

**ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
“АЗЕРБАЙДЖАН ХАВА ЙОЛЛАРЫ”
НАЦИОНАЛЬНАЯ АВИАЦИОННАЯ АКАДЕМИЯ**

На правах рукописи

ГУСЕЙН БАБА оглу БАБАЕВ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ
АЭРОНАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА БАЗЕ
ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по технике**

**по специальности 3352.01 – Эксплуатация воздушного
транспорта**

БАКУ - 2016

Работа выполнена в Национальной Академии Авиации (НАА)
Азербайджана

Научный консультант:

действительный член НАН Азербайджана,
д.ф.-м.н., проф.,

А.М. Пашаев

д.ф. по технике, доцент

В.З. Султанов

Официальные оппоненты:

д.т.н., профессор

И.М. Исмаилов

д.т.н., профессор

С.И. Юсифов

Ведущая организация:

Институт Информационных Технологии Национальной
Академии Наук Азербайджана.

Защита состоится 30 сентября 2016 г. в 14:00 часов на заседании
Диссертационного Совета D06.001 при Национальной Академии
Авиации (НАА) по адресу: AZ-1045, г. Баку, просп. Мардакан-30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках НАА.

Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.

Ученый секретарь
Диссертационного Совета D 06.001
д.ф. по технике

С.Б. Габибуллаев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность диссертационной работы. Аэронавигационное обеспечение (АНО) – это совокупность сложной и динамичной системы, объединяющей в себе все существующие ресурсы: воздушное пространство, аэродром, воздушное судно и человеческие ресурсы для выполнения безопасных, непрерывных и регулярных полетов. Основная цель АНО заключается в выполнении полетов в воздушном пространстве с аэродрома на аэродром, в контексте безопасного расстояния и в рамках возможных пропускных способностей систем аэронавигационного обслуживания.

В целях модернизации АНО, на основании единого, глобального аэронавигационного плана (GANP) предназначенного на 2013-2028 гг., продолжают работы по подготовке и внедрению системы АНО, обладающей современным технологическим процессом. В процессе данного развития стоит уделить особое внимание человеческого фактора. Современные технологические средства и методы требуют принятия мер направленных на повышение качества работы специалиста, а также положительное действие человеческого фактора.

Любой специалист АНО, и в целом специалист, вовлеченный в производство полетов должен обладать пространственным представлением, свободно воспринимать многомерные среды и уметь принимать конкретные верные решения. Однако на практике по разным (объективным и субъективным) причинам, специалисты временами не могут полностью освоить, казалось бы, очень простые, но в тоже время сложные и глубинные процессы. В итоге, это приводит к своеобразной и постепенно усугубляющейся у специалиста проблеме.

Для решения проблемы необходимо объединить логические и графические представления специалиста, визуализировать процессы, перенести его интерактивные возможности в среду более близкой реальной. Примеру этому может служить применение многомерных сред в процессах визуализации и интерактивности. Адаптация к многомерным средам в подготовке специалистов является одной из актуальных задач современности.

Основной объект исследования. Объектом исследования диссертационной работы является разработка основ методологии АНО на основе трехмерного моделирования, а также создание тренажера для инженерно-технического состава.

Цель диссертационной работы. Для улучшения и эффективности безопасности полетов, управления воздушным движением (УВД), разрабатывать основы методологии тренажерной подготовки инженерно-технического персонала (ИТП) обеспечивающего АНО и на их основе выполнение компьютерного моделирования.

Для достижения цели данная диссертационная работа призвана рассмотреть нижеследующие задачи:

1. Определение принципов тренажерной подготовки инженерно-технического состава АНО в трех и четырехмерных средах;

2. Анализ и исследование систем посадки, их рабочих зон, параметров и структуры радиоинформационного поля (РИП) в вертикальной и горизонтальной плоскостях во время захода ВС на посадку; анализ курсовой и глиссадной плоскостей, а также их недостатков (за счет визуализации образов) в этих направлениях;

3. Графическое моделирование результатов, а также графическая визуализация процессов, важных для АНО посредством разработки математической модели и алгоритма визуализации РИП системы посадки по приборам (англ., ILS – Instrumental Landing System) и ее интеграции в трехмерной среде;

4. Создания трехмерные модели РИП системы ILS, траектории посадки, процессов АНО, воздушного пространства, трасс, зон различного назначения, построение трехмерных моделей и их интеграция в четырехмерную среду с целью повышения тренажерной подготовки специалистов АНО в многомерной среде;

5. Интеграция и компьютерное моделирование схемов сборника аэронавигационной информации AIP (англ., Aeronautical Information Publication) в трехмерной среде;

6. Определение возможных виртуальных магнитных посадочных курсов с учетом рельефа местности, посредством моделирования АНО в 4D (МАНО4D) среде;

7. Разработка математической модели самоподготовки и самооценивания на основе метода обучения МАНО4D;

8. Оценка знаний по “PreSim” и “ProfSim” согласно методу обучения МАНО4D, а также определение механизма контроля обучения и подготовка базового тренажера “ANT4DM” для ИТП.

Методы исследования. Исследования проведены на основе существующей тренажерной подготовки специалистов АНО, согласно предназначенным методам, системам, теоретическим и практическим

знаниям, в том числе, математическим, произвольным, вероятным, статическим, информативным и многомерным методам моделирования.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработаны соответствующие многомерные компьютерные модели воздушного пространства, воздушных трасс, зон различного назначения, схемы посадки;

2. МАНО4D позволяет виртуально определить посадочный магнитный курс и провести соответствующие меры при проектировании аэродромов с учетом рельефа местности.

3. Разработаны математическая модель РИП, адаптированная под многомерные среды и алгоритм, визуализирующий ее пространственные представления.

4. Разработаны многомерные модели РИП системы ILS и траектории посадки на аэродроме для формирования многомерного пространственного представления у специалистов АНО.

5. Разработаны методы самообучения и самооценивания, математической модели, структуры, построения алгоритма, механизмов наблюдения согласно методу обучения МАНО4D.

6. За счет применения теории нечетких множеств и согласно анализу свойств аналогов, базовый тренажер “ANT4DM” признан как самый лучший.

7. На основе многомерной среды для подготовки специалистов (ИТП) АНО, разработан тренажер базовой подготовки “ANT4DM”. Для первого уровня подготовки был реализован 3D тренажер базовой подготовки “PreSim”, в качестве второго уровня подготовки был реализован 4D тренажер базовой подготовки “ProfSim”.

На защиту выносятся:

1. Трехмерная визуальная модель воздушного пространства, схем посадки и различных схем по АНО;

2. Применение методологии МАНО4D при первоначальном проектировании аэродромов и ВПП;

3. Математическая и визуальная модель, а также алгоритм моделирования радиоинформационного поля ILS и траектории посадки, адаптированные под многомерные среды;

4. Первый подобного рода базовый учебный тренажер “ANT4DM” для ИТП - специалистов АНО на основе методов подготовки многомерного моделирования;

5. Метод самообучения и самооценки на тренажере базовой подготовки “ANT4DM” (“PreSim” и “ProfSim”).

Практическая ценность работы. Практическая ценность диссертационной работы заключается в создании базового тренажера подготовки инженерно-технического персонала АНО на основе теоретических и экспериментальных результатов исследований. Результаты полученные по итогам диссертации реализованы в качестве тренажера базовой подготовки “ANT4DM” (“PreSim” и “ProfSim”). Предлагаемая методология была применена в учебном процессе Национальной Академии Aviации, а также использована для определения возможных виртуальных магнитных курсов посадки с учетом рельефа местности на этапах проектирования и постройки Международного Аэропорта Габала. Предлагаемая методология была применена и заверена соответствующими актами в УВД «Азераэронавигация» ЗАО «Азербайджан Хава Йоллары».

Апробация диссертационной работы. Основные результаты диссертации обсуждались на следующих республиканских и международных конференциях:

1. 11-я Международная конференция “Авиация и космонавтика-2012”, Москва, Россия: МАИ (НИУ) 2012.

2. XI міжнародної науково-технічної конференції “АВІА-2013”, Київ, Україна: НАУ, 2013.

3. Международная научно-техническая конференция, посвященная 90-летию гражданской авиации, М: МГТУ ГА, 2013.

4. Седьмая международная научно-техническая конференция. Баку-Сумгаит: 2013.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 12-и печатных трудах, 4 из которых изданы зарубежом.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, приложений, содержащих программное обеспечение и акта ввода в эксплуатацию. Диссертация состоит из печатного материала из 140 страниц, 55 рисунков, 8 таблиц, списка литературы из 136 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, определены цель и направления исследований, приведена научная новизна, практическая ценность работы и основные

положение выносимые на защиту, реализация, апробация, представлена краткая характеристика работы.

Первая глава посвящена анализу текущего положения системы АНО воздушного движения, а также дальнейшие перспективные направление. Проведен анализ научной литературы данной диссертации в направлении явления проблемы. Изучены требования регламентирующих документов. Согласно долгосрочному (с 2013 по 2028г.) рабочему плану ICAO (International Civil Aviation Organization), FAA (Federal Aviation Administration) и Евроконтроля, переход на многомерную среду (4D) был отмечен как один из самых основных целей. Проведены методы внедрения математического и экспериментального моделирования в процесс АНО.

Рассмотрено текущее состояние подготовки специалиста на базовом уровне. Установлено, что, базовая подготовка специалиста имеет существенные недостатки. Было показано, что систематизация имеющихся методов обучения при подготовке специалистов АНО и пилотов и их переделка согласно требованиям современной технологии – это проблема ждущая своего решения. Несмотря на прямую роль и участие ИТП в АНО по вопросам выполнения полетов или обеспечения безопасности УВД, здесь обнаружилось отсутствие базовой и профессиональной подготовки. Проведенные анализы обосновали важность разработки новых методов подготовки и предъявляемых требований. Для централизации принципов базовой подготовки по АНО за основу бралась визуализация РИП, составляющая основу данных процессов. Исследованы возможности внедрения многомерных сред в АНО.

Во второй главе построен треугольник человеческого фактора (пилот ВС – диспетчер УВД – ИТП АС УВД) при обеспечении безопасности АНО и полетов (Рис.1). Как видно из Рис.1 ИТП выполняет АНО как УВД, так и полетов, а также несет ответственность за бесперерывность, регулярность и безопасности полетов в пределах полномочий возложенных на него. В этом случае несмотря, что существует современные тренажеры и методы подготовки различного уровня для пилотов и диспетчеров УВД, отсутствие такой подготовки ИТП выявляет проблемы в одном из сторон вышесказанном треугольника безопасности. С этой целью представлена разработка и методы оценки эффективности методологии МАНО4D в качестве нового метода подготовки.

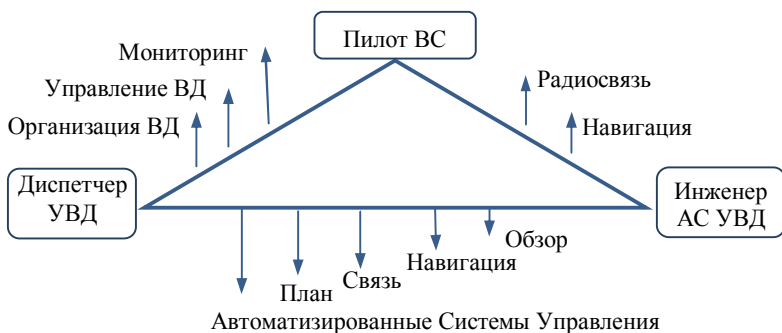


Рис. 1. Треугольник обеспечение безопасности при УВД.

Данная методология совмещает в себе логические (PreSim), образные (ProfSim), логически-образные смешанные формы (HoloSim) принципов подхода, что объясняет процесс подготовки специалистов в более широком масштабе (рис. 2). Здесь дается объяснение тому, что с точки зрения освоения и закрепления базовых знаний согласно методологии МАНО4D, по принципу которого специалисты могут оценивать свои знания и многомерные среды. Последующее развитие методологии показала возможность к адаптации на уровне профессиональной подготовки. Даны принципы и методы многомерного моделирования аэронавигационных элементов (воздушное пространство, воздушные трассы, аэронавигационные точки, аэродромы, схемы посадок) и информации сборника АИР. Возможности метода внедрения трех и четырехмерного методов в процессах АНТ признаны реальными и эффективными.



Рис.2. Структура методологии МАНО4D.

Третья глава посвящена построению математических моделей РИП адаптированных к многомерным средам. Проведен системный анализ проблем построения математической модели радиосигнала в

4D. Дана математическая модель РИП и методы интеграции к среде 4D. Так как радиодиапазон находится за пределами видимого диапазона, построена математическая модель визуализации РИП в многомерной среде. Радиосигналы и создаваемые ими РИП находятся на сферической координатной системе. Подход для решения проблемы основан на создании взаимосвязи между сферической координатной системами и параметрами, которыми обладает РИП.

Пространственное движение объекта определяется по траектории $f(x,y,z)$. Это может быть траекторией посадки, взлета и движения ВС по курсу в географической системе координат (рис. 3).

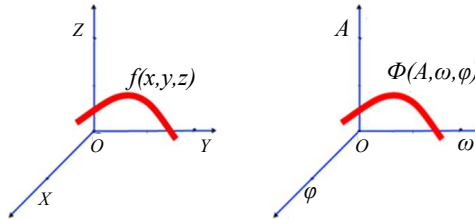


Рис.3. Описание принимаемого сигнала в области D в пространстве.

а) значения траектории $f(x,y,z)$, б) значения принимаемого сигнала $\Phi(A,\omega,\varphi)$.

Объект, движущийся в пространстве XYZ , на каждой точке (x,y,z) (рис. 3, а) принимает радиосигналы с параметрами $\Phi(A,\omega,\varphi)$ (рис. 3 ,б); где, A – амплитуда, ω – частота и φ – угловая скорость. У движения объекта наблюдаются определенные отклонения, его реальное положение неравно $f(x,y,z)$. Тогда, пространственная область будет состоять их случайных движений функции:

$$D: \left\{ (x,y,z): \quad x = D_f(x) + \varepsilon_x; \quad y = D_f(y) + \varepsilon_y; \quad z = D_f(z) + \varepsilon_z \right\} \quad (1)$$

Здесь, $D_f(x)$, $D_f(y)$ и $D_f(z)$ – $f(x,y,z)$ является областью определения функции, ε_x , ε_y , ε_z случайные отклонения от области определения. Сигнал с параметром $A\omega\varphi$ принимаемый в каждой точке области D будет обладать кривой $\Phi(A,\omega,\varphi)$; семейство кривых в этом пространстве образует поверхность D'.

Связь между каждым значением измерения (A,ω,φ) радиосигнала в координате пространства (x,y,z) отражена ниже в системном уравнении:

$$\begin{cases} x = a_1 A + a_2 \omega + a_3 \varphi \\ y = b_1 A + b_2 \omega + b_3 \varphi \\ z = c_1 A + c_2 \omega + c_3 \varphi \end{cases} \quad (2)$$

Ведутся измерения на точке n заданной траектории и по этим значениям находим коэффициенты a_i , b_i и c_i ($i=1...3$) по методам наименьшим квадратам. Например: коэффициент a_i из указанной ниже системы:

$$\begin{cases} a_1 \sum A_i^2 + a_2 \sum \omega_i A_i + a_3 \sum \varphi_i A_i = \sum x_i A_i \\ a_1 \sum A_i \omega_i + a_2 \sum \omega_i^2 + a_3 \sum \varphi_i \omega_i = \sum x_i \omega_i \\ a_1 \sum A_i \varphi_i + a_2 \sum \omega_i \varphi_i + a_3 \sum \varphi_i^2 = \sum x_i \varphi_i \end{cases} \quad (3)$$

получим по методу Крамера:

$$a_1 = \frac{\Delta a_1}{\Delta}; \quad a_2 = \frac{\Delta a_2}{\Delta}; \quad a_3 = \frac{\Delta a_3}{\Delta} \quad (4)$$

Здесь, Δ - основные детерминанты системы (3); Δa_i - вспомогательные детерминанты соответствующему коэффициенту - a_i . Стоит отметить, что коэффициенты b_i и c_i ($i = 1...3$) равны свободным членам. Их определяют с помощью умножения y_i на z_i системы расположенной в ряд. Таким образом, каждому значению измерения сигнала можно противопоставить пространственную координату. Очевидно, что в данном случае, значение функции (A, ω, φ) области D , мы получим отражения в области D' .

Согласно вышесказанному, траектория движущегося объекта в каждом конкретном случае сопровождается отклонением от его заданной траектории. На данные отклонения влияет множество как технических, физических, метеорологических так и психологических факторов пилота. Отклонения вызванные этими факторами носят случайный характер. С другой стороны, технические ошибки при приеме сигнала тоже играют свою роль. Конечно же, подобные отклонения нельзя оценивать как безусловные. Для оценки ошибок, можно применить параметры ниже:

$$\begin{aligned} k_x &= R_{Pr f_x, Pr \Phi_A} \\ k_y &= R_{Pr f_y, Pr \Phi_\omega} \\ k_z &= R_{Pr f_z, Pr \Phi_\varphi} \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь, R - значение нулевого лага взаимной корреляционной функции (эффекты созданные скольжением по времени); $Pr f_x$, $Pr f_y$, $Pr f_z$ - проекция функции $f(x, y, z)$ над осями X, Y, Z ; $Pr \Phi_A$, $Pr \Phi_\omega$, $Pr \Phi_\varphi$ проекция функции $\Phi(A, \omega, \varphi)$ по осям A, ω, φ .

Таким образом, обобщив изложенное выше, внося коррекции в управляемые движения движущегося объекта согласно поступающим

радиосигналам, можно определить алгоритм визуализации пространственного положения движений:

- Шаг-1. Строится оптимальная траектория [функция $f_{opt}(x,y,z)$] объекта (самолета), движущийся в пространств и в соответствии с этой траекторией строится функция радиосигналов $\Phi_{opt}(A,\omega,\varphi)$.

- Шаг-2. Формулами (2) - (4) для функций $f_{opt}(x,y,z)$ и $\Phi_{opt}(A,\omega,\varphi)$ вычисляются коэффициенты a_i , b_i и c_i ($i=1...3$).

- Шаг-3. С целью оценки погрешности вызванной отклонениями от оптимальной траектории с помощью функции $f_{opt}(x,y,z)$ и $\Phi_{opt}(A,\omega,\varphi)$, определяем параметры k_x , k_y и k_z .

- Шаг-4. В соответствии с текущим состоянием объекта принимаем сигнал (A,ω,φ) и по формуле (2) рассчитываем его пространственные координаты (x, y, z) .

- Шаг-5. Дается поправки рассчитанных текущих пространственных координат ($k_x x$, $k_y y$ и $k_z z$). После поправки координаты объекта будут соответствовать оптимальной траектории управления.

- Шаг-6. Переход к следующему этапу (последующему значению времени $t+1$). Если управление завершилось, осуществляется переход к Шагу 8, в противном случае Шагу-7.

- Шаг-7. В соответствии с новым положением объекта строится траектория движения, начиная с первого шага.

- Шаг-8. Конец управления.

Для работы алгоритма должна определится первичная оптимальная траектория. В этом случае, точность алгоритма зависит от точности проводимых измерений (при построении ($f_{opt}(x,y,z)$ и $\Phi_{opt}(A,\omega,\varphi)$) и также от длины временных интервалов. Чем меньше интервал времени между измерениями, тем полученный результат будет лучше. Отметим, что при более серьёзном математическом подходе к этой проблеме её можно решить как задачу оптимального управления.

В качестве примера состояния перемещения объекта в пространстве, если рассматривать его как процесс полета самолета, в таком случае, одним из самых ответственных этапов полета будет считаться захода на посадку и посадка самолета. На этой стадии, в зависимости от состояния метеовидимости (особенно при плохой видимости) заход на посадку осуществляется по инструментальной системе посадки (например, ILS).

Известно, что излучатели системы ILS фиксированы на поверхности Земли. При этом движение самолета имеет динамику относительно РИП-а созданное антеннами ILS в пространстве. Таким образом, визуализация РИП ILS в многомерной среде в первую очередь зависит от моделирования его излучателей на поверхности Земли. После определения географических координат (по WGS-84) установленных или запланированных для установки излучателей ILS, с помощью известных преобразователей координат, происходит переход в декартовую и сферическую системы координат. Используя приложения 3D моделирования готовят трехмерные модели РИП относительно точки установки излучателей ILS. Во время разработке модели используются параметры элементов ILS. Визуализируется РИП формирующей в пространстве. Движение самолета моделируется в соответствии с его траекторией $f(x,y,z)$. При этом принимаемые радиосигналы от ILS $\Phi(A, \omega, \varphi)$ соответствуют ему. Модели в трехмерной среде не зависят от времени и в назначенной точке пространства в соответствии с воксельным (volumetric pixel) представлением изображения обеспечивают его независимость. Описание процессов осуществляется в соответствии с воксельным (volumetric pixel) представлением (рис. 4, а, б, в).

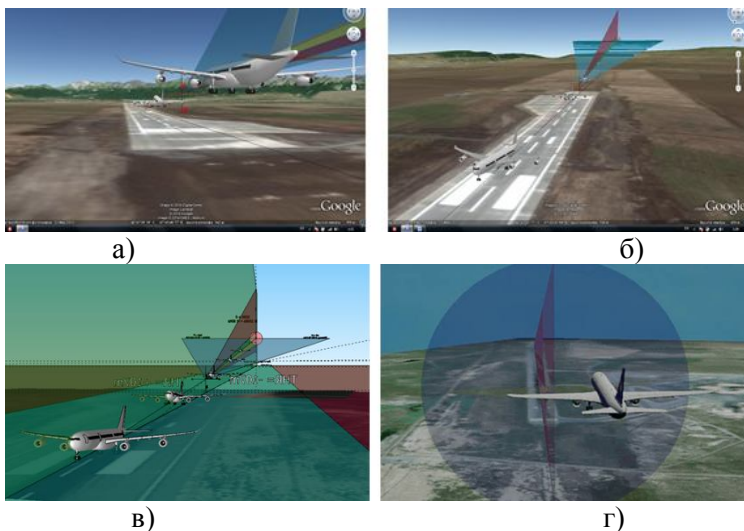


Рис. 4. Визуальная модель РИП ILS: а, б - плоскость глиссады в 3D среде; в - ВС, плоскости курса и глиссады в 3D среде; г - ВС, плоскости курса и глиссады в 4D среде.

Определяются конкретные состояния моделей и процессов. Для более динамичной и интерактивной презентации или имитации (симуляции) фактор времени учитывается и процессы осуществляются согласно времени. Это создает презентацию изображений или процессов в среде 4D (рис. 4, г). Согласно методологии МАНО4D, который содержит принципы трехмерного и четырехмерного моделирования и визуализируются практические методы подготовки РИП ILS в многомерной среде по магнитным посадочным курсам международного аэропорта Габала (рис. 4).

Визуализация и методы модельного представлении РИП, функций и процессов АНО в многомерных средах играет важную роль в процессе подготовки специалистов АНО. Так что АНО в целом построено на радиопроцессах. Усвоение и укрепление базовыми знаниями имеет важное значение при подготовке специалистов. В диссертационной работе самым важным этапом полета считается заход на посадку и посадка, при этом моделирование и визуализация РИП ILS и траектория движения самолета в многомерных средах является основой подготовки специалистов АНО.

Модельное представление РИП и визуализация процессов в среде 4D имеет важное значение для более точного освоения процессов для ИТП (а также пилотов и диспетчеров). Это, в свою очередь является одним из важных факторов в обеспечении безопасности полетов и воздушного движения. Профессиональное выполнение работы прямо зависит от уровня базовой подготовки специалиста, который определяет основу общей подготовки. Однако во многих случаях это приобретает привычный характер и отличает концепцию профессионализма, имеющую творческие свойства. Такая ситуация является сигналом о деградации специалистов.

На рис.5 проведено сравнение существующих и предлагаемых тренажерных системы. Представлена интенсивность текущей базовой подготовки (желтая линия) и текущая тренажерная подготовка (красная линия) относительно интенсивности рабочего периода. Как видно из рис. 5 несмотря на то что, базовая подготовка начинается с учебного этапа (даже в студенческий период) она не имеет должного уровня. С завершением периода подготовки к работе этот процесс превращается в маловостребуемый специалистами процесс, или вовсе в невостребуемый сегмент. А во время повторной подготовки основное внимание уделяется проведению профессиональной

тренажерной подготовки. Это не меняется и во время последующей оперативной работы.

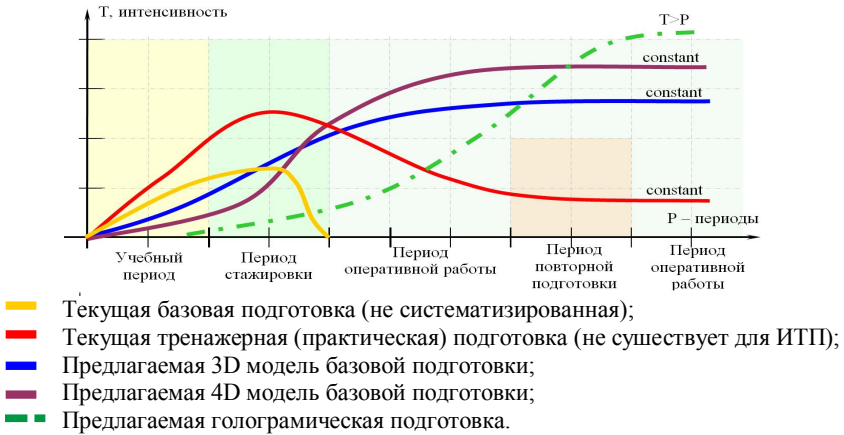


Рис. 5. Сравнительная схема процессов базовой подготовки.

Для решения проблемы определены качественные свойства рассматриваемых тренажерных систем по подготовке специалистов АНО с использованием теории нечетких множеств (Лютфи Заде) и с принципом сравнительной оценки пар для принятия решений в условиях неопределенности (Т.Л.Саати); построена функция принадлежности для каждой тренажерной системы.

Тренажерные системы оценивались по всем свойствам, были созданы симметричные матрицы размером 3x3 и проведена градация. Полученные результаты были определены прикладной программой "Matlab R2012". По сравнению с максимальными величинами между соответствующими функциями принадлежности каждого тренажера (оценка знаний - x_4 , метод обучения - x_8 , уровень визуализации РИП - x_{10} , результат эффекта - x_{14} , потеря времени - x_6 , визуализация эффектов - x_{15}) по данным исследования (μ_{S_3}) система тренажера "ANT4DM" была признана лучшей:

$$\max_{j=1, \dots, 3} \max_{k=1, \dots, 16} \mu_{S_j}(x_k) = \mu_{S_3}(x_4), \mu_{S_3}(x_6), \mu_{S_3}(x_8), \mu_{S_3}(x_{10}), \mu_{S_3}(x_{14}), \mu_{S_3}(x_{15}) \quad (9)$$

Здесь $S = \{s_i\} i=1, 2, 3$ – множество особенностей рассматриваемой $x = \{B_{sim}, P_{sim}, ANT4DM\}$ – системы, $\mu_S(x)$ степень принадлежности элемента – x , особенностей множество – S . $j=1, 2, 3$ – номера рассматриваемых систем, $x_k=1, 2, \dots, 16$ признак особенностей.

В четвертой главе, представлены экспериментальные работы по разработке тренажера базовой подготовки “ANT4DM”. В соответствии с методологией MAHO4D разработаны и внедрены методологические основы и экспериментальный вариант тренажера базовой подготовки “ANT4DM” (первый уровень подготовки - “PreSim” 3D модельная базовая подготовка и второй уровень подготовки - “ProfSim” 4D модельная базовая подготовка). Даны принципы разработки тренажера базовой подготовки “ANT4DM” на основании интеграции принципов АНО к трехмерным средам. В соответствии с новой методологией разработан алгоритм самообучение и самооценка (уровня освоения). На каждые 10 единиц модуля, которые предназначены для определения уровня освоения, используется один и того же алгоритм. Учитывая время пребывания идеального пользователя и реального пользователя на каждом субмодуле:

$$\tau_{ji} = \frac{t_{ji}^{\max} + t_{ji}^{\min}}{2} \quad (10)$$

определена формула уровня освоения:

$$q = \frac{\sum_{j=1}^n q_j \alpha_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (11)$$

Здесь, j - основной модуль ($j=1, n$); i - суб-модуль; t_{ji}^{\min} и t_{ji}^{\max} - проведенное минимальное и максимальное время пользователя в зависимости от объема каждого суб-модуля (для обычного пользователя t_{ji} требует условия $t_{ji}^{\min} \leq t_{ji} \leq t_{ji}^{\max}$); q_j - штрафные баллы; α_j - оценка пользователя (по гипотезе равенстве со средней продолжительностью пребывания идеального и реального пользователя в системе).

Представлено два варианта использования тренажера:

- персональная форма - пользователь имеет возможность самообучения и самооценки (оценка уровня освоения);
- административная форма - административный орган имеет возможность (обучение и тренажерная подготовка) административной подготовки и административной оценки;

Уровень освоения определяется системой с помощью шкалы Харрингтон. Определены условия оценки и контроля (Таблица 1) и

механизм контроля (рис. 6) базовой тренажерной подготовки “ANT4DM”.

Таблица 1. Условия оценки и контроля тренажера “ANT4DM”

Принцип оценки:	Принцип контроля: образец (мин.)
<ul style="list-style-type: none"> • Общая отведен. время, сек.-: огр. (напр., 600 сек.) • Проведенное время. сек.-: 0-10 (увеличивается). • Потраченное время. сек.: 10-0 (уменьшается). • Окончательное проведен. время. (напр., 600 сек.) • Заработанные баллы: макс. 100. • Окончательная оценка: макс. 100% 	<ul style="list-style-type: none"> • Потраченное время: $2 > t < 10$ • Потраченное время: $t < 2$ • Потраченное время: $t > 10$ • Потраченное время: $t = \infty$

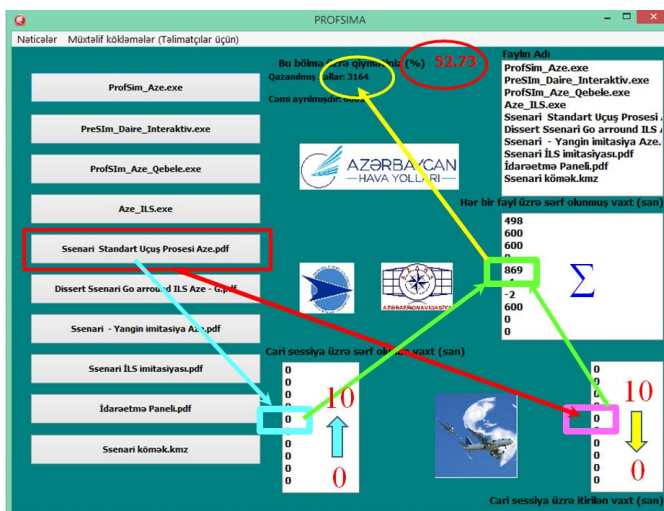


Рис. 6. Механизм контроля самообучения и самооценки (оценка уровня освоения) базовой тренажерной подготовки “ANT4DM”.

Тренажер базовой подготовки “ANT4DM” имеет возможности для самообучения специалиста. Чтобы свободно (без влияния кого-либо) оценить уровень знания (освоения), для этого пользователь имеет все условия. Для освоения и более активного понимания трехмерной среды на базовом тренажере “PreSim” 3D использованы первичные знания. Например, разделы базы знаний по пилотированию, по управлению воздушным движением, по автоматизированным системам УВД, по метеообеспечению, и т.д. Осуществляется представление базовых знаний в различной форме. Здесь используются регулирующие документы, слайды, видео

материалы, фильмы и другие методы и средства обучения. "PreSim" в целом делится на двух и трехмерные разделы. Одновременно эти модули имеют функции определения уровня освоения. В системе систематизированы только внутримодульные материалы. По использованию модулей не существует ограничений. Каждый пользователь имеет свободный доступ по использованию системы.

На втором уровне подготовки по методологии МАНО4D – даны принципы разработки и структуры 4D тренажера “ProfSim”. С помощью имитирующих моделей созданы соответствующие представления в среде визуализации 180° и 360° (рис. 7).

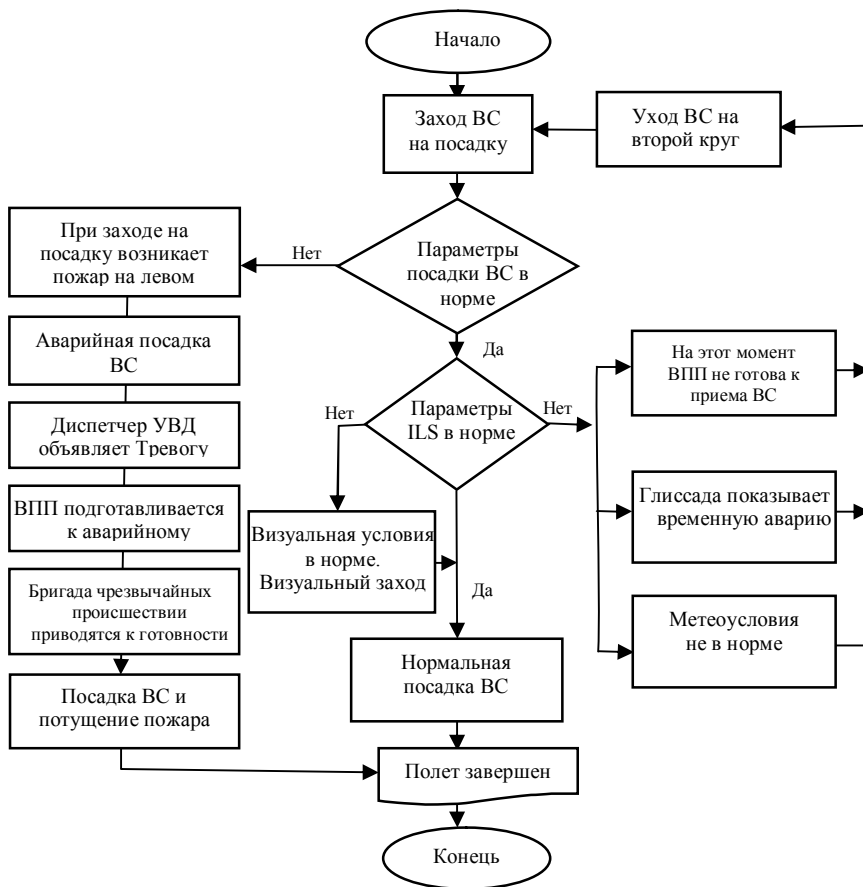


Рис. 7. Алгоритм разработки сценариев для моделирования в среде 3D RAD в соответствии с методологией МАНО4D.

Разработан стандартный взлет и посадка, уход самолета на второй круг на фоне РИП ILS, аварийная посадка с имитацией возникновения пожара в двигателе самолета и при этом соответствующие процедуры по АНО (рис. 7).

Процесс обучения "ProfSim" которые на двух версии (на двух языках - "ProfSim-AZE" и "ProfSim-ENG" состоит из следующих учебно-тренировочных процессах (УТП):

- Стандартный УТП полет по кругу - "Traffic circuit of flight";
- УТП - уход на второй круг - "ILS signal is failure";
- УТП - виртуальный авиарейс по маршруту "Baku-Gabala-Baku".
- УТП пожар - "Fire". Процессы АНО при заходе на посадку.

Процессы "ProfSim" соответствует нижеследующим режимам:

- Активный режим подготовки со звуковым эффектом.
- Интерактивный режим подготовки без звукового эффекта в реальном времени.

Согласно алгоритма текущего времени в интерактивной среде, на рис. 7 представлен виртуальный рейс из международного аэропорта Гейдар Алиев на международный аэропорт Габала; даны возможности управления РИП ILS, проведено испытание.

Методология МАНО4D предназначена для изменений в положительную сторону качества подготовки и уровня освоения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана методология МАНО4D для проведения учебно-тренировочных процедур специалистов АНО полетов с помощью визуального моделирования, оценки и формирования визуализации изображения в среде 4D.

2. Внедрение методологии МАНО4D увеличивает вероятность освоения процессов, принятия правильного решения и снижения фактора риска при тренажерной подготовке обеспечивающей безопасность полетов; У специалистов АНО формирует ясное представление о многомерных пространствах; Позволяет лучше освоить радиоинформационные поля и траекторию планирования полета (BC). Создание возможности симуляции взлета, полета, захода и посадки, рулежных процессов, в воздушном пространстве, а также анализа возможных конфликтов и опасных сближений на всех этапах полета, увеличивает уровень безопасности АНО.

3. Методология МАНО4D практически применена при проектировании и строительстве международного аэродрома Габала. Этот метод позволяет виртуально определить магнитный курс посадки, принимая во внимание рельеф местности и принятие соответствующих мер.

4. Дан алгоритм решения визуализации пространственного представления РИП движущегося (летающего) объекта с применением математических методов перехода из географической систем координат к декартовую и сферическую систему координат.

5. Построены 3D модели РИП созданные инструментальной системой посадки (ILS) и эти модели интегрированы в четырехмерные среды.

6. Разработан учебно-базовый тренажер «ANT4DM» для подготовки ИТП специалистов АНО: первый уровень подготовки - “PreSim” 3D модельная базовая подготовка и второй уровень подготовки - “ProfSim” 4D модельная базовая подготовка. В соответствии с методологией МАНО4D разработана математическая модель и алгоритм самообучения и самооценки уровня освоения и определен механизм контроля.

7. Учебно-базовый тренажер “ANT4DM” снижет зависимость от факторов времени и пространства, индивидуализирует условия подготовки, улучшает психоэмоциональное состояние пользователей в процессе подготовки специалистов АНО.

8. Используя теории нечетких множеств, дан метод оценки тренировочных систем при подготовке специалистов. Метод применен к тренажерам “PreSim” и “ProfSim” и выявлено, что тренажерная система основана на методологии МАНО4D в соответствии исследуемыми характеристиками имеет преимущества перед выбранными альтернативами.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Пашаев А.М., Султанов В.З., Искендеров И.А., Бабаев Г.Б. Новые подходы разработки тренажёра аэронавигационного обеспечения полетов на основе 3D моделирования / 11-я Международная конференция “Авиация и космонавтика-2012”. 13-15 ноября 2012 г., Москва, Тезисы докладов.-СПб.:Мастерская печати, 2012.-412 с., с.238-239.

2. Пашаев А.М., Набиев Р.Н., Султанов В.З., Бабаев Г.Б. Применение трехмерной визуализации данных с учетом фактора памяти в

аэронавигационном обеспечении полетов // Известия Южного Федерального Университета, 2013, №2. стр. 181-187.

3. Paşayev A.M., Nəbiyev R.N., İsgəndərov İ.Ə., Sultanov V.Z., Babayev H.B. Aeronaviqasiya təminatında üç ölçülü vizual təsəvvür və yaddaş amili // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, Bakı-2013, cild-5, №1,s.24-31. (MAA Elmi Əsərləri, Bakı-2012, №2, s.6-17).

4. Paşayev A.M., Nəbiyev R.N., Sultanov V.Z., Babayev H.B. Dördölçülü mühitdə aeronaviqasiya təminatının modelləşdirilməsi // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri, 2013, №1, s.9-24 (Pashaev A.M., Nəbiyev R.N., Sulطانov B.З., Бабаев Г.Б. Моделирование аэронавигационного обеспечения в четырехмерном пространстве // Междunarodnyj naučno-issledovatel'skiy žurnal, Екатеринбург: 2013, №5(12) ч.1. с.57-62).

5. Пашаев А.М., Набиев Р.Н., Султанов В.З., Бабаев Г.Б. Моделирование аэронавигационного обеспечения в четырехмерном пространстве // Материали XI міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2013». Том 4. Київ: НАУ, 21-23 травня 2013., с.21.89-21.91.

6. Paşayev A.M., Nəbiyev R.N., Ağayev N.B., Sultanov V.Z., Babayev H.B. Radiosiqnalın riyazi modeli və onun 4D mühitə inteqrasiyası // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri, 2013, №2. s.12-27.

7. Пашаев А.М., Султанов В.З., Набиев Р.Н., Бабаев Г.Б. Моделирование аэронавигационного обеспечения в трехмерном пространстве / Сборник тезисов докладов участников Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию ГА, Секция-9, Навигация и УВД, М: МГТУ ГА, 24 апреля 2013.-300с, с.168.

8. Nəbiyev R.N., Sultanov V.Z., Ağayev N.B., Babayev H.B. Radiosiqnalların 4D modelinin qurulması problemlərinin sistemli təhlili / Материалы седмой международной научно-технической конференции. МЭПП, Баку-Сумгаит, 27-29 ноября 2013. s.173-176.

9. Paşayev A.M., Nəbiyev R.N., Sultanov V.Z., Babayev H.B. Mütəxəssis hazırlığında üç ölçülü mühitə uyğunlaşdırılmış sistemlərin təhlili // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri, 2014, №1, s.9-25.

10. Paşayev A.M., Nəbiyev R.N., Ağayev N.B., Sultanov V.Z., Babayev H.B. ILS radioinformasiya sahəsinin vizuallaşdırılma prinsipləri // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri, 2014, №2, s.9-25.

11. Paşayev A.M., Nəbiyev R.N., Ağayev N.B., Sultanov V.Z., Babayev H.B. 4D mühitində radiosiqnalın riyazi modelinin qurulması problemlərinin sistemli təhlili // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, 2014, cild-6, №1, s.79-88.

12. Babayev H.B. Aeronaviqasiya təminatının çoxölçülü modelləşdirilmə üsulları // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri, 2015, №1, s.107-127.

**DEVELOPMENT OF METODOLOGY BASIC PRINCIPLES
FOR AIR NAVIGATION SERVICES BASED ON
TREE-DIMENSIONAL MODELING**

The thesis is devoted to the development of the methodological basics of air navigation services (ANS) and development of the simulator for engineering-technician staff. As there isn't any simulator training available for ANS engineering-technician staff, the study was based on visualization of radioinformation fields (RIF), the principles of simulator training using three and four dimensional environment were defined. RIFs in vertical and horizontal planes most responsible stages of flight – approach and landing were modelled. In order to improve flights and ATC safety and their efficiency, methodological basics of multidimensional simulator training of ANS engineering-technician staff are presented in this research work and relevant computer modelling of this basics was performed. Researches performed based on current methods, systems, theoretical and practical knowledge, as well as mathematical, fuzzy logic and multidimensional modelling methods considered in simulator training of personnel. Based on integration of ANS in three-dimensional and four-dimensional environments “ANT4DM” (modeling air navigation services in four-dimensional space) basic simulator training principles are given. Self-training and self-evaluation (self-development) mathematical models were developed as per new methodology.

Scientific and technical results of the current research work are as follows:

1. Threedimensional transfer models of RIF caused by ILS (Instrumental Landing Sistem) were created and these models were integrated into fourdimensional environment.

2. Developed methodology of “ANT4DM” to perform training procedures of ANS personnel in 4D environment using visual modelling, evaluation and visualisation.

3. ANT4DM methodology was practically used during Gabala International Airport design and building.

4. As part of the this process “ANT4DM” basic training simulator for ANS engineering-technician staff was developed: “PreSim” 3D model basic - initial training level, “ProfSim” 4D model basic - secondary training level training simulators came into realization.

Hüseyn Baba oğlu Babayev

**ÜÇ ÖLÇÜLÜ MODELLEŞDİRMƏ ƏSASINDA
AERONAVİQASIYA TƏMİNATININ METODOLOJİ
ƏSASLARININ İŞLƏNMƏSİ**

Mövcud dissertasiya işi üçölçülü modelləşdirmə əsasında aeronaviqasiya təminatının (ANT) metodoloji əsaslarının işlənməsi və mühəndis-texniki heyət üçün trenajorun hazırlanmasına həsr edilib. ANT üzrə mühəndis-texniki heyət üçün trenajor hazırlığının olmadığı üçün bu proseslərin əsasını təşkil edən radioinformasiya sahələrinin (RİS) vizuallaşdırılması əsas götürülmüşdür, üçölçülü və dördölçülü mühitdə trenajor hazırlığının prinsipləri müəyyənləşdirilmişdir. ANT proseslərində məsuliyyət dərəcəsi yüksək olan mərhələ kimi şaquli və üfüqi müstəvilərdə təyyarənin enməyə daxil olması və enməsi zamanı RİS modelləşdirilib. Dissertasiya işində uçuşların və HHİE təhlükəsizliyinin, effektivliyinin artırılması məqsədilə ANT üzrə mühəndis-texniki heyətin mütəxəssis hazırlığını çoxölçülü mühitdə təmin edə bilən trenajor təlimlərinin metodoloji əsasları işlənmişdir və bu əsaslar üzərində kompyüter modelləşdirilməsi yerinə yetirilmişdir. Tədqiqatlar mövcud trenajor və mütəxəssis hazırlanması üçün nəzərdə tutulan üsullara, sistemlərə, nəzəri və praktiki biliklərə, həmçinin riyazi, qeyri-səlis və çoxölçülü modelləşdirmə üsullarına əsasən aparılıb. ANT prinsiplərinin üçölçülü və dördölçülü mühitlərə inteqrasiyası əsas götürülməklə “ANT4DM” (aeronaviqasiya təminatının 4D modelləşdirilməsi) baza hazırlığı trenajorunun praktiki hazırlanma prinsipləri verilib. Yeni metodologiyaya əsasən özünü tədris və özünü qiymətləndirmənin (mənimsəmənin) riyazi modeli işlənmişdir.

Alınan əsas elmi-texniki nəticələr aşağıdakılardan ibarətdir:

1. Cihazla Enmə Sisteminin (ILS) yaratdığı radioinformasiya sahəsinin 3D mühitə keçid modelləri qurulmuş və 4D mühitə inteqrasiya edilmişdir.
2. 4D mühitində prosesləri vizuallaşdırmaq və qiymətləndirilməklə ANT üzrə mütəxəssislərin təlim-məşq prosedurlarının aparılması üçün ANT4DM metodologiyası işlənmişdir.
3. ANT4DM üsulu Qəbələ Beynəlxalq Hava Limanında aerodromun layihələndirilməsi və tikintisi zamanı praktiki olaraq tətbiq edilmişdir.
4. ANT üzrə mütəxəssis hazırlığında MTH üçün “ANT4DM” baza təlim trenajoru hazırlanmışdır: birinci hazırlıq səviyyəsi kimi “PreSim” - 3D model baza və ikinci hazırlıq səviyyəsi kimi “ProfSim” - 4D model baza təlim trenajorları kimi reallaşdırılmışdır.

Подписано к печати 18.07.2016 г.
Тираж 100 экз. Формат 60x84 1/16

Отпечатано в Центре полиграфии
Национальной Академии Авиации
ЗАО “Азербайджан Хава Йоллары”

**“AZƏRBAYCAN HAVA YOLLARI”
QAPALI SƏHMDAR CƏMİYYƏTİ
MİLLİ AVİASIYA AKADEMİYASI**

Əlyazması hüququnda

HÜSEYN BABA OĞLU BABAYEV

**ÜÇÖLÇÜLÜ MODELƏŞDİRMƏ ƏSASINDA
AERONAVİQASIYA TƏMİNATININ METODOLOJİ
ƏSASLARININ İŞLƏNMƏSİ**

İxtisas: 3352.01 – Hava nəqliyyatının istismarı

**Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın**

A V T O R E F E R A T I

BAKI - 2016