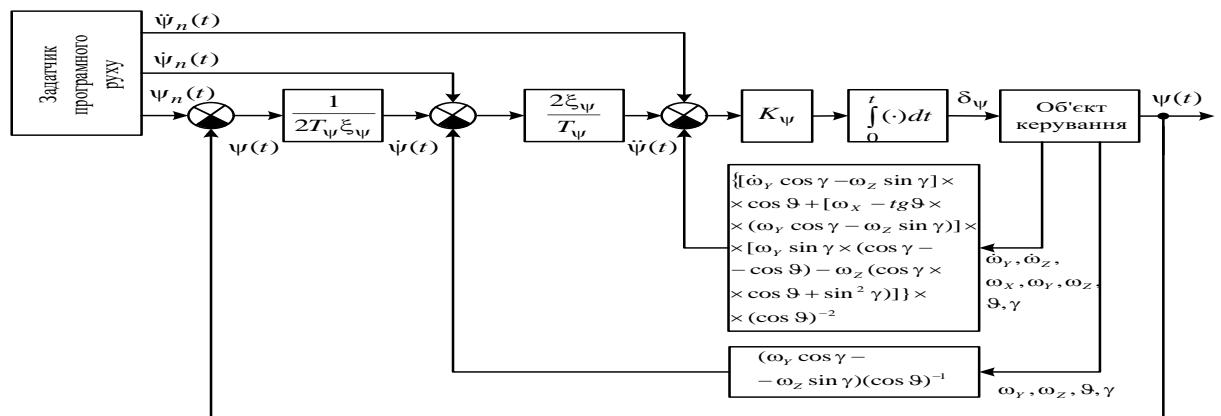


Рис. 4. Структурна схема керування кутом рискання в тренажері ДПЛА

Таким чином у другому розділі отримано аналітичний вираз оцінювання якості процесу керування при нештатних ситуаціях на основі рішення зворотної

задачі динаміки, запропоновано і обґрунтовані структури керування на тренажері із заданими динамічними властивостями для вирішення зворотних задач динаміки.

У **третьому розділі** запропоновано методику проведення екологічного моніторингу об'єктів критичної інфраструктури на тренажері ДПЛА екологічного спостереження. 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, і вимагає розробки нових адекватних методів, що враховують процеси взаємодії людини і технічних пристроїв.

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 супроводу екстремуму (для визначеності до мінімізації) значень показників якості. Зручна геометрична інтерпретація процедури відшукування ефективного альтернативного рішення виходить при введенні плоскої  $K$ -мірної полярної системи координат, при цьому на  $j$  осі відкладається зважене нормалізоване значення показника якості  $\tilde{R}_j$ .

При прагненні до мінімізації показників якості ідеальній гіпотетичній альтернативі буде відповідати точка – початок координат. Ефективній альтернативі буде відповідати багатокутник найменшої площі  $S(x)$  або периметра  $P(x)$ . Основним бажаним результатом екологічного спостереження та тренажері ДПЛА є здійснення моніторингу визначених декількох об'єктів спостереження з максимальною достовірністю. Сутність завдання моніторингу декількох об'єктів (об'єктів критичної інфраструктури) повинно бути формалізовано наступним чином: з наявної сукупності об'єктів спостереження (цілей) необхідно виділити послідовність (відповідно маршруту обстеження) з максимальною достовірністю отримання моніторингової інформації за мінімальний час, з мінімальними витратами, з безпекою для навколишнього середовища.

Запропонована методика синтезу алгоритмів системи директорного керування для оператора ДПЛА екологічного спостереження при рішенні завдань моніторингу декількох об'єктів. При цьому завдання вибору маршруту треба розуміти в широкому змісті, не тільки як визначення траєкторії польоту ДПЛА, але і виділення з загальної групи цілей об'єктів моніторингу, які будуть обстежені, визначення способу обльоту кожного з об'єктів, визначення безпеки цього маршруту і можливості ефективного застосування моніторингової апаратури.

Директорне керування ДПЛА здійснюється за 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 (кермо) 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 начальному етапі (первинна підготовка) підготовки оператора ДПЛА екологічного спостереження.

Б. В імітаторі пілотажно-навігаційної системи 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 (кермо) 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 спостереження 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 спеціалізованому тренажері ДПЛА екологічного моніторингу доцільно передбачити можливість відпрацювання дій оператора з контролю пожежонебезпечної ситуації. При створенні програмного забезпечення спеціалізованого тренажера потрібно враховувати особливості реальної обстановки в імітаторі візуальної обстановки тренажеру.

Траєкторію польоту ДПЛА екологічного спостереження визначає матриця термінальних умов  $T$ :

$$T = (T_1, \dots, T_n) = \begin{pmatrix} V_1, \dots & \dots & V_n \\ \theta_1, \dots & \dots & \theta_n \\ \varphi_1, \dots & \dots & \varphi_n \\ X_1, \dots & \dots & X_n \\ H_1, \dots & \dots & H_n \\ Z_1, \dots & \dots & Z_n \end{pmatrix}.$$

Синтез програмної просторової траєкторії екологічного спостереження і керувань ДПЛА можна здійснювати наступним чином.

1. Для кожної апаратури спостереження, призначеної для екологічного спостереження  $i$ -го об'єкту, визначаємо траєкторне зміщення  $A_i$ (задача балістики) і визначаємо дозволені умови застосування, – припустимий діапазон зміни складових вектору термінальних умов  $T$ . У першому наближенні беремо  $V=V_T$ ,  $\theta=0$ ,  $H=H_T$  (індекс "T" – поточне значення).

2. Визначаємо перше наближення матриці  $T$ .  $T_i = (V_i, \theta_i, X_i, H_i, Z_i, \varphi_i)^T$ .  $i$ -й стовпець: – швидкість ( $V_i=V_T$ ), висота ( $H_i=H_T$ ) – кут нахилу траєкторії  $\theta=0$  кут курсу  $\varphi = \varphi_i$ ,  $i+1$  кут курсу ребра з'єднуючого суміжні цілі ( $i, i+1$ ) у маршруті екологічного спостереження, координати положення  $X_i = X_{ui} - A_i \sin \varphi_i$ ,  $\varepsilon_i = \varepsilon_{ui} - A_i \cos \varphi_i$

3. За сукупністю координат  $X_i, \varepsilon_i, i = 1, n$ , будемо горизонтальний сплайн і на підставі аналізу сплайн-траєкторії одержуємо  $n_{угориз.}$  при  $n_{угориз.} > n_{удоп}$  траєкторію вважаємо нереалізованою. Формується ознака заборони на цей маршрут і повторюється процедура вибору маршруту.

4. Робимо варіації висоти  $H_i$  і кута нахилу траєкторії  $\theta_i$  з метою пошуку екстремуму обраного показника якості  $F = \text{extr} \left( \sum_{i=1}^n F_i(H_i, \theta_i) \right)$ .

5. Для змінених  $H_i$  і  $\theta_i$  визначаємо,  $A_i = A_i(V_i, \theta_i, H_i, СП_i)$ .

6. Визначаємо дальність застосування всіх засобів спостереження:  $D_i = \sqrt{x_i^2 + z_i^2}$ ;  $x_i$  і  $z_i$  визначаються як у п. 2 (з новим  $A_i$ ).

7. За сукупністю координат  $D_i, H_i, i = \overline{1, n}$ , будемо вертикальний сплайн і на підставі аналізу сплайну одержуємо  $n_{уверт.}^2$  при  $(n_{уверт.}^2 + n_{угоризонт.}) > n_{удоп.}^2$ , траєкторія нереалізована.

8. Формуємо матрицю  $T(T_i \in T_{i доп.})$ . Розглядаючи кожний вектор  $T_i$ , як термінальну точку в 6-ти мірному просторі, здійснюємо синтез керувань ДПЛА.

У п. 4 пошук екстремуму  $F$  можна проводити будь-яким способом, але в силу щодо невеликого числа об'єктів моніторингу,  $n=3...6$ , застосовано метод повного перебору. Регулярний повітряний моніторинг із застосуванням ДПЛА дозволить контролювати проведення робіт на території техногенно небезпечних об'єктів, об'єктів критичної інфраструктури, виявляти перебування сторонніх осіб і транспортних засобів в особливо небезпечних зонах, дистанційно здійснювати радіаційну розвідку місцевості. Основні об'єкти, за якими може здійснюватися візуальне спостереження за допомогою ДПЛА: територія техногенно небезпечних об'єктів; житлове селище; транспортні комунікації; технологічні комунікації та інженерні мережі. Сутність спеціалізованої частини тренажерного комплексу полягає в реалізації схеми розподілу функцій управління ДПЛА на тренажері і узгодження характеристик людини-оператора і технічних пристроїв тренажера.

Технічне вдосконалення засобів взаємодії з людиною дозволяє розширити можливості тренажера ДПЛА. Але це виявляється неприйнятним в разі, коли спостерігається значний розрив між динамічними властивостями: реального об'єкта управління (в даному випадку – ДПЛА); психофізіологічними для оператора тренажера. Зниження психофізіологічної напруженості оператора на тренажері ДПЛА полягає в реалізації схеми розподілу функцій управління між людиною і технічними пристроями. Перший напрямок – коли оператор здійснює управління траєкторним рухом (рух центру мас), а автоматика ДПЛА реалізує всі функції стабілізації та керування апаратурою екологічного моніторингу. Другий напрямок – коли оператор здійснює управління макрооб'єктами (головним ДПЛА), а автоматика ДПЛА реалізує функції екологічного моніторингу. Отже, розподіл функцій управління та тренажері ДПЛА, коли оператор управляє елементами комплексу як єдиним макрооб'єктом, а автоматичні системи здійснюють узгодження руху та функцій елементів комплексу в складі групи ДПЛА, відповідає рішенням задачі оптимізації автоматизованої системи управління на тренажері групою ДПЛА екологічного спостереження.

**Четвертий розділ** присвячено проведенню імітаційного моделювання та оцінці ефективності підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження.

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 адекватно прийнятих рішень пілотом та їх достовірність.

Завдання комплексної автоматизованої навчальної системи тренажера були логічним чином реалізовані в рамках тренажерного комплексу ДПЛА екологічного моніторингу: електронний інтерактивний підручник; програмний тренажер для вироблення (рис. 5) індивідуальних практичних навичок виконання операцій на тренажері (далі – індивідуальний тренажер); програмний тренажер для вироблення практичних навичок виконання операцій в складі групи ДПЛА екологічного спостереження; підсистема атестації персоналу; підсистема підтримки прийняття рішень при виникненні надзвичайних ситуацій; підсистема інформаційної підтримки професійної діяльності оператора ДПЛА.

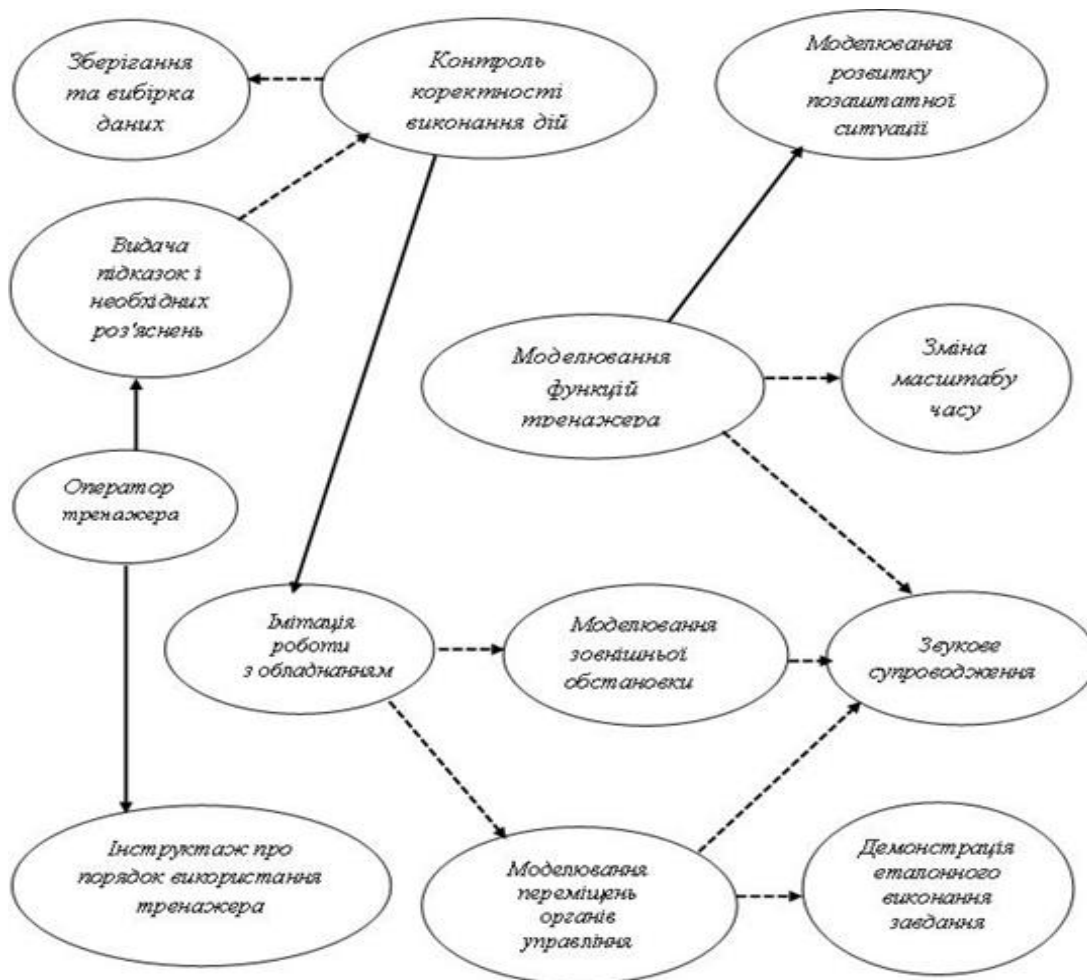


Рис. 5. Сценарій екологічного спостереження з використанням індивідуального тренажера ДПЛА

Запропонована структурно-функціональна модель тренажера, яка забезпечує реалізацію функцій ДПЛА екологічного спостереження, дивись рис. 6.

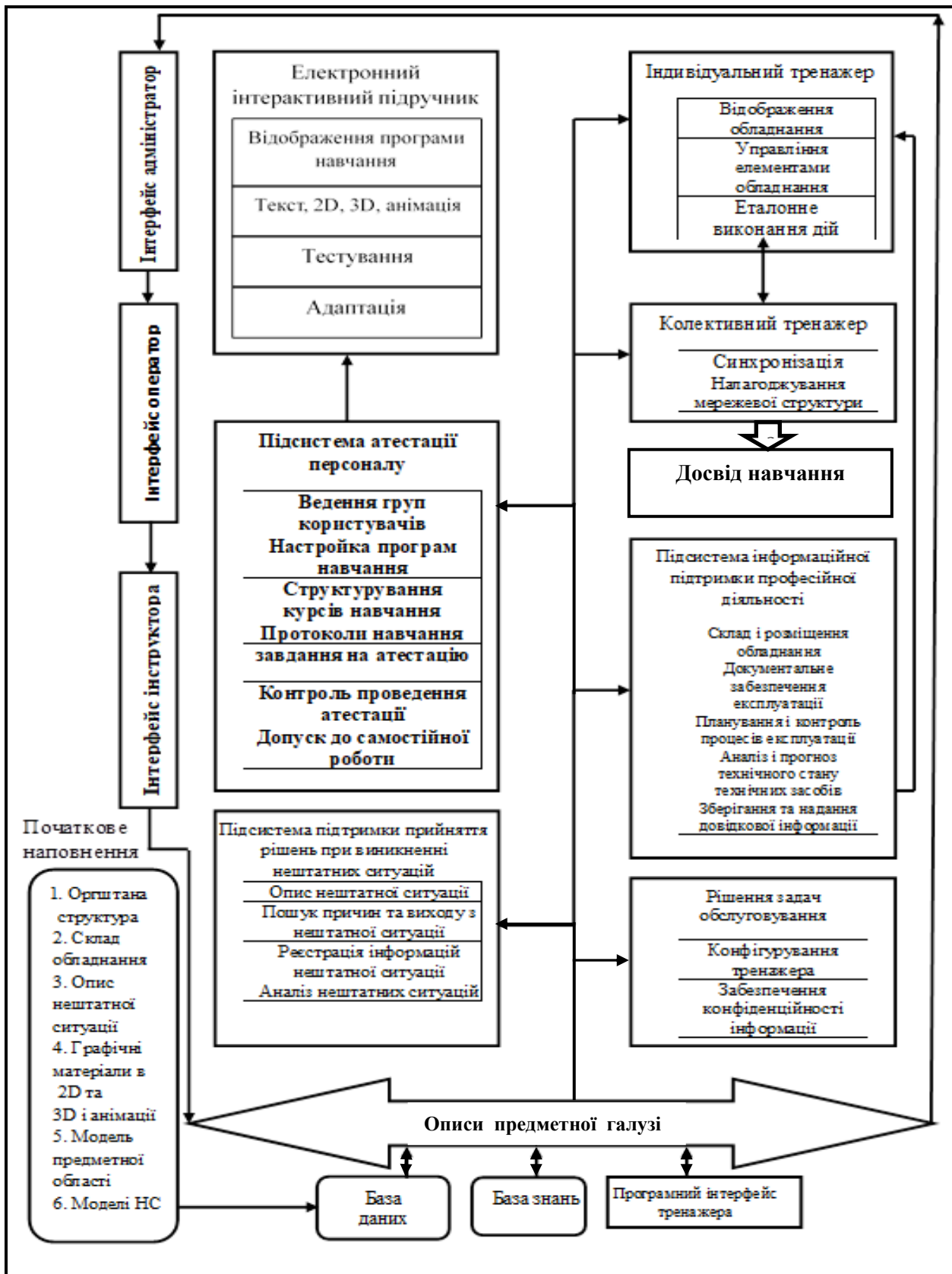


Рис. 6. Структурно-функціональна модель тренажера ДПЛА екологічного спостереження

Слід зазначити ключові відмінності представленої структурно-функціональної моделі від існуючих аналогів. У представленій 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 подолання з нештатних ситуацій вимагає формування нового сценарію динамічного 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 індивідуального завдання при навчанні з використанням тренажера ДПЛА екологічного спостереження та дій в нештатних ситуаціях. З точки зору поставленого завдання модель розвитку надзвичайної ситуації спроможна описувати процес послідовного прийняття рішення 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. При цьому модель дозволяє описувати можливі результати цього рішення та оцінювати цільовий результат кортежу можливих рішень (ціну рішень) і можливість реалізації результатів цих рішень. Модель дозволяє приймати рішення за різними критеріями, які формують різні переваги.

Запропонована методика оцінювання наслідків рішень оператора 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) та достовірності прийнятих рішень (рис.7).

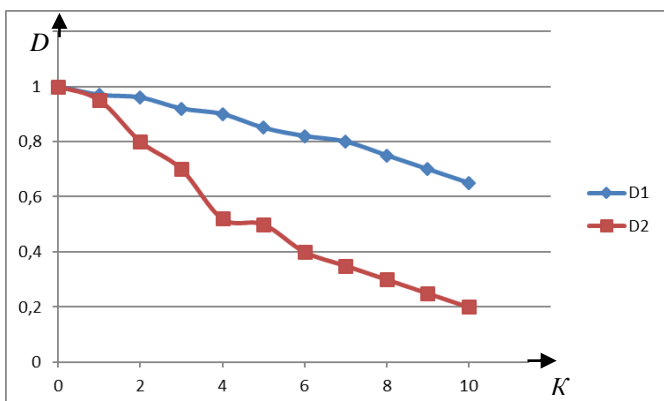


Рис. 7. Результати імітаційного моделювання достовірності прийнятих рішень в залежності від кількості  $K$  одночасно введених відмов:  $D1$  – достовірність прийнятих рішень оператором тренажера при функціонуванні СППР;  $D2$  – достовірність прийнятих рішень пілотом ДПЛА без СППР.



Проведено моделювання середнього часу реагування оператора тренажера 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 оператора, можуть призвести до авіаційних подій, коли подальший політ в штатному режимі неможливий. Проте можливим є втрата ДПЛА екологічного спостереження. Розрахунок середнього часу реагування на нештатну ситуацію із серйозними відмовами  $T_{ce}$  в залежності від кількості  $K$  одночасних відмов для певної нештатної ситуації (табл.1).

Таблиця 1

$K$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{ce}$ (оператор), с	11	15	19	27	36	45	57	74	97	169
$T_{ce}$ (СППР), с	5	6	9	13	15	18	22	26	28	32

В додатках представлено список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію матеріалів дисертації, акти впровадження, характеристика автономних тренажерів підготовки операторів безпілотних літальних апаратів, програмний комплекс розробки маршруту і польотних завдань ДПЛА екологічного спостереження, завдання екологічного моніторингу для відпрацювання на спеціалізованих тренажерах ДПЛА екологічного спостереження, рубрикатор завдань у сфері екологічного моніторингу за допомогою ДПЛА.

## ВИСНОВКИ

У результаті проведених у дисертаційній роботі досліджень вирішено актуальне наукове завдання, яке полягає в удосконаленні інформаційного та програмного забезпечення спеціального тренажерного комплексу дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу. В роботі розкриті особливості та закономірності синтезу тренажерного комплексу дистанційно пілотованого літального апарату екологічного моніторингу на основі вирішення зворотних задач динаміки, запропоновано методики, моделі, алгоритми, що дозволяють підвищити ефективність навчання пілотів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження. При цьому основні наукові і практичні результати полягають у такому.

1. Вперше обґрунтовано методи створення тренажерних комплексів щодо підвищення ефективності підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження, які враховують критерії ефективності навчання та напрями підвищення якості підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження.

2. Вперше запропоновано модель тренажерного контуру керування (стабілізації на оперативному програмованій траєкторії) безпілотного апарату, яка на відміну від відомих заснована на використанні зворотних задач динаміки.

3. Удосконалено методику проведення екологічного спостереження об'єктів критичної інфраструктури на тренажері дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження, яка на відміну від відомих враховує

технологію інтелектуального розвантаження оператора тренажера та надає можливість проведення екологічного спостереження декількох об'єктів в одному польоті шляхом синтезу та реалізації алгоритмів системи директорного керування на тренажері.

4. Набуло подальшого розвитку застосування методів імітаційного моделювання та оцінювання ефективності підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження, що дозволяє оцінювати якість підготовки оператора та дій в нештатних ситуаціях на тренажерному комплексі екологічного спостереження.

5. 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.

6. Розроблений науково-методичний та математичний апарат (програмне забезпечення) орієнтовано на фахівців операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів при виконанні завдань екологічного моніторингу навколишнього природного середовища та техногенно небезпечних об'єктів (об'єктів критичної інфраструктури).

7. Достовірність наукових і практичних результатів підтверджена збігом отриманих результатів із відомими даними та перевіркою експериментальних досліджень. Основні наукові і практичні результати, що отримані в дисертаційній роботі впроваджені та можуть бути застосовані в системах для підвищення кваліфікаційної підготовки пілотів ДПЛА при здійсненні екологічного моніторингу об'єктів критичної інфраструктури, техногенно небезпечних об'єктів, при виникненні нештатних, аварійних ситуацій.

8. Мета дослідження, яка полягала у підвищенні ефективності процесу підготовки оператора дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження за рахунок удосконалення інформаційного та програмного забезпечення спеціального тренажерного комплексу ДПЛА екологічного моніторингу – досягнута, та всі часткові завдання вирішені повністю. Наукові результати досліджень є внеском в теорію створення тренажерних комплексів дистанційно пілотованих літальних апаратів.

9. Перспективним напрямком подальших досліджень є удосконалення алгоритмічного та програмного забезпечення тренажерного комплексу для відпрацювання дій індивідуально для кожного оператора в умовах аварійних та катастрофічних екологічних та техногенних ситуацій.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Машков О.А., **Мамчур Ю.В.**, Жукаускас С.В. Напрями удосконалення системи екологічного моніторингу з застосуванням дистанційно пілотованих літальних апаратів / Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: ДЕА, 2018. № 2 (21). С.22–29.
2. Машков О.А., **Мамчур Ю.В.** Обґрунтування напрямків розробки тренажерів підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу / Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтава: ПНТУ, 2018. Том 3. № 49. С. 16–21.
3. Машков О.А., **Мамчур Ю.В.** Застосування концепції оберненої задачі динаміки для синтезу програмного керування рухом в імітаторі динаміки польоту тренажера дистанційно пілотованого літального апарату / Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. К.: НАН України, 2018. Вип. 82. С. 154–166.
4. Машков О.А., Дурняк Б.В., **Мамчур Ю.В.**, Тимченко О.В. Синтез алгоритму програмного керування на тренажері дистанційно пілотованого літального апарата на основі алгоритмічної процедури рішення зворотної задачі динаміки (стохастична постановка) / Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. К.: НАН України, 2018. Вип. 83. С. 146–153.
5. Машков О.А., **Мамчур Ю.В.**, Жукаускас С.В. Нігородова С.А. Технологія синтезу системи керування дистанційно пілотованого літального апарата з заданими динамічними властивостями / Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний журнал. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. № 1 (113). С. 54–66.
6. Машков О.А., Триснюк В.М., **Мамчур Ю.В.**, Жукаускас С.В., Нігородова С.А., Триснюк Т.В. Технологія синтезу алгоритму керування для забезпечення стабілізації дистанційно пілотованого літального апарату для оперативного-програмованої траєкторії / Математичне моделювання в економіці: міжнародний науковий журнал. К.: НАН України, № 1 (14). С.33–47.
7. Машков О.А., Триснюк В.М., **Мамчур Ю.В.**, Жукаускас С.В., Нігородова С.А. Новий підхід до синтезу відновлюючого керування для дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу / Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2019. № 1 (19). С.69–78.
8. Машков О.А., **Мамчур Ю.В.** Формалізація задачі підготовки на тренажері оператора керування безпілотним літальним апаратом екологічного моніторингу на основі вирішення зворотних задач динаміки / Новітні технології. Збірник наукових праць Приватного вищого навчального закладу «Університет новітніх технологій». К.: ПВНЗ «Університет новітніх технологій», 2018. Вип. 2 (6). С. 24–30.
9. **Мамчур Ю.В.** Проблеми розвитку державної системи моніторингу навколишнього природного середовища з використанням аерокосмічних та геоінформаційних технологій / Сучасні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу: Матеріали доповідей науково-практичного семінару. Київ, 27 листопада 2017 р. К.: ДЕА, 2017. С. 8–9.

10. **Мамчур Ю.В.** Проблемні питання створення тренажера оператора дистанційно пілотованого літального апарата екологічного моніторингу / Матеріали науково-технічної конференції “Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу”. Київ, 24–25 квітня 2018 р. К.: ДЕА, 2017. С. 37–38.

11. **Мамчур Ю.В.** Обоснование синергетической схемы управления группой дистанционно пилотируемых летательных аппаратов / Збірка наукових праць. Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції. Залізний Порт, Херсонської обл., 21–25 травня 2018 р. Херсон: ХНТУ, 2018. С. 181–190.

12. **Мамчур Ю.В.** Застосування комп’ютерних та інформаційних технологій в тренажерних комплексах екологічного моніторингу з застосуванням дистанційно пілотованих літальних апаратів / Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи». Львів, 14 вересня 2018 р. Львів: ЛДУБЖД, 2018. С.181.

13. **Мамчур Ю.В.** Сучасні проблеми управління екологічною безпекою з використанням дистанційно пілотованих літальних апаратів / Проблеми екологічної безпеки. Матеріали XVI міжнародної науково-технічної конференції. Кременчук, 4–7 жовтня 2018 р. Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2018. С.65.

14. Машков О.А., **Мамчур Ю.В.**, Жукаускас С.В., Нігородова С.А. Напрями удосконалення технічних засобів інструментальних психофізіологічних досліджень для оцінки достовірності інформації / Інтелектуальні власність і право на шляху до сталого розвитку України: Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 19 квітня 2019 року. К. С. 265–268.

15. Машков О.А., **Мамчур Ю.В.**, Жукаускас С.В. Нігородова С.А. Технології конструктивного спілкування пілота оператора дистанційно пілотованого літального апарату та системи підтримки прийняття рішень в умовах впливу стрес-факторів екстремальної екологічної ситуації / Авіаційна та екстремальна психологія у контексті технологічних досягнень: XI міжнародна науково-практична конференція. Збірник наукових праць. Київ, 23 – 24 квітня 2019 року. К. «Альфа-ПК», 2019. С. 183–189.

16. Машков О.А., **Мамчур Ю.В.** Аналитическая оценка качества процесса управления на тренажерах дистанционно пилотируемого летательного аппарата с алгоритмом на основе решения обратных задач динамики / Аерокосмічні технології. Науково-технічний журнал. К.: НЦУВКЗ, 2017. Вип. 2 (02). С. 59–62.

17. Машков О.А., **Мамчур Ю.В.** Загроза національній безпеці: екологічний тероризм, як сучасний виклик суспільству / НАУКОВИЙ ЧАСОПИС Академії національної безпеки. К.: АНБ, 2018. № 1 (17). С. 8–21.

18. Машков О.А. **Мамчур Ю.В.** Загроза національній безпеці: аерокосмічний тероризм, як новий виклик безпеці суспільства / НАУКОВИЙ ЧАСОПИС Академії національної безпеки. К.: АНБ, 2018. № 2 (18). С. 8–28.

19. Машков О.А., **Мамчур Ю.В.**, Жукаускас С.В. Методологія протидії екологічним загрозам, ризикам та екологічному тероризму: системний підхід / НАУКОВИЙ ЧАСОПИС Академії національної безпеки. К.: АНБ, 2018. № 3–4 (19–20). С. 8–31.

## АНОТАЦІЯ

Мамчур Ю.В. Зворотні задачі динаміки в тренажерному комплексі дистанційно пілотованого літального апарату екологічного спостереження. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.14 «Авіаційно-космічні тренажери». – Національний центр управління та випробувань космічних засобів, Київ, 2018.

Дисертаційну роботу присвячено удосконаленню інформаційного та програмного забезпечення тренажерного комплексу дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу. Запропоновано методики, моделі, алгоритми, що дозволяють підвищити ефективність навчання пілотів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу.

Розроблено науково-методичний апарат синтезу тренажерного контуру керування дистанційно пілотованого літального апарату на основі вирішення зворотних задач динаміки. При синтезі тренажерного комплексу ДПЛА враховано особливості екологічного моніторингу. Здійснено оцінку якості процесу керування та ефективності алгоритму стабілізації ДПЛА на програмній траєкторії на основі вирішення зворотних задач динаміки.

**Ключові слова:** алгоритм керування, динамічний об'єкт, дистанційно пілотований літальний апарат, ефективність, зворотна задача динаміки, оператор тренажера, тренажерне забезпечення, тренажерний комплекс.

## АННОТАЦИЯ

Мамчур Ю.В. Обратные задачи динамики в тренажерном комплексе дистанционно пилотируемого летательного аппарата экологического наблюдения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.14 «Авиационно-космические тренажеры». – Национальный центр управления и испытаний космических средств, Киев, 2018.

Диссертационная работа посвящена усовершенствованию информационного и программного обеспечения тренажерного комплекса дистанционно пилотируемых летательных аппаратов экологического мониторинга. Предложены методики, модели, алгоритмы, позволяющие повысить эффективность обучения пилотов дистанционно пилотируемых летательных аппаратов экологического мониторинга.

Разработан научно-методический аппарат синтеза тренажерного контура управления дистанционно пилотируемого летательного аппарата на основе решения обратных задач динамики. Проведена оценка качества процесса управления и эффективности алгоритма стабилизации ДПЛА на программной траектории на основе решения обратных задач динамики.

**Ключевые слова:** алгоритм управления, динамический объект, дистанционно пилотируемый летательный аппарат, эффективность, обратная задача динамики, оператор тренажера, тренажерное обеспечение, тренажерный комплекс.

## ABSTRACT

Y. Mamchur. Inverse problems of dynamics in the training complex of a remotely piloted aircraft for environmental monitoring. - Manuscript copyright.

The dissertation for the degree of Ph.D. in Engineering Science, specialty 05.07.14 – aerospace simulators. – State Space Agency of Ukraine. National Space Facilities Control and Test Center, Kiev, 2019.

The dissertation is devoted to improvement of information and software support of a trainers' complex of remotely piloted aircraft for environmental monitoring. Methods, models, and algorithms that increase the efficiency of pilot training for remotely piloted aircraft for environmental monitoring are proposed in the dissertation.

The analysis of ways and directions to improve the quality of remotely piloted aircraft operators' training is performed. Criteria for the effectiveness of UAV (unmanned aerial vehicle) operators' training on an environmental monitoring simulator are proposed. The analysis of the structure of the training complex and its algorithmic support in the flight control of an unmanned aerial vehicle for environmental monitoring is carried out. Special aspects of the development of an automated flight control system for UAV of environmental monitoring are considered. The technology of the smart load of the UAV operator on the simulator with environmental monitoring of critical infrastructure is proposed. The formalization of the task of optimal UAV routes formation for the environmental monitoring of several objects during one flight has been completed. A method for the synthesis of UAV control algorithms on the simulator for environmental monitoring has been developed. The modeling and assessment of the quality of training of the UAV operator at the training complex of environmental monitoring were carried out. The scientific and methodological apparatus was developed to train UAV operators for environmental monitoring in the event of abnormal (emergency, catastrophic) situations.

The practical use of the proposed software and algorithms for the UAV simulator, based on solving inverse dynamics problems, makes it possible to increase the training efficiency of UAV operators when performing environmental monitoring tasks, especially in abnormal situations.

**Keywords:** control algorithm, dynamic object, remotely controlled aircraft, efficiency, inverse dynamics problem, simulator operator, training software, training complex.