На правах рукописи

БОРИСОВ ВЛАДИМИР ЕВГЕНЬЕВИЧ

МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТРЕНАЖЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ ДИСПЕТЧЕРОВ УВД

Специальность: 05.22.13 – Навигация и управление воздушным движением

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ульяновск – 2022

Работа выполнена в Ульяновском институте гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева.

Научный руководитель — Заведующий кафедрой «Навигационного обеспечения полетов и аэронавигационной информации» в некоммерческом образовательном учреждении дополнительного профессионального образования «Институт аэронавигации», доктор технических наук, доцент,
Борсоев Владимир Александрович.

Официальные оппоненты — Заведующий кафедрой 406 «Радиофизика, антенны и микроволновая техника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», заслуженный работник транспорта РФ, доктор технических наук, профессор,
Нечаев Евгений Евгеньевич.

Ведущий сотрудник департамента по системам и средствам ОрВД и продукции двойного назначения акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры» общества с ограниченной ответственностью «Концерн ВКО Алмаз-Антей», кандидат технических наук,
Княжский Александр Юрьевич.

Ведущая организация — Акционерное общество «Азимут».

Защита состоится «22» июня 2022 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д.223.012.01 на базе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации» по адресу: 196210, г. Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д. 38.Тел.: (812) 704-18-18, Факс: (812) 704-18-63, e-mail: info@spbguga.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО СПбГУ ГА и на сайте https://spbguga.ru/root/main/ob-yavleniya-o-zashchite-dissertatsij/.

Автореферат разослан «21» апреля 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д.223.012.01,
канд. техн. наук, доц. Н.Е. Баранов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

В условиях трансформирования аэронавигационной системы, безопасность полетов остается нависшим приоритетом ее деятельности. Стратегия развития транспортной системы России, в качестве одной из задач государственной транспортной политики предусматривает обеспечение безопасности полетов на приемлемом уровне.

Актуальность темы научно-исследовательской работы обусловлена дальнейшим развитием теории, методологии и совершенствования системы подготовки и переподготовки специалистов УВД на базе использования тренажерных и моделирующих комплексов в условиях внедрения новых методов навигации и современных технологий обслуживания воздушного движения.

Степень разработанности темы исследования.

В настоящее время исследования в области подготовки авиационного персонала направлены на внедрение автоматизированных средств теоретического обучения. Опубликован ряд научных работ следующих авторов, внесших существенный вклад в области изучения проблем подготовки авиационного персонала: Крыжановского Г.А., Коваленко Г.В., Плясовских А.П., Нечаева Е.Е., Косачевского С.Г., Борсоева В.А., Далецкого С.В., Рухлинского В. М., Куклева Е.А., Елисова Л. Н., Карповой И.П., Красовского А. А., Чинючина Ю. М., Артемова А. Д., Литвиненко А. А., Земского Н.А., Изотова Б.А., Елисеева Б. П., Айдаркина Д.В., Захаровой О.Г. и других.

Предыдущие исследования в области автоматизации обучения были направлены, в основном, на автоматизацию теоретической подготовки и внедрение автоматизированных обучающих систем (АОС) для теоретического обучения авиационного персонала. Остаются не разработанными вопросы автоматизации практической (тренажерной) подготовки диспетчеров УВД.

Цели исследования.

Целью исследования является решение актуальной научной проблемы повышения эффективности подготовки диспетчеров УВД, посредством разработки научно обоснованных методов, средств и организации тренажерной подготовки специалистов по управлению воздушным движением на базе использования тренажерных и моделирующих комплексов.

Задачи исследования:

1) Анализ новых условий деятельности, существующих методов подготовки, используемых тренажерных и моделирующих комплексов, а также путей и способов совершенствования тренажерной подготовки диспетчеров УВД.

2) Разработка метода автоматизации тренажерной подготовки с определением критериев уровня подготовки, алгоритмов функционирования и требований к архитектуре тренажерных систем для подготовки диспетчеров УВД.

3) Разработка метода автоматизации управления процессом обучения с целью оптимизации тренажерной подготовки. Оценка эффективности предлагаемых решений.

4) Разработка научно-практических рекомендаций по технической разработке автоматизированных модульных тренажерных систем и внедрение методов повышения эффективности подготовки диспетчеров УВД.

Объект и предмет исследования.

Объектом исследования является система подготовки диспетчеров УВД. Предмет исследования – процессы автоматизации тренажерной подготовки диспетчеров УВД.

Методы исследований.

В процессе выполнения исследования использовались математические методы исследования операций, математическое программирование, теория вероятностей и математической статистики.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней:

– впервые разработан и доведен до практической реализации метод автоматизации тренажерной подготовки диспетчеров УВД, основанный на количественной оценке навыков путем автоматического измерения оценочных параметров, как частных показателей, определяющих степень подготовки и автоматизации обучающего воздействия на основе измеренных оценочных параметров;

– впервые разработан метод автоматизации управления процессом тренажерной подготовки основанный на процедуре выбора шага итерации в многошаговых алгоритмах адаптации и обучения для многомерных задач оптимизации;

– впервые разработан метод организации тренажерной подготовки диспетчеров УВД, основанный на приобретении набора компетенций декомпозированных на совокупность упражнений по выработке отдельных навыков поддающихся инструментальной оценке с автоматизацией обучающих воздействий и вариативным освоением программы;

– разработаны научно-практические рекомендации по созданию тренажерных систем, с функцией автоматизации подготовки и модель автоматизированного обучения диспетчеров УВД с определением критериев уровня подготовки;

– обоснованы требования к перспективным тренажерным системам на основе проведенных исследований. Предложны новые требования к архитектуре модульных тренажеров для подготовки диспетчеров УВД с функцией автоматизации управления процессом обучения.

Теоретическая значимость исследования.

Содержащаяся в диссертации совокупность идей и подходов создают предпосылки для решения проблемы повышения эффективности подготовки диспетчеров УВД.

Практическая значимость исследования.

Полученные в диссертации научные результаты позволяют внедрить в процесс подготовки и переподготовки авиационного персонала новые методы

обучения позволяющие повысить эффективность подготовки диспетчеров УВД за счет автоматизации отдельных этапов обучения на тренажере.

Достоверность и обоснованность.

Достоверность полученных научных результатов обеспечена корректным использованием адекватного решаемым задачам математического аппарата, и подтверждается соответствием результатов исследований известным из литературы результатам по рассматриваемой тематике, а также подтверждается актами о внедрении.

Личный вклад автора состоит в разработке метода автоматизации подготовки диспетчеров УВД на тренажере с определением критериев уровня подготовки, разработке требований к созданию тренажерных систем с функцией автоматизации обучения и управления процессом обучения, разработке автоматизированного модульного тренажера для подготовки диспетчеров УВД и апробации полученных результатов.

На защиту выносятся:

1) Метод автоматизации тренажерной подготовки с определением критериев уровня подготовки, позволяющий создать алгоритмы функционирования автоматизированных тренажерных систем.
2) Метод автоматизации управления процессом тренажерной подготовки основанный на процедуре выбора шага итерации в многошаговых алгоритмах адаптации и обучения.
3) Метод организации тренажерной подготовки диспетчеров по управлению воздушным движением на базе использования автоматизированных тренажерных комплексов.
4) Научно-практические рекомендации по технической разработке модульных тренажерных систем для автоматизированной подготовки диспетчеров УВД.

Внедрение результатов работы.

Основные результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс в Ульяновском институте гражданской авиации при проведении тренажерной подготовки курсантов специализации 25.05.05-02 «Организация использования воздушного пространства» и при подготовке специалистов УВД по военно-учетной специальности 062700 «Боевое управление полетами авиации с пунктов управления», что подтверждается соответствующими актами о реализации.

Апробация работы.

Материалы диссертации докладывались на:

VIII Международной молодежной научной конференции «Гражданская авиация: XXI век» (Ульяновск, 2016 г.);

Конференции «Аэронавигация. Перспективы развития навигационного обеспечения» (М., 2017 г);

Международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества» (М., 2018 г.);

VI Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки» (ВУНЦ ВВС «ВВА», Воронеж, 2019 г.);

Научной конференции «Состояние и перспективы развития аэронавигационной системы России» (М., 2019 г.);

VII Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки» (ВУНЦ ВВС «ВВА», Воронеж, 2020 г.);

II Научно-практической конференции преподавателей, слушателей и студентов «Современные тенденции использования воздушного пространства и перспективные системы обеспечения полетов» (М., 2020 г.).

IX Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки», (ВУНЦ ВВС «ВВА», Воронеж, 2021 г.);

III Науч.-практ. конф. преподавателей, слушателей и студентов «Современные тенденции использования воздушного пространства и перспективные системы обеспечения полетов» (М., 2021г).

Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию МГТУ ГА «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества» (М., 2021 г.).

Публикации результатов.

Основные результаты диссертации опубликованы в 26 печатных работах (100 с.), в том числе 4 публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (36 с.), 18 публикациях в трудах международных и всероссийских конференций (53 с.), 4 публикациях в прочих изданиях (11 с.), а также были опубликованы тезисы 8 докладов.

Структура и объем диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, перечня сокращений, списка литературы и приложения. Общий объем работы составляет 155 страниц текста. Диссертация содержит 11 таблиц, 57 рисунков, список используемых источников из 97 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрыта решаемая проблема и обоснована актуальность диссертационной работы.

Внедрение новых навигационных процедур и технологий аэронавигационного обслуживания полетов ВС, кроме очевидных преимуществ, создает целый диапазон рисков возникновения краткосрочных конфликтных ситуаций. При этом создаются новые условия работы диспетчеров УВД, связанные с неопределенностью информации и острым дефицитом времени, однако существующие методы их подготовки не позволяют эффективно решать новые задачи обслуживания воздушного движения (ОВД).

В первой главе диссертации проведен анализ условий деятельности, существующих методов и технических средств подготовки диспетчеров УВД.

Практическая подготовка диспетчера УВД,, вследствие опосредованного характера его деятельности, когда в процессе восприятия информации о действительной воздушной обстановке, отметки воздушных судов воспринимаются как динамические объекты характеризующиеся совокупностью параметров их движения по отношению к статическим объектам воздушного движения, проводится с использованием тренажера УВД, представляющего собой устройство, имитирующее с заданной степенью достоверности реальную среду ОВД, средства управления и отображения информации реального рабочего места диспетчера УВД.

Анализ показал, что ни один из известных тренажеров не реализует функцию объективной инструментальной оценки профессиональных навыков диспетчеров УВД. Предыдущие исследования, связанные с автоматизацией обучения авиационного персонала в основном сводились к автоматизации теоретического обучения.

На основе проведённого анализа определены цели и сформулированы основные задачи диссертационного исследования, а так же представлены основные положения, выносимые на защиту.

Во второй главе диссертации представлены разработанные методы автоматизации тренажерной подготовки диспетчеров УВД.

При решении задачи автоматизации тренажерной подготовки в качестве целевой функции выбран критерий оптимальности *U(t)*, модель объекта управления:

$$Z_1 = F(U, Z, w),\ U \in Y_U,\ Z \in Y_Z \tag{1}$$

где Z – входное состояние объекта управления; $U(t)$ – управляющее воздействие; w – внутренние (внешние) возмущения; Y_U, Y_Z – ограничения, задаваемые свойствами процессов ОВД.

Функция непосредственного воздействия на обучаемого $F(U)$ зависит от множества параметров, в том числе от параметров косвенного воздействия:

$$F(U)S + AS = Z_\Sigma\ , \tag{2}$$

где $F(U)$ – целевая функция; $A=\{a_{ij}\}$ – матрица адекватности реальным условиям ($a_{ji} = 1$ при $k = j$ $a_{ik} = 0$).

Процесс тренажерной подготовки диспетчера УВД можно представить в виде:

$$F[U, Q, t]\dot{X}(t) + AX(t) = Z \tag{3}$$

$$X(t_0) \in S_x^{(0)}, \quad X(t_\infty) \in S_x^{(\infty)},$$

где $X(t)$ – вектор состояния процесса тренажерной подготовки, образуемый навыками; $F[U,Q,]$ матрица управления процессом тренажерной подготовки; A – матрица адекватности параметров обучающей системы реальным условиям работы; Z – заданный уровень подготовки; $S_x^{(0)}$ – область определения начального уровня подготовки; $S_x^{(\infty)}$ – область определения конечного уровня подготовки; $Q(t)$ – параметры косвенного воздействия в виде количества и сложности подзадач (упражнений); $U(t)$ – функция непосредственного управления на *i*-ой итерации.

Управляющее воздействие $F[U,Q,t]$ достигает оптимального значения показателя эффективности (минимального времени обучения T_Σ) при минимальных значениях дисперсии по всем I_j частных показателей:

$$\min_U \min_Q \left\{ \frac{T_\Sigma}{X} = Z + \varepsilon;\ F[U(t)] \in S_U^{(1)},\ Q(t) \in S_U^{(2)},\ Z \in Y_z \right\}, \qquad (4)$$

где $S_U^{(1,2)}$ – ограничения, задаваемые $U(t)$ и $Q(t)$, Y_z – ограничения, определяемы свойствами процессов ОВД.

В моделях (3), (4) управляющими функциями являются коэффициенты и другие параметры дифференциальных уравнений $F[U,Q,t]$.

Предложено процесс автоматизации подготовки диспетчера УВД построить в виде самонастраивающейся системы, в которой параметры воздействия обучающей системы $Q(t)$ задаются условиями выполнения упражнения (рисунок 1).

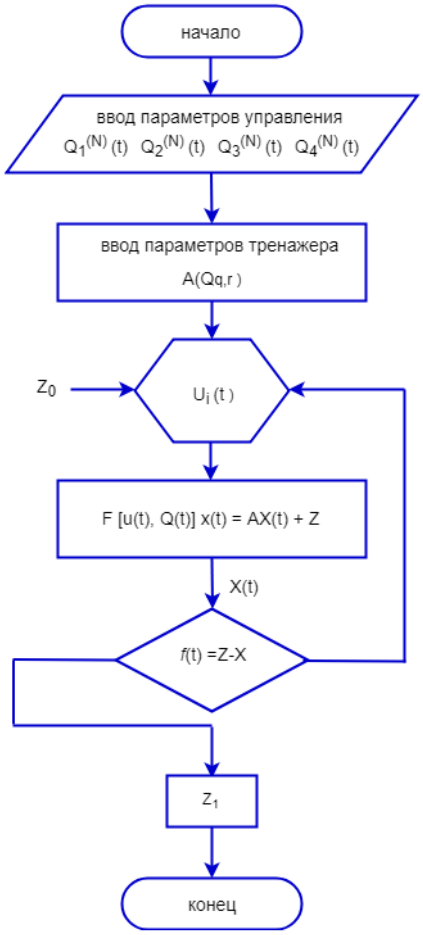

Рисунок 1 − Алгоритм процесса автоматизированного обучения

Условием оптимизации является взаимосвязь U, Q, со скоростью обучения $a^{(l)}$, и скоростью потери навыков $\gamma^{(k)}$ за время отсутствия тренировок $\tau_з$ а также скоростью восстановления навыков $\alpha^{(k)}$:

$$T(S = Z + \varepsilon) * f(\alpha, \gamma); f(\alpha, \gamma) * U, Q. \qquad (5)$$

Параметры U и Q удовлетворяют условию:

$$\left|\alpha^{(l,k)} - \alpha_p^{(l,k)}\right| \to \min, \gamma_p \to 0 \qquad (6)$$

где $a^{(l,k)}, \gamma \to 0$ – параметры для идеального процесса подготовки; $a^{(l,k)}, \gamma_p$ – параметры в реальных условиях.

Скорость приобретения навыков $a^{(l)}$ зависит от индивидуальных способностей обучающихся, т.е. $a^{(l)}$ имеет свои предельные значения $a_{пр}^{(l)}$. Поэтому минимальная $a_{пр}^{(l)}$ принята в качестве нормативного значения времени приобретения l навыков на N этапе подготовки.

Задача оптимизации подготовки на диспетчерском тренажере сводится к нахождению рационального значения α, и поиску оптимальных U и Q, при этом значение a будет стремиться к максимально предельному значению $a_{пр}$ $(\alpha \to \alpha_{пр})$.

На скорость обучения (значение α) можно влиять путем изменения загруженности обучаемого:

$$K_{загр.} = K_0(N)\lambda + K_{ПКС}(N), \qquad (7)$$

где N – число воздушных судов, находящихся одновременно на управлении; λ – интенсивность воздушного движения.

Поддержание заданного уровня загруженности основано на алгоритме перехода от входной функции $F(U,Q)$ к дискретной функции с заданными периодами квантования, в целях выбора количества воздушных судов в единицу времени, как выбора i-го выходного состояния с вероятностью $P_i(t)$ в момент времени t.

Для этого процесс развития сложного навыка по ОВД декомпозирован на упражнения, с выделением параметров, поддающиеся инструментальной оценке, как частных показателей, определяющих степень подготовки по k - му упражнению:

$$\overline{\Delta}_j = \sum_{i=1}^{N} \overline{\delta}_{i,j} \qquad \overline{T_j} = \sum_{i=1}^{N} \bar{t}_{i,j} \quad , \qquad (8)$$

где $\overline{\delta}_{i,j}$ – средняя ошибка определения выбранного параметра j-м обучаемым во время выполнения i-го упражнения; $\bar{t}_{i,j}$ – среднее время реакции j-го студента во время выполнения i-го упражнения.

Метод автоматизации управления процессом тренажерной подготовки основан на процедуре выбора шага итерации в многошаговых алгоритмах адаптации и обучения для многомерных задач оптимизации с регулированием

скорости обучения путем изменения степени загруженности обучаемого со стороны автоматизированной тренажерной системы (рисунок 2).

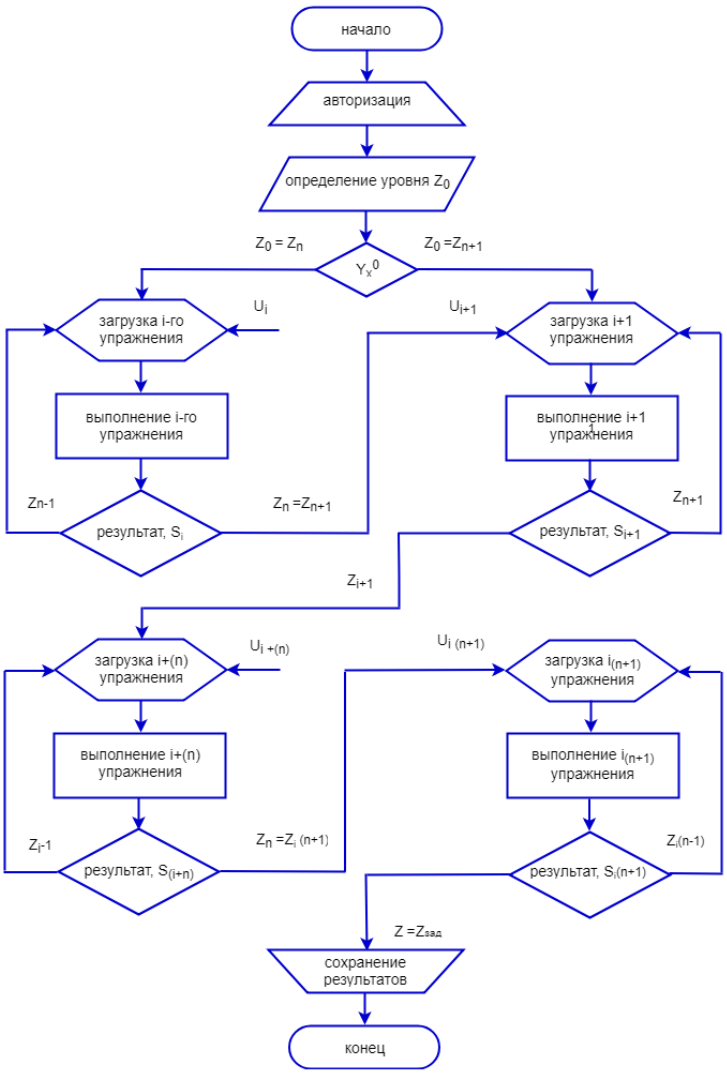

Рисунок 2 − Алгоритм выполнения распределительной задачи в тренажере

Сравнение текущих параметров с соответствующими заданными параметрами для конкретного упражнения позволяет получить совокупность частных показателей, характеризующие подготовку различным критериям:

$$Z_k = \sum_{n=1}^{S} W_n^k I_n \,, \tag{9}$$

где W_n^k – весовые коэффициенты, характеризующие меру значимости *n*-го частного показателя при выполнении k-го упражнения, $k = 1, m, I_n$ – частные показатели, определяющие уровень подготовки диспетчера УВД, *n=1,S*. При этом, соблюдается условие:

$$\sum_{n=1}^{S} W_n^k = 1 \quad W_n^k \geq 0 \,. \tag{10}$$

Сумма оценок по комплексу контрольных упражнений определяет итоговый уровень подготовки:

$$Z_s = \sum_{k=1}^{k=m} Z_k \ . \qquad (11)$$

Для представления оценки уровня подготовки частные показатели нормируются относительно предельных величин частных показателей:

$$I_n^н = I_n / I_n^p; \quad I_n^p \geq I_n; \quad 0 \leq I_n^p \leq 1 \qquad (12)$$

где I_n^p - нормированное значение частного показателя.

В третьей главе диссертационной работы приведены результаты практической реализации методов автоматизации тренажерной подготовки и разработки автоматизированных программно-аппаратных средств подготовки диспетчеров УВД.

Разбиение процесса тренажерной подготовки на *N*-этапы позволяет принять допущение о том, что функция *F(U,Q)* детерминирована в дискретных временных промежутках. При этом *f[nT]* определяет величину шага итерационного алгоритма. При выполнении условий сходимости $Z[nT] \to Z_1$, когда функция *f(U,Q)* не может быть задана аналитически, алгоритм оптимизации может быть представлен как:

$$Z[n] = Z(n-1) + f[nT]\nabla_Z F(U,Q)[nT]Z[n-1]. \qquad (13)$$

Программная реализация автоматизации управления процессом тренажерной подготовки, заключается в регулировании степени загруженности обучаемых $K_{загр} \to max$.

Для *N* упражнения заданной степени сложности *r*, постоянство плотности распределения во времени потока ВС, находящихся на одновременном управлении *W(t)* определяет постоянство загруженности *i* – обучаемого.

Условие достижения заданной степени подготовки для *N* упражнения записывается в виде неравенств:

$$S(n) \geq S_{пр} \ , \quad S(n+1) - S(n) \leq \sigma_S \ , \qquad (14)$$

где *S(n)* – целевой показатель степени подготовки на *N*-ом цикле; $S_{пр}$ – предельная степень освоения навыка (успешности выполнения учебной подзадачи); *S(n+1)* – мера успешности выполнения учебной подзадачи на *(n+1)* цикле подготовки; σ_S – допустимая погрешность оценки степени подготовки

Для апробации метода был разработан автоматизированный модульный тренажер для тренировки диспетчеров УВД, представляющий собой специальное программное обеспечение (ПО), разработанное в среде

графического программирования Unity 3D на языке программирования C# и способное работать на ПК с низкой производительностью (рисунок 3).

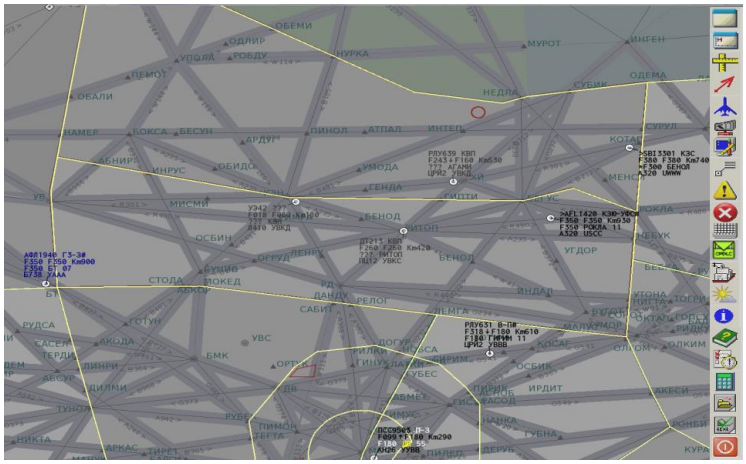

Рисунок 3 − Главное окно программы

Функция автоматизации реализована через автоматическое изменение загруженности путем ограничения количества находящихся на управлении ВС при превышении ошибочных действий обучаемых (потока ошибок λ_δ).

В целях проверки метода автоматизации управления процессом тренажерной подготовки основанного на процедуре выбора шага итерации в многошаговых алгоритмах адаптации и обучения был разработан специальный модуль составления расписания занятий на тренажере УВД (рисунок 4).

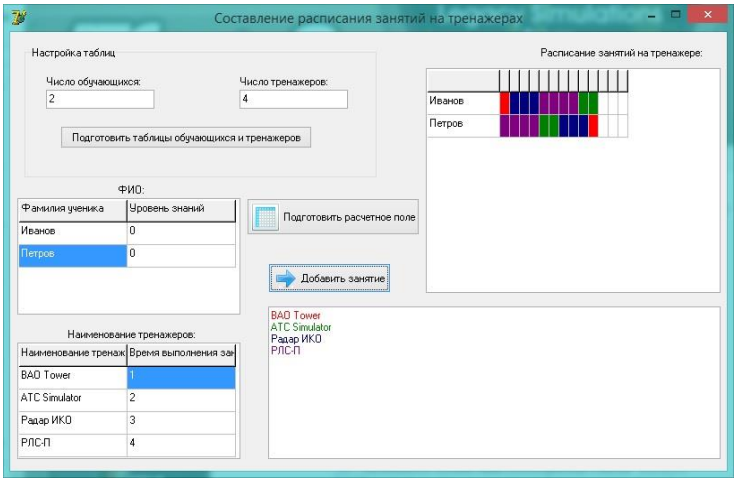

Рисунок 4 − Окно составления расписания занятий на тренажере

Проведена оценка возможности применения технологий распознавания и синтеза речи для замены псевдопилотов в тренажерах для подготовки диспетчеров УВД (рисунок 5).

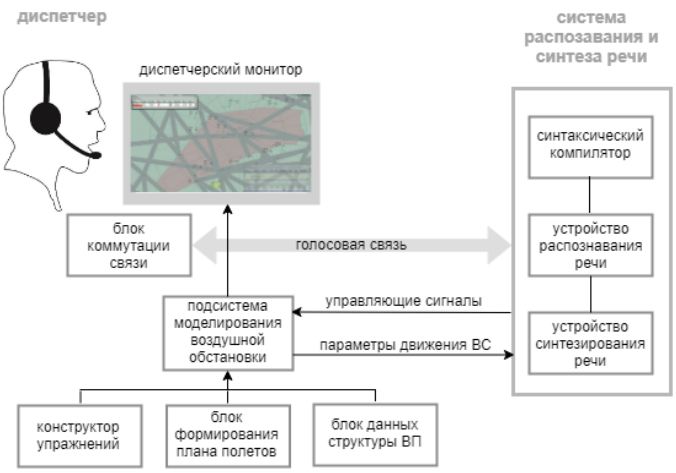

Рисунок 5 − Схема тренажера с системой распознавания и синтеза речи

Применен метод языкового моделирования, с использованием приложения Python с Pocket Sphinx, основанный на транскрибировании определённого сегмента аудиофайла, без транскрибирования полной речи, так как радиообмен содержит ограниченное количество фонем. Кроме того, в качестве признака из заданного множества признаков в словаре, использована взаимозависимость слов и словосочетаний, характерная для профессионального языка, используемого в радиообмене.

В главе 4 диссертационной работы приведены результаты оценки эффективности предложенных решений и результаты внедрения методов автоматизации тренажерной подготовки диспетчеров УВД, а так же разработанные требования к архитектуре модульных тренажеров.

Была проверена оценка эффективности по результатам сравнения двух групп обучаемых. Контрольная группа обучалась по традиционной методике, экспериментальная группа обучалась с использованием автоматизированного тренажера (рисунок 6).

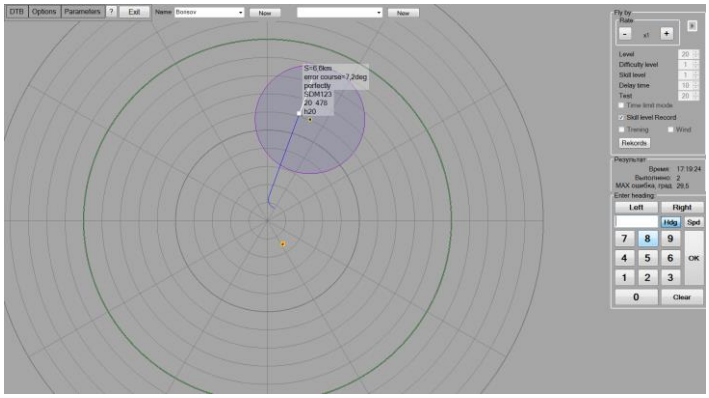

Рисунок 6 − Режим индивидуальной тренировки

В качестве зависимых переменных были выбраны: точность и время реакции, выраженных через количество ошибок и время, затраченное

испытуемыми на решение поставленных задач. В качестве регистрируемых параметров были выбраны: погрешность в определении курса ВС $\Delta\Psi$вс и время принятия решения t. Перед началом эксперимента была проведена проверка однородности групп, по t-критерию Стьюдента для двух несвязанных, независимых выборок, показавшей что экспериментальная и контрольная группы состояли из обучаемых с одинаковым начальным уровнем подготовки.

По результатам эксперимента было установлено, что при проигрыше контрольного упражнения, обучаемые экспериментальной и контрольных групп показали различные средние значения в точности определения курса следования ВС и скорости принятия решения. Принята альтернативная гипотеза H_1 о том, что точность определения курса ВС в обеих группах разная, т.к. $t_{эмп}$ = 2,29 > $t_{крит}$ = 1,995, и альтернативная гипотеза $(H_1)_2$: о разнице во времени реакции в экспериментальной и контрольных группах, т.к. $t_{эмп}$ = 2,205 > $t_{крит}$ = 1,995.

Для доказательства причинности связи между дополнительными тренировками с применением автоматизированного тренажера и повышением общего уровня подготовки в экспериментальной группе проведен анализ двух выборок по параметрическому критерию для случая зависимых выборок. Проверялась гипотеза о том, что уровень подготовки в экспериментальной группе после тренировки на автоматизированном тренажере изменился. В качестве сравнительного критерия были выбраны средние баллы за тренажерную подготовку до начала эксперимента и за трехмесячный период после эксперимента. Была принята альтернативная гипотеза (H_1) о различном уровне подготовки до и после эксперимента и сделан вывод об эффективности экспериментального воздействия, т.к. для числа степеней свободы $k=n-1=34$, t-критерия Стьюдента составил $t_{крит}$ = 2,032 (для p = 0,05); $t_{эмп}$ = 8,401 > $t_{крит}$ = 2,032.

Получены средние значения ошибок определения курса и времени реакции j-м обучаемым во время выполнения i-го упражнения в k-й день тренировки. Зависимость средней ошибки определения курса ВС от количества тренировочных дней k представлена на рисунке 7.

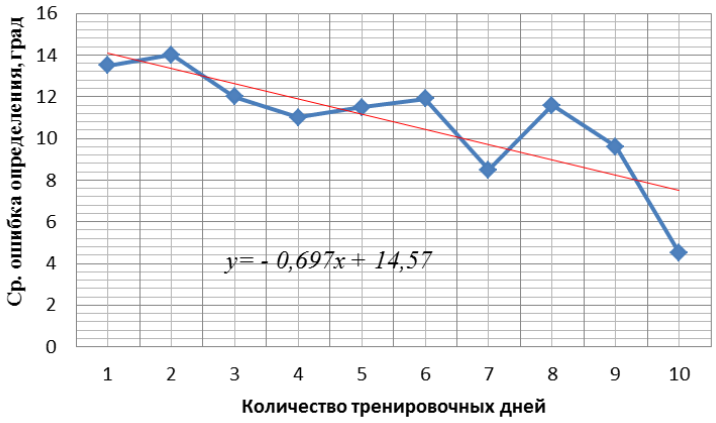

Рисунок 7 – Зависимость средней ошибки определения курса ВС от количества тренировочных дней

Коэффициент корреляции между ошибкой определения курса ВС и числом тренировочных занятий составил 0,805.

График зависимости времени реакции от количества тренировочных дней *k* приведен на рисунке 8.

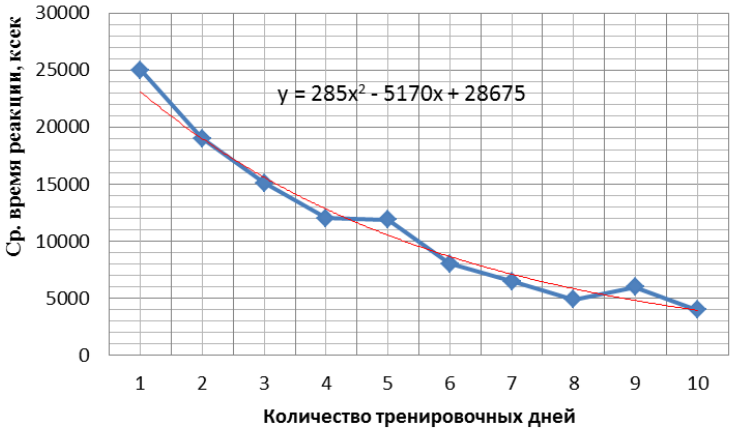

Рисунок 8 – График зависимости времени реакции от количества тренировочных дней

Определена зависимость ошибочных действий обучаемых от интенсивности воздушного движения до и после применения автоматизированного тренажера (рисунок 9).

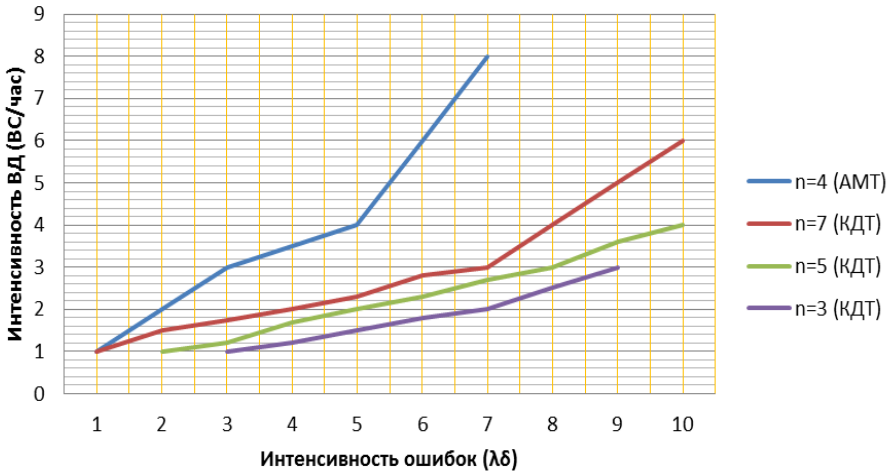

Рисунок 9 – Зависимость ошибок от интенсивности воздушного движения

Было установлено, что при одинаковой интенсивности воздушного движения после применения автоматизированного тренажера обучаемые допускают меньше ошибок (кривая, показанная синим цветом).

Зависимость ошибочных действий от количества ВС, одновременно находящихся на управлении, показана на рисунке 10.

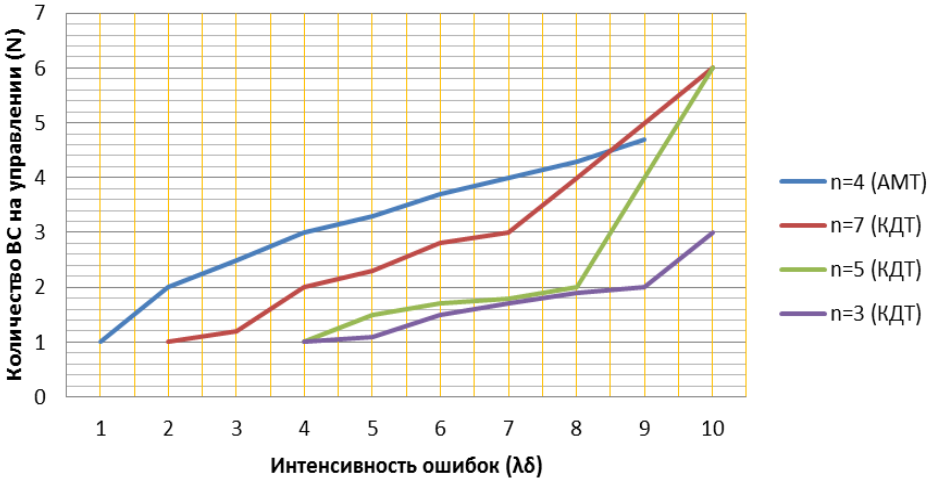

Рисунок 10 – Зависимость ошибок от количества ВС на управлении

Результаты получены для *S* навыков, когда каждому навыку соответствуют частные параметры, поддающиеся инструментальной оценке. Итоговый уровень подготовки определен в процессе проведения контрольного упражнения (рисунок 11).

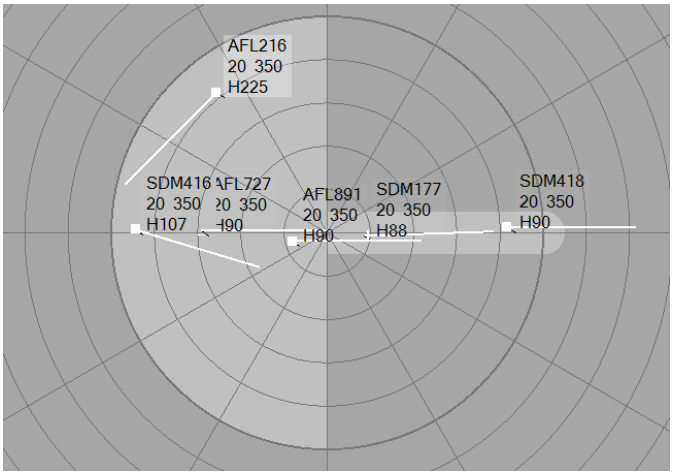

Рисунок 11 – Пример контрольного упражнения Merge

Заданные уровни подготовки *Z* для каждой технологической операции имеет свою локальную цель и метод формирования навыка. Вместе они составляют иерархическую систему показателей эффективности. Для навыка по векторению ВС результат оценивался по точности и своевременности команд. Время обучения определяют коэффициенты, характеризующие скорость обучения. Сравнение коэффициентов показало, что общее время прохождения упражнений тренажерной подготовки, при использовании автоматизированного тренажера уменьшилось на 7,2 % по сравнению с традиционными методами обучения (рисунок 12).

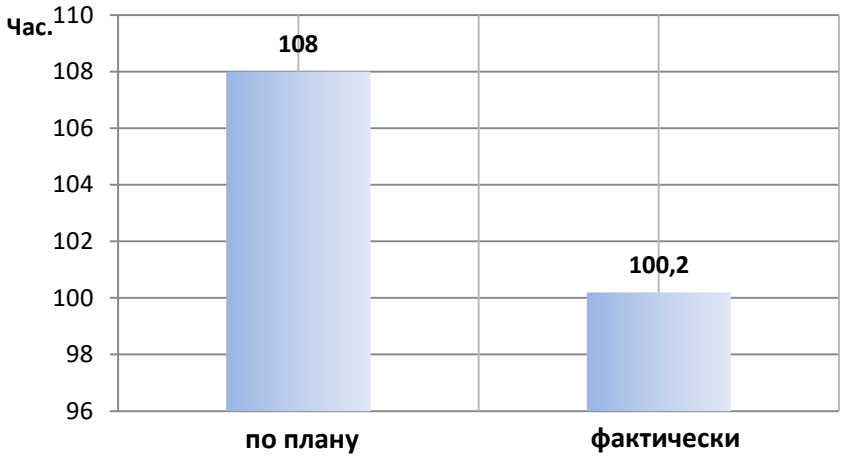

Рисунок 12 – Общее время тренажерной подготовки

Проведенная оценка новых методов подготовки показала, что ошибки в среднем уменьшились на 18,6% после внедрения АМТ (рисунок 13).

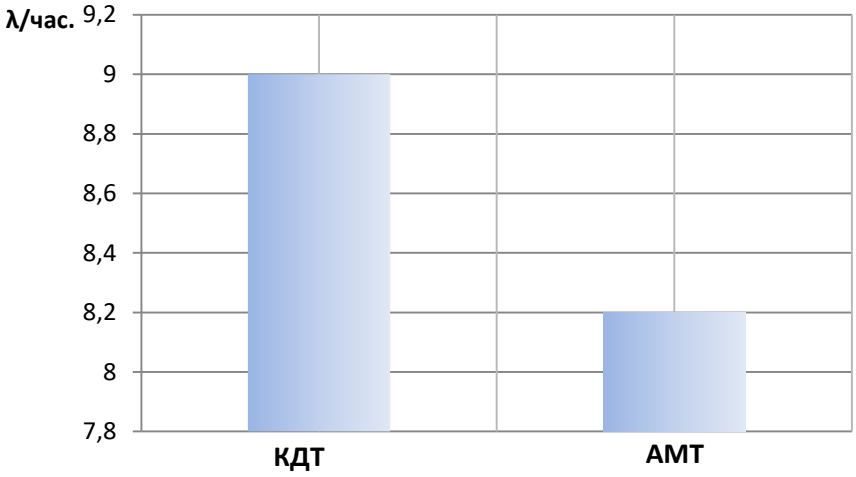

Рисунок 13 – Средние значения ошибок

На основе проведенных исследований предложен метод организации тренажерной подготовки диспетчеров по управлению воздушным движением на базе использования автоматизированных тренажерных комплексов (рисунок 14).

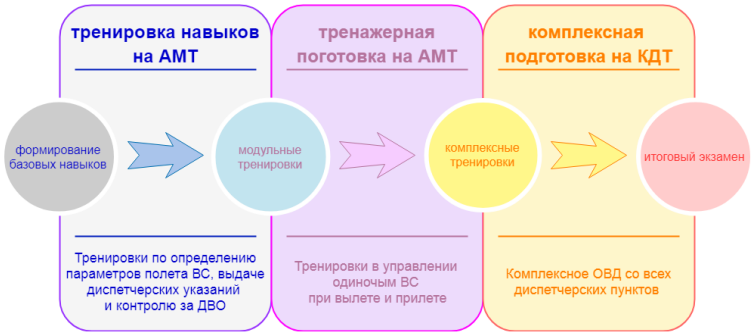

Рисунок 14 – Усовершенствованная методика подготовки диспетчеров УВД

В предложенном методе вначале приобретаются базовые навыки по ОВД, впоследствии проводятся индивидуальные тренировки, а затем полное моделирование на комплексном диспетчерском тренажёре.

Результаты внедрения в учебный процесс показывают, что использование автоматизированных модульных тренажеров на начальном этапе тренажерной подготовки диспетчеров УВД способствуют повышению ее эффективности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации содержится решение актуальной научной проблемы по повышению эффективности подготовки диспетчеров УВД, имеющей существенное значение для повышения безопасности полетов и приведены полученные основные научные результаты:

1. Впервые разработан и доведен до практической реализации метод автоматизации тренажерной подготовки с определением критериев уровня подготовки, позволяющий создать алгоритмы функционирования автоматизированных тренажерных систем, который отличается от известных методов, основанных на тренажерной подготовке под руководством инструкторов с помощью тренажеров, не имеющих инструментальных средств измерения уровня подготовки, когда управляющие воздействия на обучаемого осуществляются инструктором на основе личных наблюдений. Предлагаемый метод отличается от известных автоматизацией процесса тренажерной подготовки, а именно:

- количественной оценкой полученных навыков путем автоматического измерения оценочных параметров (ошибок и времени определения заданных параметров, как частных показателей, определяющих степень подготовки);

- способом автоматизированного воздействия обучающей системы путем поддержания приемлемого уровня загруженности обучаемого с целью ускорения приобретения навыков.

Было проведено моделирование автоматизированного обучения диспетчеров УВД, разработаны алгоритмы функционирования и требования к архитектуре тренажерных систем для подготовки диспетчеров УВД. Выполнена техническая реализация метода в разработанных автоматизированных модульных тренажерах на основе семантической сети с регулированием скорости обучения, путем изменения степени загруженности обучаемого со стороны автоматизированной тренажерной системы без участия инструктора. В результате, оценка внедрения метода автоматизации процесса обучения показала, что ошибки уменьшились на 18,6%. За счет автоматизации процесса тренажерной подготовки общее время прохождения упражнений уменьшилось на 7,2 % по сравнению с традиционными методами подготовки.

2. Впервые разработан метод автоматизации управления процессом тренажерной подготовки, основанный на процедуре выбора шага итерации в многошаговых алгоритмах адаптации и обучения для многомерных задач оптимизации. Предлагаемый метод отличается от известных, автоматизацией управления процессом подготовки, а именно: автоматизированным

формированием индивидуальной траектории подготовки с учетом индивидуальных особенностей обучаемых диспетчеров УВД. Метод реализован в разработанных программно-аппаратных средствах, позволяющих формировать индивидуальные программы обучения. В результате за счет автоматизированного администрирования оптимизирован процесс тренажерной подготовки. Показано, что самостоятельное освоение отдельных упражнений повысило эффективность подготовки, а так же дало возможность сконцентрировать тренажерную подготовку на выполнении конкретных операций.

3. Разработан новый метод организации тренажерной подготовки диспетчеров по управлению воздушным движением на базе использования автоматизированных тренажерных комплексов, отличный от существующих методов организации тренажерной подготовки основанных на комплексном освоении навыков по ОВД и формировании общих компетенций. Предлагаемый метод отличается от известных использованием автоматизированных тренажерных систем для выработки навыков по ОВД в контексте освоения определенной компетенции. В предлагаемом методе, процесс развития компетенции декомпозирован на совокупность упражнений по выработке отдельных навыков с фиксацией параметров поддающихся инструментальной оценке. В результате это позволило внести в организацию тренажерной подготовки самостоятельное освоение отдельных упражнений и включение в учебный процесс новых элементов подготовки по оперативному принятию решений в условиях дефицита времени при внедрении новых методов навигации.

4. Разработаны научно практические рекомендации по технической разработке тренажеров для приобретения первоначальных навыков с функцией автоматизированного обучения и автоматизации функций оперативного обслуживания (исключения из контура модели управления псевдопилотов) путем использования систем понимания фразеологии радиообмена и синтеза речи. Предложено разрабатывать автоматизированные тренажеры в виде экспертных систем с автоматической оценкой уровня подготовки и адаптивного планирования сложности упражнений на тренажере, позволяющие осуществлять индивидуальные самостоятельные тренировки за счет автоматизации процесса тренажерной подготовки. В результате это позволит освободить инструктора от рутинных операций контроля и фиксации ошибочных действий и даст ему инструменты для оказания помощи обучаемым по развитию навыков оценки ситуаций и принятию решений в условиях неопределенности. Как ожидается, это позволит более рационально использовать время, отводимое на тренажерную подготовку и повысит ее эффективность.

5. Доказано, что реализация инструментального контроля в тренажерах для подготовки диспетчеров УВД снижает либо устраняет зависимость от человеческих ресурсов, а также реализует дополнительную мотивацию обучаемых. Метод автоматизации тренажерной подготовки был реализован в

учебном процессе и позволил внедрить адаптивный подход в организацию подготовки, что повысило эффективность подготовки диспетчеров УВД.

6. Доказано, что использование автоматизированных модульных тренажеров на начальном этапе практического обучения диспетчеров УВД повышают эффективность их подготовки за счет автоматизации функций оперативно-обслуживающего персонала и внедрения технологий в области распознавания и синтеза речи, особенно при организации удаленных тренировок.

7. Обосновано применение автоматизированных модульных тренажеров и внедрение методов автоматизированного обучения в процесс подготовки диспетчеров УВД на основе разработанных базовых алгоритмов функционирования автоматизированных модульных тренажеров.

8. Сформулированы положения по совершенствованию методики практического обучения диспетчеров УВД с учетом использования автоматизации обучающих функций и оценки уровня подготовки обучаемых в перспективных тренажерных системах в целях включения в учебный процесс новых элементов тренажерной подготовки в условиях использования новых методов навигации в соответствии с концепцией PBN.

9. Разработанные методы внедрены в учебный процесс в Ульяновском институте гражданской авиации при подготовке диспетчеров УВД по специальности 25.05.05-02 «Организация использования воздушного пространства» и по военной учетной специальности 062700 «Боевое управление полетами авиации с пунктов управления».

10. Достоверность разработанных методов подтверждается внедрением специального ПО «NEXTGEN AIR TRAFFIC SIMULATOR». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 22.10.2019 №2019663662.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций на соискание ученой степени:

1. Борисов В.Е. Определение вероятности безошибочной работы диспетчера / В.Е. Борисов, В.В. Борсоева, С.М. Степанов, А.И. Степнова // Научный Вестник МГТУ ГА. – Т. 21. – № 03. – М. : МГТУ ГА, 2018. – С. 47-55.

2. Борисов В.Е. Эксплуатационная оценка безопасности полетов с помощью тренажерных комплексов при внедрении навигации, основанной на характеристиках (PBN) / В.Е. Борисов, В.А. Борсоев, А.А. Ещенко, В.В. Борсоева, С.С. Демин // Научный вестник ГосНИИ ГА. – № 21 (332). – М : ФГУП ГосНИИ ГА, 2018. – С. 92-100.

3. Борисов В.Е. Анализ влияния профессиональных качеств персонала ОВД на безопасность воздушного движения / В.Е. Борисов, В.В. Борсоева, С.М. Степанов, А.И. Степнова // Научный Вестник МГТУ ГА. – Т. 22. – № 01. – М. : МГТУ ГА, 2019. – С. 8-17.

4. Борисов В.Е. Разработка перспективных тренажеров, имеющих голосовую поддержку, с функцией автоматизации оценки навыков диспетчеров по управлению воздушным движением / В.Е. Борисов, В.А. Борсоев, А.А. Бондаренко // Научный вестник МГТУ ГА. – Т. 23. – № 6. – М. : МГТУ ГА, 2020. – С. 8-19.

Научные публикации в других изданиях:

5. Борисов В.Е. Анализ организации тренажерной подготовки авиадиспетчеров в странах входящих в Европейскую организацию по безопасности воздушной навигации / В.Е. Борисов, В.А. Карнаухов // Научный альманах – №11-3 (13). – Тамбов : ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 39-42.

6. Борисов В.Е. Особенности подготовки специалистов обслуживания воздушного движения / В.Е. Борисов, В.А. Карнаухов // Международные отношения, регионоведение, образование : сб. матер. интернет конф. – Ульяновск : Вектор-С, 2015. – С. 15-19.

7. Борисов В.Е. Исследование влияния показателей качества теоретического обучения курсантов-диспетчеров на результат подготовки на диспетчерском тренажере // Гражданская авиация XXI век : сб. матер. VIII Междунар. молодеж. науч. конф. 14-15 апреля 2016 г. – Ульяновск : УИ ГА, 2016. – С. 53-56.

8. Борисов В.Е. Анализ факторов, влияющих на качество деятельности диспетчера управления воздушным движением / Современные проблемы науки, технологий, инновационной деятельности : сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. 31 августа 2017 г. : в 4.ч. – Белгород : ООО АПНИ, 2017. – Ч. 1. – С. 52-55.

9. Борисов В.Е. Математическое моделирование системы автоматизированной оценки уровня подготовки авиадиспетчеров / В.Е. Борисов, С.М. Степанов, А.А. Торосян // Научный вестник УИ ГА. – № 9. – Ульяновск : ФГБОУ ВО УИ ГА, 2017. – С. 137-140.

10. Борисов В.Е. Моделирование алгоритмов управления обучением в диспетчерских тренажерах / Автоматизация: проблемы, идеи, решения : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. 8 декабря 2017 г. : Уфа : Омега Сайнс, 2017. – С. 19-21.

11. Борисов В.Е. Методы формализации тренажерной подготовки диспетчеров управления воздушным движением / В.Е. Борисов, В.А. Карнаухов // Научный альманах : сб. ст. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. «Перспективы развития науки и образования». – № 12-2 (38). – Тамбов : ООО «Консалтинговая компания Юком», 2017. – С. 16-19.

12. Борисов В.Е. Применение модульных тренажерных систем для подготовки офицеров боевого управления авиационных комплексов дальнего радиолокационного обнаружения и управления / В.А. Борсоев, В.Е. Борисов, // Авионика : сб. науч. ст. по матер. II Всеросс. науч.-практ. конф. 16-17 марта 2017г. – Воронеж : ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. – С. 18-21.

13. Борисов В.Е. Проблемы профессионального отбора в системе организации воздушного движения / В.Е. Борисов, В.А. Карнаухов //

Международные отношения, регионоведение, образование : ст. по матер. интернет конф. 2017 г.: Выпуск 6 –Ульяновск : УлГУ, 2017 – С.11-13.

14. Борисов В.Е. Методы оценки эффективности применения модульных тренажерных систем при обучении диспетчеров управления воздушным движением / В.Е. Борисов, В.А. Карнаухов // Международные отношения, регионоведение, образование : ст. по матер. интернет конф. 2017 г.: Выпуск 6 –Ульяновск : УлГУ, 2017– С.8-11.

15. Борисов В.Е. Автоматизация управления процессом обучения при подготовке авиадиспетчеров / В.Е. Борисов, Д.А. Евсевичев // Автоматизация процессов управления : сб. науч. тр. по матер. Молодеж. науч. -техн. конф. 15-16 мая 2018 г. : в 2 ч. Ч.1 – Ульяновск : ФНПЦ АО НПО «Марс», 2018. – С. 13-20.

16. Борисов В.Е. Алгоритмическая реализация процесса автоматизации обучения авиадиспетчеров на тренажере / В.Е. Борисов, Д.А. Евсевичев // Автоматизация: проблемы, идеи, решения : сб. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. 8 сентября 2018 г. : Стерлитамак : АМИ, 2018. – С. 4-6.

17. Борисов В.Е. Упрощенный метод имитационного моделирования для эксплуатационной оценки безопасности полетов, при внедрении навигации основанной на характеристиках (PBN) / Междунар. науч.-техн. конф. «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества» 16-17 мая 2018 г. : М. : ИД Академии Жуковского, 2018. – С. 164.

18. Борисов В. Е. Методика автоматизации управления процессом обучения при подготовке авиадиспетчеров / В. Е. Борисов, Д. А. Евсевичев // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники : Материалы 21-й Всероссийской молодежной научной школы-семинара, Ульяновск, 04–06 декабря 2018 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2018. – С. 135-136.

19. Borisov V. Risk factors for the operational safety assessment when implementing performance-based navigation (PBN) Aeronautics and Aerospace Open Access Journal. – 2018. – Vol. 2. – I 6. – P. 390-392.

20. Борисов В. Е. Алгоритм автоматизации организации процесса обучения при подготовке авиадиспетчеров / В. Е. Борисов, Д. А. Евсевичев // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники : материалы 22-й Всероссийской молодежной научной школы-семинара, Ульяновск, 22–24 октября 2019 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2019. – С. 106-107.

21. Борисов В.Е. Построение модулей голосового управления в тренажерных системах для подготовки офицеров боевого управления / В.Е. Борисов, В.А. Борсоев, В.В. Борсоева // Актуальные вопросы исследований в авиаонике: теория, обслуживание, разработки : сб. науч. ст. по матер. докл. VI Межунар. НПК. – Воронеж : ВУНЦ ВВС «ВВА», 2019. – С. 178-181.

22. Борисов В.Е. Аспекты проектирования модульных тренажерных систем для подготовки диспетчеров УВД / В.Е. Борисов, В.А. Борсоев. // Состояние и перспективы развития аэронавигационной системы России : сб.

докл. и тез. науч.-практ. конф. преподавателей, слушателей и студентов. – Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. – С. 12-16.

23. Борисов В.Е. Оценка эффективности метода автоматизированного обучения офицеров боевого управления / В.Е. Борисов, В.А. Борсоев // Актуальные вопросы исследований в авиаонике: теория, обслуживание, разработки : сб. науч. ст. по матер. докл. VII Межунар. НПК. – Воронеж : ВУНЦ ВВС «ВВА», 2020. – С. 104-108.

24. Борисов В.Е. Реализация когнитивной модели в диспетчерских тренажерах. Fundamental science and technology : сб. науч. ст. по матер. докл. III Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа : ООО «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2020. – С. 38-41.

25. Борисов В.Е. Некоторые особенности проектирования воздушного пространства при переходе к навигации, основанной на характеристиках (PBN) / В.Е. Борисов, В.А. Борсоев // Современные тенденции использования воздушного пространства и перспективные системы обеспечения полетов : сб. докл. и тез. науч.-практ. конф. преподавателей, слушателей и студентов. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2020. С. 64-67.

26. Борисов, В. Е. Практические шаги по реализации глобального аэронавигационного плана в Российской Федерации / В. Е. Борисов, В. А. Борсоев // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества : сб. докл. и тез. междунар. науч.-техн. конф., посвященной 50-летию МГТУ ГА. – М., ИД Академии Жуковского, 2021. – С. 411-412.

Подписано к печати 20.04.2022. Формат 60х90/16.
Тираж 100 экз. Уч-изд. л. 1,5 Усл. печ. л.1,5. С 20 Заказ № 379.
Тип. Университета ГА. 196210, С.-Петербург, ул. Пилотов д.38.