МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ШМЕЛЬОВ ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ**

УДК: 656.7.071.7:351.814.263.2:629.735.45(043.3)

**ОПТИМІЗАЦІЯ НАВЧАННЯ ПІЛОТІВ ВЕРТОЛЬОТІВ НА**

**ТРЕНАЖЕРІ**

Спеціальність: 05.07.14 – «Авіаційно-космічні тренажери»

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ – 2015

На правах рукопису

Роботу виконано в Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

**Синєглазов Віктор Михайлович,**

Національний авіаційний університет, завідувач кафедри авіаційних комп’ютерно-інтегрованих комплексів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

**Черняк Сергій Іванович,**

Головний конструктор напрямку Казенного підприємства Спеціального

приладобудування «Арсенал».

СУЛА

кандидат технічних наук, с. н. с.

**Дмітрієв Володимир Анатолійович,**

заступник начальника Державного

випробувального центру ЗСУ з наукової

роботи.

Захист відбудеться «17» вересня 2015 року о 15 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.26.062.08 Національного авіаційного університету за адресою: 03680, м. Київ, пр. Космонавта Комарова, 1, корп. 1, ауд. 001.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03680, м. Київ, пр. Космонавта Комарова, 1, корп. 1.

Автореферат розіслано « » липня 2015 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради, И. Г. Прокопенко

д-р техн. наук, професор

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність теми.** В сучасному світі велика кількість авіакатастроф виникає за причини «людського фактора», що потребує підвищення ефективності підготовки пілотів. Для повітряного транспорту навчання пілотів можна виконувати безпосередньо на фізичних об’єктах (літаки, вертольоти), але це є трудомістким, високовитратним та небезпечним у зв’язку з необхідністю використання дорогого обладнання та кваліфікованих інструкторів. Таке навчання небезпечне не тільки для пілота, який навчається, та інструктора, але у випадку аварії, може призвести до непередбачених наслідків. Тому протягом навчання, доцільно додатково використовувати крім теоретичного курсу та тренувань на навчальних вертольотах різного роду тренажери.

Підготовка пілотів на тренажері дозволить в оптимальні терміни:

– підвищити при заданому часі навчання якість засвоєння навичок за рахунок оптимального розподілу часу між ними;

– оптимізувати при заданому рівні засвоєння необхідних навичок загальний час навчання за рахунок визначення послідовності засвоєння при поетапному або паралельному навчанні. Як показують попередні оцінки, загальний час навчання можна знизити на 10–20 %, а значить, і вартість навчання.

Перераховані очікувані результати стосуються навчання групи пілотів в цілому, а точніше – планування роботи тренажера. Не менш важливе перепланування цієї роботи за результатами проміжного тестування, фактично автоматизоване керування в замкнутому контурі процесом навчання, яке дозволить:

– розробити автоматизовану систему управління засвоєнням вертольотоводіння (АСУЗ ВВ), яка забезпечить формування управління процесом засвоєння вертольотоводіння (ВВ) і вироблення (вибору) впливу на слухача з метою досягнення ним необхідного (заданого) рівня засвоєння ВВ;

– врахувати індивідуальні особливості кожного слухача для складання індивідуальних планів подальшої підготовки в автоматизованому режимі;

– провести об’єктивне оцінювання індивідуальних якостей кожного слухача, тобто оцінити швидкість засвоєння навичок, для кожного слухача, і дати рекомендації за числом повторення і в цілому за частотою чергування паралельно засвоюваних навичок.

Запропоновані перераховані завдання вимагають застосування, як методів параметричної та багатокрокової оптимізації, так і накопиченого людського досвіду. Отримані результати дозволять замінити або розвантажити інструктора, як на етапі попереднього планування, так і на етапі отримання комп’ютерних оцінок якості засвоєння навичок для перебудови подальшого плану роботи кожного слухача за результатами тестування, чому, і присвячено цю дисертаційну роботу.

**Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Результати роботи були використані під час виконання науково-дослідних робіт «Створення програмно-алгоритмічного забезпечення інтерактивної навчальної системи тренажерного комплексу», «Спеціалізована навчальна система для операторів електронного устаткування» та держбюджетної теми «Розробка тренажера з елементами адаптивності», впроваджені на кафедрі авіаційних комп’ютерно-інтегрованих комплексів Національного авіаційного університету у дисципліні «Проектування систем автоматизації» та в Кременчуцькому льотному коледжі Національного авіаційного університету під час складання навчальних планів підготовки пілотів вертольотів на тренажері.

**Мета і завдання дослідження є** підвищення ефективності засвоєння навичок вертольотоводіння слухачами та пілотами під час навчання на тренажері.

Для досягнення цієї мети в дисертаційній роботі поставлені та вирішені такі завдання:

– розробка АСУЗ ВВ, яка забезпечує формування управління процесом засвоєння ВВ і вироблення (вибору) впливу на слухача або пілота з метою досягнення ним необхідного (заданого) рівня засвоєння ВВ;

– розробка алгоритмів оптимізації начальних планів для пілотів на тренажері за критеріями: кількості аварій вертольотів за даний період часу, можливого завданого збитку і кількості скоєних помилок при навчанні на тренажері;

– розробка алгоритму оптимізації начальних планів для пілотів вертольотів на тренажері за критерієм успішності, враховуючи рівень початкової підготовки і індивідуальні якості пілота (швидкість засвоєння навичок);

– розробка алгоритму ідентифікації особистих (персональних) показників швидкості засвоєння простої та складної навичок, показників ступеня, змінюваного в залежності від особистих особливостей пілота.

**Об’єкт дослідження** – процес навчання пілотів на тренажері.

**Предмет дослідження** –підвищення ефективності навчання пілотів на тренажері.

**Методи дослідження**. У дисертаційній роботі використані емпіричні та теоретичні методи дослідження. У ході теоретичного дослідження застосовувалися методи параметричної оптимізації. Теоретичні дослідження спираються на концепції ІКАО за безпекою польотів, інженерно-психологічну концепцію, задану з урахуванням великої кількості чинників.

Дослідження ґрунтуються на теорії інформації і теорії імовірності, загальної математичної статистики та інженерних методів, теорії оптимізації.

Експериментальні дослідження проводились шляхом дослідження підвищення ефективності навчання за рахунок використання запропонованих у роботі підходів на вертолітному тренажері Ми-8МТВ.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у розробленні:

– нового підходу до навчання пілотів вертольотів на тренажері, який полягає у використанні АСУЗ ВВ і оптимізації начальних планів відповідно до аварійності вертольотів внаслідок впливу «людського фактора» та рівня індивідуальних якостей пілота;

– узагальненої структури АСУЗ ВВ, особливістю якої є наявність в ній спеціальної бази знань, що служить для формування управління процесом засвоєння ВВ і вироблення (вибору) впливу на слухача (пілота) з метою досягнення ним необхідного (заданого) рівня засвоєння ВВ;

– алгоритмів оптимізації навчальних планів для пілотів за критеріями: кількості аварій вертольотів за даний період часу, можливого завданого збитку і кількості скоєних помилок при навчанні на тренажері;

– алгоритму оптимізації навчальних планів навчання пілотів вертольотів на тренажері, що враховує рівень початкової підготовки та індивідуальні якості пілота (швидкість засвоєння навичок), на підставі використання різних математичних моделей для опису процесів засвоєння простих і складних навичок, що забезпечило більш точну оцінку необхідного часу на кожну з них для досягнення необхідного рівня підготовки;

– алгоритму ідентифікації персональних показників швидкості засвоєння простої та складної навичок, показників ступеня, який змінюється в залежності від індивідуальних особливостей слухача при засвоєнні простої та складної навичок на підставі використання генетичного алгоритму.

**Практичне значення отриманих результатів.** Запропоновано методики, моделі, алгоритми, що дозволяють оптимізувати процес навчання пілотів вертольотів на тренажері за рахунок:

– перерозподілу часу навчання між різними навичками керування вертольотом з урахуванням даних аварійності з причини «людського фактора» за останні роки експлуатації;

– перерозподілу часу навчання між різними навичками керування вертольотом з урахуванням індивідуальних особливостей пілотів: швидкість засвоєння навичок, використання різних математичних моделей для опису процесів засвоєння простих і складних навичок;

Розроблені методики моделі алгоритмів були впроваджені під час складання навчальних планів підготовки пілотів вертольотів на тренажері в Кременчуцькому льотному коледжі Національного авіаційного університету.

**Особистий внесок здобувача**

Наукову статтю [1] написано у співавторстві з Ю.В. Грищенко, В.Д. Гуленко. Особистий внесок автора у цій статті полягає в обґрунтуванні границі дихотомічного аналізу при дослідженні передумов авіаційних подій у період льотної підготовки слухачів та методи застосування узагальнених оцінок.

Наукову статтю [2] написано у співавторстві з В.М. Синєглазовим. У даній статті автором обґрунтовані шляхи підвищення ефективності навчання пілотів вертольотів на тренажері та запропоновано математичні моделі засвоєння навичок.

Наукову статтю [3] написано у співавторстві з В. М. Синєглазовим. Автором виконано аналіз авіаційних пригод вертольотів внаслідок «людського фактора» з розподілом по одиничним навичкам.

Наукову статтю [4] написано у співавторстві з В. М. Синєглазовим. Автором запропоновано оптимізацію навчального плану за критерієм кількості помилок при виконанні одиничного тренінга.

Наукову статтю [5] написано у співавторстві з В. М. Синєглазовим. У роботі автором запропоновано оптимальний розподіл навчального плану за критерієм, враховуючим індивідуальні якості пілота.

Наукову статтю [6] написано у співавторстві з В. М. Синєглазовим. Автором запропонована структура та розроблено алгоритми автоматизованої системи управління навчанням вертольотоводінням.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень доповідалися й обговорювалися на XII Міжнародній науково-практична конференції «Людина і космос. Випереджуючи час» Національне космічне агенство України. Національний центр аерокосмічної освіти молоді ім. О.М. Макарова. Дніпропетровськ 2010, на ІІ Всеукраїнській науково-практичній конференції «Авіація та космонавтика» Національне космічне агенство України. Національний центр аерокосмічної освіти молоді ім. О. М. Макарова. Кривий Ріг. 2011, The sixth world congress “Aviation in the XXI-st century” Safety in Aviation and Space Technologies.Ukraine. National Aviation University, (September 23-25, 2014), IEEE 3rd International Conference “Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)”. Proceedings. Kyiv, Ukraine. (October 14–17, 2014).

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 6 наукових статей у виданнях, перелік яких затверджено ВАК України та 4 матеріалів доповідей на наукових конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 194 сторінки, з яких основну частину викладено на 131 сторінці друкованого тексту, включаючи 35 рисунків, 13 таблиць, список використаних джерел з 172 джерел на 18 сторінках, 3-х додатків на 44 сторінках.

**ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі**обґрунтовано необхідність підвищення ефективності підготовки пілотів на тренажері, що пов’язано зі зростанням кількості авіакатастроф з причини «людського фактора».

Підвищення ефективності навчання на тренажері суттєво залежить від оптимального планування занять, яке дозволить:

– врахувати результати попереднього і проміжного тестування;

– врахувати індивідуальні особливості кожного слухача, який навчається для складання індивідуальних планів подальшої підготовки в автоматизованому режимі;

– провести об’єктивний поділ умінь на прості і складні навички для кожного слухача (пілота).

**У першому розділі** обґрунтовано необхідність навчання пілотів на тренажері, що забезпечує підвищення рівня підготовки, скорочення часу підготовки і як наслідок заохочення коштів. Виконано аналіз статистики аварійності вертольотів в Україні за рахунок «людського фактора». Доведено необхідність врахування цього фактора при плануванні навчання на тренажері.

Обґрунтована необхідність розбиття всього поля професійної діяльності пілота на окремі епізоди (одиничні тренінги), поведінка в яких приводить або не приводить до небажаних наслідків. В рамках відпрацювання одиничних тренінгів пілот набуває відповідні одиничні навички, які потрібно розбити на прості та складні.

Аналіз навчання на тренажерах, використовуваних в процесі засвоєння пілотами ВВ, показав, що в цьому середовищі відсутні автоматизовані системи управління засвоєнням ВВ. Відсутність зазначених систем не дозволяє оперативно і об’єктивно оцінити поточний рівень засвоєння пілотами ВВ і, при необхідності, привести зазначений рівень до необхідному з урахуванням індивідуальних особливостей пілотів по сприйняттю інформації. Це обумовлено, насамперед, відсутністю спеціальної бази знань, що дозволяє автоматизувати процес засвоєння ВВ. У свою чергу формування спеціальної бази знань для автоматизованої системи управління засвоєнням ВВ неможливо через недосконалість існуючого алгоритмічного забезпечення.

Обґрунтовано такі оцінки ефективності навчання на тренажері:

– критерій, що враховує кількість аварій в залежності від типів навичок за якими вони виникли;

– критерій вірогідності виникнення помилки при виконанні одиничного тренінга;

– критерій, що враховує кількість помилок при виконанні одиничного тренінга;

– критерій нанесеного збитку внаслідок незадовільного виконання одиничного тренінга;

– критерій успішності при виконані простих та складних навичок.

На базі вищенаведеного у дисертаційній роботі запропоновано нову методику підвищення ефективності навчання пілотів на тренажері, яка полягає у вирішенні наступних задач:

– розробка автоматизованої системи керування навчанням вертольотоводінню;

– оптимізація навчальних планів згідно аварійності вертольотів;

– оптимізація навчальних планів за критерієм успішності з урахуванням індивідуальних особливостей пілота.

Відповідно до вказаної вище методики врахування індивідуальних особливостей реалізується за наступним фактором: швидкість засвоєння навичок, Структурну схему процесу оптимізації навчального плану за критерієм успішності з урахуванням індивідуальних особливостей пілотів показано на рис.1.



Рис. 1. Структурна схема процесу оптимізації навчального плану за критерієм  
успішності з урахуванням індивідуальних особливостей пілотів

**У другому розділі** обґрунтовано створення автоматизованих систем управління засвоєнням ВВ на основі спеціальної бази знань предметної області дозволить подолати основні недоліки існуючих тренажерів і забезпечить ведення процесу засвоєння ВВ з урахуванням поточного рівня засвоєння ВВ, а також індивідуальних особливостей пілотів.

Вирішити завдання забезпечення необхідного рівня засвоєння пілотами ВВ можливо, шляхом створення АСУЗ ВВ. Її відмінною особливістю є наявність підсистеми, що працює зі спеціальними знаннями предметної області та дозволяє вести засвоєння пілотами ВВ з урахуванням аварійності наявного рівня засвоєння ВВ, а також індивідуальних особливостей по сприйняттю інформації. Основу підсистем, що працюють зі спеціальними знаннями предметної області, становить база знань (БЗ). Для її формування та використання необхідна розробка відповідного алгоритмічного забезпечення БЗ для АСУЗ ВВ на основі широкого використання інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ).

Структуру досліджень, при створенні бази знань, можна представити таким кортежем:

<Мз, Апр, Апз, Мсплв>, (1)

де Мз – модель подання знань в спеціальній базі знань АСУЗ ВВ; Апр – алгоритм набуття знань; Апз – алгоритм поповнення знань; Мсплв – модель структуризації правил логічного висновку.

Проведено розробку алгоритмів придбання та поповнення знань в базі знань АСУЗ ВВ.

На підставі результатів аналізу предметної області показано, що для формалізації бази знань АСУЗ ВВ необхідно представляти знання переважно у вигляді мереж фреймів. Особливістю мережі фреймів в БЗ є неоднорідність відносин в мережі.

Для реалізації такої моделі в БЗ застосовані неоднорідні семантичні мережі, в яких вершини представляють собою безліч впорядкованих пар типу «фрейм-відношення», а ребра – зв’язки між фреймами, які мають різні мітки, що мають різні алгебраїчні властивості, різну семантику і, тому, різні процедури інтерпретації.

Наявність функції автоматизованого формування навчально-тренувальної операції (НТО) істотно розширюють можливості АСУЗ ВВ, з автоматизації засвоєння пілотами ВВ.

Формування НТО здійснюється на основі їх моделей. На рівні, інваріантному до предметної області та вигляду освоюваного об’єкта, модель НТО M*t* являє собою кортеж

M*t* = <A, D, С, M*s*, M*su*, V, V*u*, M*as*, O*v*, O*a*>, (2)

де А – мета (що потрібно від слухача, якого навчають, яку діяльність необхідно виконати); D – вихідні дані; С – обмеження, які мають бути враховані у разі виконання НТО; M*s* – модель ситуації (в залежності від призначення і вигляду АСУЗ ВВ, цей компонент може відповідати моделям досліджуваного об’єкта, середовища професійної діяльності тощо); M*su* – інформаційна модель, що описує спосіб представлення М*s*, а також засоби оперування нею в рамках системи; V – результати (відповіді); V*u* – опис способу введення результату; М*as* – еталонна модель діяльності; O*v* – функція оцінювання результату; О*а* – функція оцінювання діяльності.

Компоненти A, D і С відповідають постановці завдання на виконання НТО. У моделі ситуації виділимо три складові:

M*s* = (S (M*s*), V (M*s*), I (M*s*)), (3)

де S (M*s*) – структура M*s*; V (M*s*) – значення параметрів M*s*; I (M*s*) – інтерпретація M*s*.

Ґрунтуючись на наведеному вище підході, узагальнену структурну модель АСУЗ ВВ можна представити у вигляді, показаному на рис. 2.

**У третьому розділі** проведено розробку методики підвищення ефективності навчання на тренажері за рахунок оптимізації навчальних планів на онові запропонованих у роботі критеріїв.



Рис. 2. Узагальнена структурна модель

Основну частину навчального часу необхідно приділити тим навичкам, котрі впливають на аварійність, з причини «людського фактора», і завдають максимальних збитків вертольоту і навколишньому середовищу, при їх неправильному виконанні. Тому, 80% усього навчального часу відводиться на вивчення і відпрацювання тих навичок, котрі зв’язані з аварійністю. Решта 20% навчального часу розподіляються між навичками на основі врахування індивідуальних особливостей. У відповідності до вищесказаного, загальна структурна схема алгоритмічного забезпечення системи оптимізації навчального плану зображена на рис. 3.



Рис. 3. Система оптимізації навчального плану

Дуже важливим фактором є початкові знання пілотів, з якими вони розпочинають процес навчання на тренажерах. Знання цього фактора, значення якого може бути отримано для кожного слухача в результаті попереднього тестування, дозволять розділити всіх слухачів на 3 групи: сильні, середні і слабкі, що зменшить витрати на навчання і цим самим підвищить його ефективність.

Поставлено завдання оцінювання ефективності використання тренажера.

Визначимо оптимальний час відпрацювання *i*-ї навички у відповідності з критерієм, що визначає сумарну кількість всіх аварій внаслідок неякісної реалізації одиничних навичок, за якими проводиться навчання на тренажері, допущених пілотами вертольотів за розглянутий період



(4)



де – кількість аварій з причини поганого виконання -ї одиничної навички; *р* – загальна кількість навичок, якими повинен володіти пілот вертольота.



При цьому

(5)



*ti = tiе + tiа;* (6)

де *Тсум* – загальний час навчання пілота вертольота на тренажері; – час, необхідний для оволодіння -ю одиничною навичкою, *tiе –* час, розподілений відповідно до експертних оцінок,  *tiа* – час, розподілений відповідно до наступного алгоритму.



У роботі розроблено алгоритм оптимізації навчального плану за даним критерієм на основі використання коефіцієнта важливості. Визначимо важливі тренінги, по яким будемо розглядати час навчання згідно зі статистикою аварійності під час їх виконання (алгоритм розрахунку коефіцієнта важливості). Для визначення цих тренінгів необхідно скористатися навчальним планом.

Тоді алгоритм навчання за даним критерієм можна представити так.

Приймаємо коефіцієнти важливості у разі уникнення аварій за навичками.

(7)



де – коефіцієнт важливості за -ми навичками;– кількість аварій за *m*-ї причини, наприклад:– загальна кількість аварій;– кількість аварій, спричинених технічною поломкою. Кількість аварій і причини, які їх спричинили, дізнаємося зі статистики аварійності.



У роботі наведено приклад розрахунку навчального плану за цим алгоритмом.

Для кількісної оцінки пілота і ризику виникнення аварійної ситуації вводиться поняття імовірності здійснення ним помилки. Призначення тренажеру при такому підході – максимально зменшити імовірність здійснення пілотом помилки по кожному тренінга або по темі зі всієї множини дій у полі професійної діяльності.

Показано, що існує деякий час тренінга для отримання деякої конкретної навички управління в певній ситуації, після якого пілот припиняє робити помилки (на тренажері). Чим менше значення за інших рівних умов, тим ефективніші технічні засоби і методика проведення тренінга, і середня оцінка може служити оцінкою процесу розробки і удосконалення навчального процесу, здійснюваного на тренажері. Зменшення середнього за множиною тренінгів значення дозволяє проводити в обмежений час більшу кількість тренінгів і, отже, збільшувати загальну величину збитку (ризику, штрафу), якого можна запобігти в результаті тренінгів.



Залежність критерію помилок у вигляді лінійної функції (лінійна апроксимація) зображена на рис. 4.

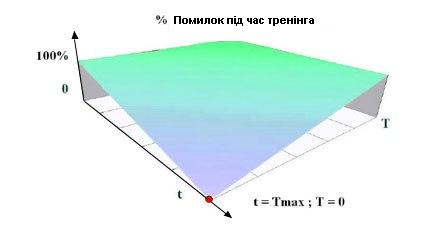


Рис. 4. Критерій кількості здійснюваних помилок

Якщо будувати залежність критерію помилок для часу закінчення тренінга і початку післятренінгового періоду , то критерій помилок потрібно апроксимувати у вигляді прямої де – час, – відсоток помилок через час *t* – отримуємо систему:



(8)



де – час завершення груп тренінгів; – відсоток помилок у кожній групі



(9)



(10)



Для переходу в векторно-матричну форму сформуємо матрицю *Т*,

(11)



тоді рівняння (9) можна представити у вигляді:

(12)



Використовуючи метод найменших квадратів визначаємо значення вектора *a*

(13)



Пряма перетинає вісь абсцис у точці , яка може слугувати умовною оцінкою мінімальної тривалості тренінга, забезпечуючого безпомилкову роботу слухача на тренажері. Величина знаходиться зі співвідношення



(14)



(15)



(«правильна» пряма, яка відображає факт зменшення кількості помилок протягом навчання, нахилена зліва направо і коефіцієнт буде від’ємним).



У роботі наведено приклад розрахунку навчального плану за критерієм помилок.

В якості критерію оцінки ефективності навчання на тренажері запропоновано використовувати сумарний середній збиток під час здійснення пілотом помилок за темами всіх одиничних тренінгів на реальному вертольоті.

Нехай, можливі збитки від невиконання тренінга . Для випадку лінійної апроксимації площа трикутника під кривою для розрахунку –



(16)



де – точка графіка при .



Отримуємо

; (17)



, (18)



для груп слухачів (пілотів) і груп тренінгів – використовуємо середні величину коефіцієнтів лінійної апроксимації і . Розрахунок і для аналогічний.



Загальний оптимальний план тренінгів, що забезпечує максимальну ефективність від усієї множини пройдених тренінгів будуватимемо так. Умовно розділимо критерій ефективності за кожним видом одиничного тренінга на рівні відрізки часу рис. 5.

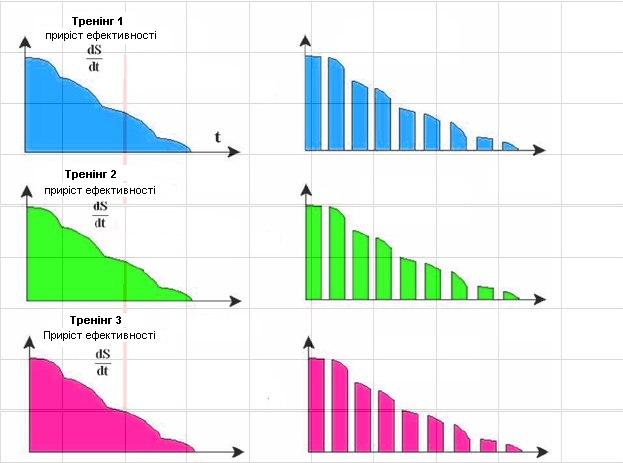


Рис. 5. Співставлення критеріїв ефективності для групи різних одиничних тренінгів

Беручи до уваги те, що питома вартість хвилини для різних тренінгів може відрізнятися (наприклад, використовуються тренажери різної вартості), побудуємо послідовність відрізків, починаючи з відрізка, що має найбільше співвідношення «ефективність – вартість» і до відрізка з найменшою величиною цього значення. Якщо вартість хвилини тренінгів збігається, то ранжування відбудеться просто за величиною питомої ефективності .



Відмітимо, що при врахуванні питомої вартості тренінга, виникає величина, альтернативна , а саме оптимальний час , за який питома ефективність стає рівною питомій вартості тренінга. Навчати далі сенс є – часу ще не досягнено, однак навчання більше часу являється умовно збитковим.



Отримуємо оптимальну множину для всіх видів тренінгів. Підсумковий час занять на такому графіку, являється сумою всіх (або ) для всіх графіків виду, показаного на рис. 4. Тепер переходимо до процедури обмеження справа від цієї множини за критерієм максимально дозволеної тривалості періоду навчання. У результаті виходить детальний план, у якому описано загальний час тренінгів (занять) кожного виду.



Задачу оптимізації навчального плану в даній постановці можна розглядати як задачу лінійного програмування, що може бути вирішена з використанням симплекс-метода.

В роботі розв’язана задача оптимізації навчального плану за критерієм успішності з урахуванням індивідуальних особливостей сприйняття інформації для трьох груп (сильна, середня, слабка) на основі використання моделей сприйняття інформації при засвоєнні простих та складних навичок.

Критерій успішності має вигляд:

(19)



де нормована оцінка якості навчання, коли максимальний рівень засвоєння прийнятий за одиницю; - поточний номер простої навички; - персональний показник швидкості засвоєння простої навички, персональный показатель скорости освоения простого навыка, підлягаючий ідентифікації; - показник степеня, змінюваний в залежності від індивідуальних особливостей слухача; , - загальне число простих та складних навичок; - нормована оцінка якості навчання; - поточний номер складної навички; - номер навчальної групи; - відведений на навчання час; , - персональний показник швидкості засвоєння складної навички, підлягаючої ідентифікації; - показник степеня, збільшення якого підкреслює логістичний характер навчання; , - коефіцієнти відносної важливості засвоєння простих та складних навичок, які разом з параметрами ,, , в даному прикладі вважаються заданими, якщо за оптимум взяти максимальну сумарну (або середню) успішність всього контингенту при врахуванні лінійних обмежень.



В якості метода оптимізації було використано комбінований метод штрафних функцій.

Задача на умовний мінімум зводиться до розв’язку послідовності задач пошуку мінімума змішаної допоміжної функції:

(20)



або

(21)



де – параметр штрафу, – *n* + *m-*мірний вектор тривалості відпрацювання одиничних навичок і функція обмежень які визначають множину допустимих розв’язків *Х* (у нашій задачі *l* = 1, *p* = *n+m*).



(22)



Початкова точка задається так, щоб обмеження-нерівності строго виконувались: . На кожній *k*-й ітерації шукається точка мінімума змішаної допоміжної функції при заданому параметрі за допомогою одного з методів безумовної мінімізації. Отримана точка використовується в якості початкової на наступній ітерації, виконуваній при зменшенні значення параметра штрафу. При послідовність точок прямує до точки умовного мінімума .



У роботі наведено приклад розрахунку навчального плану за критерієм успішності.

Для розв’язку задачі оптимізації за наведеними критеріями необхідно попередньо оцінити параметри математичних моделей засвоєння простих та складних навичок для навчальних груп з різним рівнем успішності. Для розв’язання задачі параметричної ідентифікації у роботі було розроблено узагальнену схему глобальної оптимізації з використанням генетичного алгоритму.

**У четвертому розділі** розроблено структуру програмного забезпечення системи оптимізації навчального плану навчання на тренажері, наведено опис інтерфейсу користувача. На підставі розробленого програмного забезпечення вироблено оптимальний перерозподіл часу навчання окремим навичкам на вертолітному тренажері.

**У додатку 1** виконана класифікація авіаційних подій, проаналізовано статистичні дані вертолітних аварій, що дає можливість розрахувати коефіцієнт ступеня впливу «людського фактора» (коефіцієнта значимості).

**У додатку 2** визначено необхідність попереднього тестування, розроблені структура і склад системи тестування, запропоновані методики контролю знань, розроблено алгоритмічне забезпечення контролю знань.

**У додатку 3** представлені акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

**ВИСНОВКИ**

1. Виконано класифікацію авіаційних подій, проаналізовано статистичні дані вертолітних аварій, що дає можливість розрахувати коефіцієнт ступеня впливу «людського фактора» (коефіцієнта значимості).
2. Розроблено новий підхід до навчання пілотів вертольотів на тренажері, який полягає у розробленні автоматизованої системи управлінням процесом навчання вертольотоводінню і оптимізації навчальних планів згідно аварійності вертольотів внаслідок впливу «людського фактора» і врахування рівня початкової підготовки індивідуальних якостей пілота.
3. Розроблена методика автоматизованого формування навчально-тренувальних операцій. Технологічне вирішення даної задачі дозволяє сформувати навчально-тренувальні операції для пілотів вертольотів з урахуванням поточного рівня засвоєння вертольотоводіння, індивідуальних особливостей сприйняття інформації.
4. Розроблено два алгоритми оптимізації навчальних планів навчання пілотів вертольотів на тренажері згідно аварійності вертольотів внаслідок впливу «людського фактора», перший з яких базується на розрахунку коефіцієнта важливості по результатам аналізу аварійності, а другий – на використанні функціонала можливого нанесеного збитку в результаті реалізації одиничної навички.
5. Розроблено методику паралельного засвоєння навичок в процесі навчання на тренажері, що базується на мінімізації критерію можливого нанесеного збитку, з урахуванням обмеження на сумарний час навчання на тренажері.
6. Розроблено алгоритм оптимізації навчальних планів навчання пілотів вертольотів на тренажері по критерію успішності, враховуючий рівень початкової підготовки і індивідуальні якості пілота (швидкість засвоєння навичок) на основі використання комбінованого методу штрафних функцій, що забезпечило більш точну оцінку необхідного часу на кожен з них для досягнення необхідного рівня підготовки.
7. Розроблено алгоритм ідентифікації параметрів, враховуючих індивідуальні особливості пілотів при засвоєнні простих та складних навичок на основі використання генетичного алгоритму.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Шмелев Ю. Н. Границы дихотомического анализа при исследовании предпосылок авиационных происшествий в период летной подготовки курсантов и методы применения обобщённых оценок / Ю. Н. Шмелев, Ю. В. Грищенко, В. Д. Гуленко // Електроніка та системи управління, № 4(22) – К.: НАУ, 2009. – С. 28 – 35.

2. Sineglazov V. M. Improving the efficiency of helicopter pilots training in the simulator / V. M. Sineglazov, Ju. M. Shmelev // Electronics and Control Systems, N 3(37) – Kyiv: NAU, 2013. – pp. 120 – 123.

3. Sineglazov V. M. Estimation of helicopter pilots training efficiency in the simulator / V. M. Sineglazov, Ju. M. Shmelev // Electronics and Control Systems, N 4(38) – Kyiv: NAU, 2013. – pp. 104 – 107.

4. Sineglazov V. M. Simulator training optimization / V. M. Sineglazov, Ju. M. Shmelev // Electronics and Control Systems, N 1(39) – Kyiv: NAU, 2014. – pp. 63–66.

5. Sineglazov V. M. Training time optimization in simulator / V. M. Sineglazov, Ju. M. Shmelev // Electronics and Control Systems, N 2(40) – Kyiv: NAU, 2014. – pp. 92–97.

6. Sineglazov V. M. Improving the efficiency of development process of automated helicopter flying / V. M. Sineglazov, Ju. M. Shmelev // Electronics and Control Systems, N 3(41) – Kyiv: NAU, 2014. – pp. 97–103.

7. Шмелев Ю. Н. Границы дихотомического анализа при исследовании предпосылок авиационных происшествий в период летной подготовки курсантов и методы применения обобщённых оценок / Ю. Н. Шмелев // XII Міжнародна науково-практична конференція. «Людина і космос. Випереджуючи час» Національне космічне агенство України. Національний центр аерокосмічної освіти молоді ім. О.М. Макарова. Дніпропетровськ 2010. C. 634–637.

8. Шмелев Ю. Н. Границы дихотомического анализа при исследовании предпосылок авиационных происшествий в период летной подготовки курсантов / Ю. Н. Шмелев // ІІ Всеукраїнська науково-практична конференція. “Авіація та космонавтика” Національне космічне агенство України. Національний центр аерокосмічної освіти молоді ім. О. М. Макарова. Кривий Ріг. 2011. C. 78–81.

9. Shmelev Ju. M. The optimal redistribution time of simulator training / Ju. M.Shmelev // The sixth world congress “Aviation in the XXI-st century” Safety in Aviation and Space Technologies.Ukraine. National Aviation University, September 23-25, 2014. рр. 1.8.54–1.8.57.

10. Shmelev Ju. M. Simulator training optimization of UAV external pilots / Ju. M.Shmelev // IEEE 3rd International Conference “Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)”. Proceedings. Kyiv, Ukraine. (October 14–17, 2014). – K.: NAU. – 2014. – pp. 75–78.

**АНОТАЦІЯ**

**Шмельов Ю. М. Оптимізація навчання пілотів вертольотів на тренажері.** – *Рукопис.*

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.07.14 – Авіаційно-космічні тренажери. – Національний авіаційний університет, Київ, 2015.

Дисертаційну роботу присвячено підвищенню ефективності навчання пілотів вертольотів на тренажері шляхом створення автоматизованої системи керування засвоєнням вертольотоводіння на основі спеціальної бази знань, що дозволяє автоматизувати процес засвоєння вертольотоводіння. На підставі результатів аналізу предметної області показано, що для формалізації бази знань автоматизованої системи керування процесу засвоєння вертольотоводіння необхідно представляти знання переважно у вигляді мереж фреймів. Формування навчально-тренувальних операцій здійснюється на основі їх моделей. Типи навчально-тренувальних операцій, які формуються виділяються на основі співвідношення постійних і змінних компонентів в їх моделях.

У дисертаційній роботі обґрунтовано необхідність розробки системи оптимізації навчального плану навчання на тренажері. Найбільш важливими факторами, що впливають на засвоєння однієї навички є такі: коефіцієнти ступеня впливу «людського фактора» (коефіцієнти значимості), швидкість засвоєння навички. Розроблено алгоритми визначення часу навчання за кожною навичкою.

**Ключові слова:** автоматизована система керування засвоєнням вертольотоводіння, система оптимізації навчального плану навчання, тренажер.

**АННОТАЦИЯ**

**Шмелев Ю. Н. Оптимизация обучения пилотов вертолетов на тренажере.** – *Рукопись.*

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05*.*07.14 – Авиационно-космические тренажеры. – Национальный авиационный университет, Киев, 2015.

Диссертационная работа посвящена повышению эффективности обучения пилотов вертолетов на тренажере путем создания автоматизированной системы управления освоением вертолетовождением на основе специальной базы знаний, позволяющей автоматизировать процесс освоения вертолетовождения. На основании результатов анализа предметной области показано, что для формализации базы знаний автоматизированной системы управления процесса освоения вертолетовождения необходимо представлять знания преимущественно в виде сетей фреймов. Формирование учебно-тренировочных операций осуществляется на основе их моделей. Типы формируемых учебно-тренировочных операцийвыделяются на основе соотношения постоянных и переменных компонентов в их моделях.

В диссертационной работе обоснована необходимость разработки системы оптимизации учебного плана обучения на тренажере. Наиболее важными факторами, влияющими на освоение одного навыка, являются следующие: коэффициенты степени влияния «человеческого фактора» (коэффициенты значимости), уровень освоения предшествующих навыков, на которых базируется рассматриваемый, скорость освоения навыка. Разработаны алгоритмы определения времени обучения по каждому навыку.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления освоением вертолетовождением, система оптимизации учебного плана обучения, тренажер.

**ABSTRACT**

**Shmelev Y. N. Optimization of helicopters’ pilots training in the simulator.** – *Manuscript*.

The dissertation on scientific degree competition of candidate of technical Sciences, specialty 05.07.14 – Aerospace simulators. National Aviation University, Kyiv, 2015.

The thesis is devoted to improving the effectiveness of helicopters’ pilots training in the simulator by creating an automated management system for mastering the helicopters’ driving on the basis of special knowledge base, allowing to automate the process of mastering the helicopters’ driving. Based on the results of the analysis it is shown that for the knowledge base formalization of automated process of mastering the helicopters’ driving it is necessary to present knowledge mainly in the form of network frames. The formation of the training operations is carried out on the basis of their models. Types generated by training operations are allocated based on the ratio of fixed and alternating components in their models.

In the work the necessity of optimization of the training development system on the simulator is grounded. The most important factors influencing the development of one skill are as follows: the coefficients of the influence degree of the human factor (factors of significance), the level of development of the previous skills that underpin considered, speed of mastering the skill. The algorithm for determining the time of training for each skill is created.

**Keywords:** automated process of mastering the helicopters’ driving; optimization of the training development system; training simulator.

Підписано до друку 03.07.2015. Формат 60×84/16. Папір офс.

Офс. друк. Ум. друк. арк. 1,16. Обл. вид. арк. 1,25.

Наклад 100 прим. Замовлення №28-02/13

Видавець і виготівник

Національній авіаційний університет

03680, Київ–58, пр-т Космонавта Комарова, 1.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру серія ДК № 977 від 05.07.2002