

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

TECHNOLOGICAL BASES OF IMPROVING THE RELIABILITY AND QUALITY OF PRODUCTS

УДК 004

DOI 10.21685/2307-4205-2020-2-10

В. Р. Роганов, О. А. Кувшинова, Н. С. Есимова, Е. А. Асмолова, Л. А. Тюрина

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭРГАТИЧЕСКИХ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ «АВИАЦИОННЫЙ ТРЕНАЖЕР» ЗА СЧЕТ ДОБАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫХ СИТУАЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С РЕШЕНИЕМ ЗАДАЧ САМОЛЕТОВОЖДЕНИЯ

V. R. Roganov, O. A. Kuvshinova, N. S. Esimova, E. A. Asmolova, L. A. Tyurina

IMPROVEMENT OF ERGATIC SOFTWARE AND TECHNICAL COMPLEXES “AIRCRAFT SIMULATOR” BY ADDING TRAINING SITUATIONS RELATED TO THE SOLUTION OF NAVIGATION TASKS

Аннотация. Проведен анализ эргатического программно-технического комплекса, получившего название «авиационный тренажер», используемого сейчас для профессиональной подготовки летчиков, для наработки навыков пилотирования летательного аппарата во время особых случаев в полете. Такой традиционный подход является следствием возможностей программно-технических средств, которые использовались в конце XX в. В частности, обучение пилотированию летательного аппарата подразумевает и обучение вязальной посадке на модель ВПП абстрактного аэродрома с визуальным наблюдением прилегающей местности. Размер модели полетов, пролетая над которым, летчик мог визуально ориентироваться, составляет не более чем 15×15 км. В центре такого района находится центр модели ВПП. Однако современное состояние науки и техники позволяет расширить мо-

Abstract. An analysis is made of an ergatic software and hardware complex called the “flight simulator”, which is now being used to train pilots in the skills of piloting an aircraft during special cases in flight. This traditional approach is a consequence of the capabilities of software and hardware that were used at the end of the 20th century. In particular, training in piloting an aircraft also involves training in knitting landing on the runway model of an abstract aerodrome with visual observation of the surrounding area. The size of the flight model flying over which the pilot could visually navigate is no more than 15×15 km. At the center of such an area is the center of the runway model. However, the current state of science and technology allows us to expand the flight region model to a size of $1,500 \times 1,500$ km, including providing pilots with training in solving aircraft navigation problems with visual orientation using reference objects models visible through the glazing of the flight simulator cabin, on the screen of the

© Роганов В. Р., Кувшинова О. А., Есимова Н., Асмолова Е. А., Тюрина Л. А., 2020

дель района полетов до размера 1500×1500 км, обеспечить летчиков обучением решению задач самолетовождения с визуальной ориентацией по моделям реперных объектов, видимых через остекление кабины авиационного тренажера, на экране имитатора тепловизора и на экране имитатора радиолокатора. При этом сохраняется возможность определения места нахождения модели летательного аппарата в модели внешней среды по показаниям имитаторов радиотехнических средств самолетовождения и контроля выхода в/на поворотный пункт маршрута методом счисления пути. Рассматриваются основные требования к отдельным узлам авиационного тренажера, позволяющие расширить число учебных ситуаций, добавив решение задач самолетовождения с визуальным контролем пролета моделей реперных объектов в поворотных пунктах маршрута.

Ключевые слова: авиационный тренажер, пилотирование летательного аппарата, самолетовождение, модель внешней среды.

imager of the imager and on the screen of the simulator of the radar. At the same time, it remains possible to determine the location of the model of the aircraft in the model of the external environment according to the testimony of simulators of radio engineering means of aircraft and keeping control of the exit to \ to the turning point of the route by dead reckoning. The article discusses the basic requirements for individual units of the flight simulator to expand the number of training situations by adding a solution to the problems of self-driving with visual control of the passage of models of reference objects in the turning points of the route.

Keywords: flight simulator, piloting of an aircraft, aircraft navigation, model of the environment.

Введение

Современное развитие аппаратно-программных комплексов машинного синтеза позволяет в реальном масштабе времени синтезировать на экране монитора изображения местности, по качеству приближенные к изображениям на экране телевизора, полученного с использованием видеокамер [1]. Определенная эйфория от полученных результатов часто позволяет ошибочно интерпретировать полученные результаты как решение задач синтеза и моделирования объемного изображения [2]. Такая трактовка обычно опирается на результаты, полученные при рассмотрении на экране монитора «неплоского» изображения, полученного за счет обработки светотени (рис. 1), или при рассмотрении движущихся моделей трехмерных объектов, грани которых освещены с учетом правил машинной графики (например, когда на экране перемещается модель куба, или написанное «объемным» шрифтом слово). Системы моделирования трехмерного изображения используются в различных отраслях народного хозяйства: для обучения водителей транспортных средств, при улучшении условий проведения операций с использованием эндоскопических стоек и в других случаях [3]. В дальнейшем будем рассматривать авиационные тренажеры (рис. 2), позволяющие на земле обучить летчиков профессиональным навыкам пилотирования летательного аппарата и частично решению навигационных задач [4].



Рис. 1. Пример «неплоского изображения»

Основная часть

Для получения модели трехмерной внешней среды вокруг кабины тренажера вначале на плоском экране синтезируется видеоряд из 2D-проекций части модели 3D-внешней среды, попавшей в камеру наблюдения (рис. 3).



Рис. 2. Кабина авиационного тренажера устройством индикации с «широким зрачком» [5]



Рис. 3. Возможное положение камеры наблюдения в модели внешней среды

Синтезируют на плоском экране 2D-проекцию части 3D-внешней среды в авиационных тренажерах специализированные программно-технические системы машинного синтеза [6]. Длительное время считалось, что достаточно подключить к такому экрану устройство индикации синтеза 3D-изображения и такую систему можно использовать как «Имитатор визуальной обстановки» или как комплекс, позволяющий обучать летчика визуальной посадке на модель ВПП [7].

Технология получения 3D-изображения следующая. На плоском экране синтезируется с интервалом не более 120 мсек 2D-проекция части трехмерной модели внешней среды. Далее используют одну из двух возможных схем с оптическими устройствами.

Условно первой системой назовем систему со стереочками. Обычно это два экрана, каждый из которых подключен к своей специализированной программно-технической системе машинного синтеза. Один синтезирует изображение для левого глаза, один – для правого глаза. Преимущество такой системы в том, что подготовленный наблюдатель видит 3D-изображение в любом случае, если телесные углы камер наблюдения совпадают с углами между глазом наблюдателя и соответствующим экраном, на котором синтезируется соответствующее изображение. Недостаток в том, что существует интервал времени, в течение которого зрительный аппарат конкретного человека учится видеть 3D-изображение моделей объектов с качеством, позволяющим человеку визуально определять расстояние до выбранной модели. Как правило, любой человек, надев стереочки, сразу видит на экранах резкое, а не расплывчатое изображение (среди людей есть исключения, когда человек, начав рассматривать изображения через стереочки, может потерять ориентацию в пространстве или получить сильную головную боль после сеанса такой работы). Кроме того, не все сразу могут визуально определять расстояние до рассматриваемых моделей так же, как в реальной жизни они визуально определяют расстояние до выбранных объектов. Эксперименты, в которых участвовали

авторы статьи при проведении НИОКР «Исследование и оптимизация технологий изготовления светоделительных пластин и сферических зеркал, для одноканальных и многоканальных безочковых индикаторов псевдообъемного изображения с узким зрачком» (государственный контракт №8009р/8265 от 30.04.2010) (1 и 2 этапы) между ООО «Видео3» и Федеральным государственным бюджетным учреждением «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере», показали, что интервал обучения зрительного аппарата конкретного человека видеть 3D-модель и визуально определять расстояние до нее может длиться до 5 месяцев, при ежедневной работе с такой системой не менее 20 мин в день. При этом все исследователи сразу видели четкое изображение, но не могли точно определять расстояние до видимых моделей.

Итак, при обучении зрительного аппарата человека видеть 3D-модель при использовании систем со стереочками могут появиться негативные эффекты:

- головная боль;
- кратковременная потеря ориентации в пространстве во время первых сеансов работы с такими системами, что наблюдалось у двух исследователей (при общем числе исследователей 78 человек).

У исследователей, работавших с такими системами, через месяц негативные эффекты, если они были раньше, пропадали, что объясняется обучением зрительного аппарата человека видеть 3D-модель. У большинства исследователей не наблюдалось негативных эффектов при работе с системами со стереочками. Переход от телевизионных экранов с чересстрочной разверткой к телевизионным экранам с прогрессивной разверткой и увеличение числа пикселей на единицу площади телевизионного экрана улучшают характеристики систем со стереочками и снижают процент негативных эффектов.

Вторая система, используемая в авиационном тренажере, – это безочковые системы моделирования 3D-изображения, когда между плоским экраном и глазом человека размещается коллиматор (такая система воздействует на аккомодацию и конвергенцию зрительного аппарата человека). Для наблюдения 3D-изображения при использовании таких систем, кроме соответствия углов пирамиды видимости углам обзора используемой системы моделирования 3D-изображения, для активизации аккомодации и конвергенции зрительного аппарата человека наблюдатель должен быть подвижен или в кадре должны быть подвижные объекты.

Обе рассматриваемые системы моделирования 3D-изображения относятся к псевдообъемным системам моделирования трехмерного изображения. Трехмерная модель создается в сознании человека за счет целенаправленного воздействия специальной оптики на зрительный аппарат человека специальных изображений, являющихся 2D-проекциями моделей трехмерной внешней среды на плоскость экрана (экранов). Все мы разные, и это подтверждается результатами проведенных исследований, но указанные особенности зрения человека позволяют всем людям видеть модель 3D-изображения с качеством, достаточным для тренировки глазомера, но может быть интервал обучения человека видеть 3D-изображение. При использовании безочковых систем из всех исследователей такой был один.

В XX в. псевдообъемные системы были основными в имитаторах визуальной обстановки авиационных тренажеров. Их эффективность подтверждена способностью обучать летчиков сложному процессу визуальной посадке на модель ВПП, в том числе на укороченную модель ВПП палубы авианосца. Ранее считалось, что к недостаткам безочковых систем моделирования 3D-изображения относятся [8, 9]:

- условия наблюдения 3D-изображения только при подвижном наблюдателе;
- что дистанция между глазом наблюдателя и ближайшей видимой трехмерной моделью – 80 м;
- что эффект наблюдения трехмерной модели возможен только в полной темноте, так как из-за поглощения и отражения в оптической системе синтезируемая 3D-модель тусклая.

Однако, как показали результаты эксперимента, эти предположения частично ошибочны.

Безочковые системы синтеза 3D-моделей делятся на два класса: системы с «узким зрачком» и системы с «широким зрачком». При использовании систем с «узким зрачком» существует незначительная область пространства (рис. 4), в которой должны находиться глаза наблюдателя, и такой объем позволяет одному летчику комфортно наблюдать 3D-модель. В системах с «широким зрачком» в такую область наблюдения 3D-изображения помещается кабина широкофюзеляжного самолета (см. рис. 2). В системах с «узким зрачком» в область наблюдения 3D-изображения помещается

голова наблюдателя (рис. 5). Обычно один безочковый индикатор моделирует для человека 3D-модель внешнего пространства в углах обзора 40° по горизонтали и 30° по вертикали. Для расширения углов обзора устанавливается несколько таких индикаторов (рис. 2, 5). В частности, на рис. 5 имеется три индикатора, которые в сумме дают углы обзора 120° по горизонтали и 30° по вертикали.

Все рассматриваемые системы синтеза 3D-изображения позволяют подготовленному человеку визуально оценивать расстояние до наблюдаемых объектов. Все рассматриваемые системы являются псевдообъемными. В отличие от истинно объемных систем (на базе вращающегося экрана) в этих системах используется видеоряд из 2D-проекций, а зрительный аппарат человека достраивает его до 3D-модели.

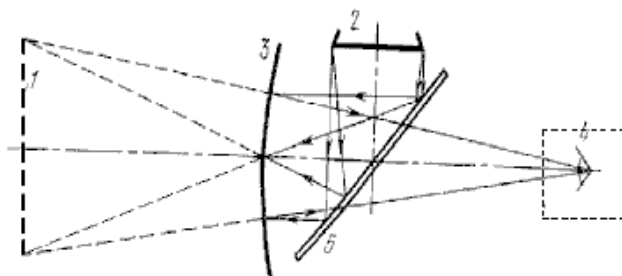


Рис. 4. Схема псевдообъемного индикатора с «узким» зрачком на базе зеркального коллиматора:
1 – мнимый экран; 2 – телевизионный экран, на котором синтезируются 2D-проекции 3D-объектов;
3 – вогнутое сферическое зеркало; 4 – место расположения глаза человека-наблюдателя;
5 – светоделительная пластина



Рис. 5. Трехканальное устройство индикации ОКУ производства ОАО ПКБМ с «узким зрачком», установленное на пилотажном тренажере

При исследовании псевдообъемных индикаторов с «узким зрачком» типа ОКУ производства НПП «ЭРА» или РЭЛЛИ, ЭЛЬВИРА, СВЕТЛАНА/15/М производства ООО «Видео3» были обнаружены следующие эффекты:

- существует объем пространства перед указанными индикаторами, при нахождении в котором глаз наблюдателя видит трехмерное изображение моделей виртуального пространства, рассматривая двухмерные, изменяемые модели, которые высвечиваются на экране формирования промежуточного изображения;
- изображение оказывается достаточно ярким, чтобы наблюдатель мог видеть его при дневном освещении;
- псевдообъемное изображение получается слегка «размытым», но достаточно четким, и это не сказывается на возможности использования таких систем в авиационных тренажерах, в эндоскопических стойках и в других случаях, когда необходимо моделировать 3D-изображение объектов для человека;

– между наблюдателем и самой ближайшей моделью виртуального пространства имеется «зона стенки окна», оцениваемой нами по результатам экспериментов как не более 8 м, в то время как по литературным данным это расстояние оценивается не менее чем 80 м [1, 3].

Анализ технических решений показывает, что имеются достаточно хорошие решения задачи моделирования 3D-изображения модели внешней среды, которые можно классифицировать (рис. 6). Это явилось следствием разработки авиационных тренажеров как обучающих систем для привития летчикам профессиональных навыков пилотирования летательных аппаратов, когда от таких систем требовалось синтезировать 3D-изображение модели ВПП на этапе обучения визуальной посадки летательного аппарата.

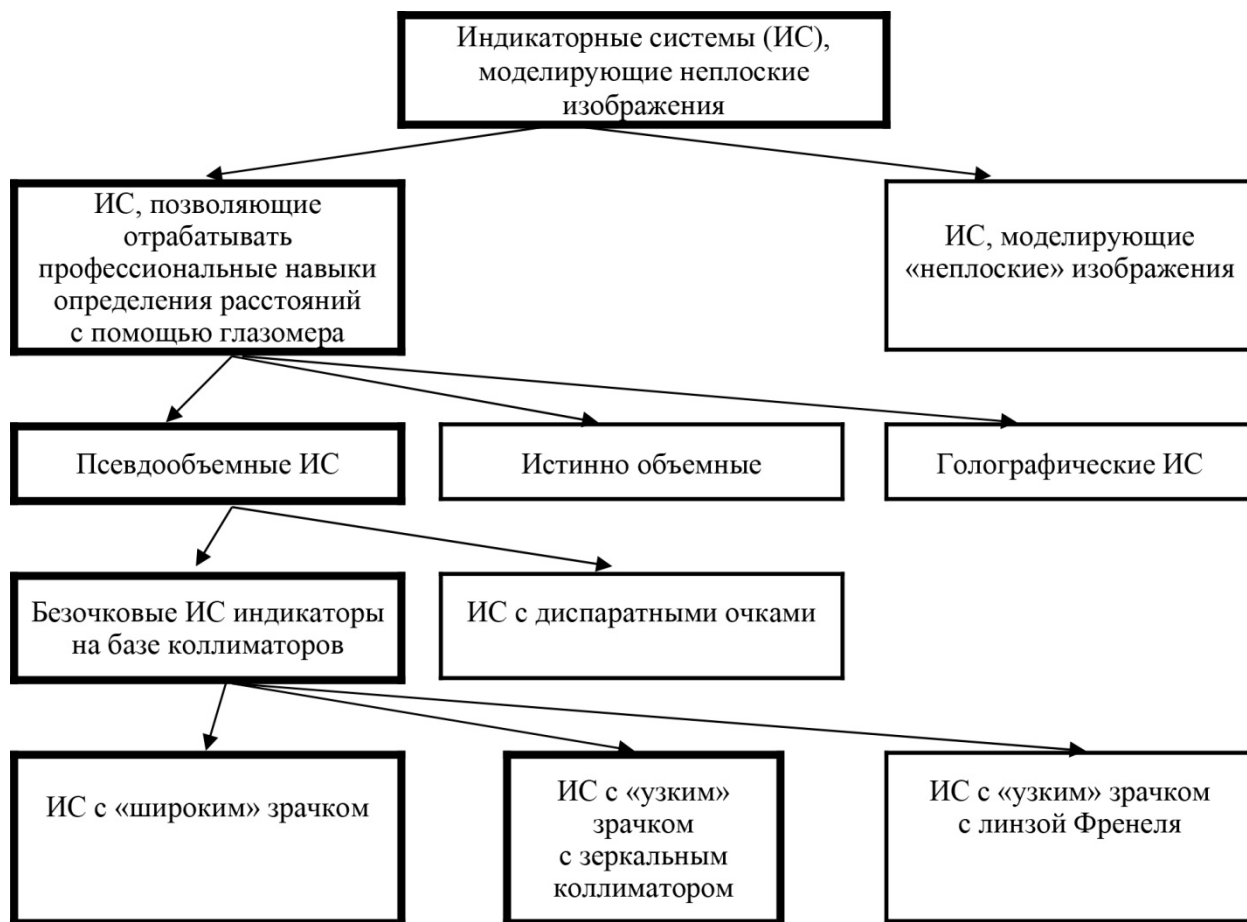


Рис. 6. Классификация индикаторных систем, моделирующих неплоские изображения (выделены системы, используемые в авиационном тренажеростроении)

В то же время летчик, управляя реальным летательным аппаратом, решает задачи пилотирования и навигации. В настоящее время решение навигационных задач в максимальном объеме летчик принимает только при полете над моделью аэродрома. Почти все известные пилотажные и комплексные авиационные тренажеры для этого моделируют узнаваемую модель земной поверхности размером 15×15 км, в центре которой находится модель основной ВПП конкретного аэродрома. При этом бывшая долгое время лидером мирового авиационного тренажеростроения канадская фирма CAE разрабатывает имитаторы визуальной обстановки, теоретически позволяющие моделировать район полетов размером 1500×1500 км. Для целей навигации необходимо решить задачи создания модели реального участка местности с размещенными в ней моделями реперных объектов, такая модель называется сценой визуализации. Раньше решение такой задачи сдерживалось недостаточным объемом памяти и производительностью используемых программно-технических систем, на базе которых разрабатывались компьютерные генераторы изображения. Сейчас эти ограничения сняты. Остались нерешенными следующие задачи.

Первая из них – какие требования должны предъявляться к сцене визуализации. В ней должны находиться модели реперных объектов M_j^V , которые могут быть видны в имитатор визуальной обстановки любого типа, и при необходимости летчики по ним должны решать все задачи навигации:

$$P_{t_i}^V = \sum_{j=1}^{N_{t_i}^V} I^V(M_j^V),$$

где $P_{t_i}^V$ – определенное летчиком при полете на авиационном тренажере место модели летательного аппарата в модели внешней среды по информации от имитатора визуальной обстановки; $I^V(M_j^V)$ – информация о положении модели летательного аппарата в модели внешней среды, полученная летчиком при ориентации по визуально наблюдаемой j -й модели M_j^V через остекление кабины авиационного тренажера; $N_{t_i}^V$ – число реперных объектов, по которым в момент времени t_i видимых через имитатор визуальной обстановки.

Вторая – задачи навигации в полете на реальном летательном аппарате могут решаться не только при наблюдении за реперными объектами через остекление кабины, но при наблюдении за реперными объектами через тепловизор M_j^Q и радиолокатор M_j^R :

$$P_{t_i}^Q = \sum_{j=1}^{N_{t_i}^Q} I^Q(M_j^Q),$$

где $P_{t_i}^Q$ – определенное летчиком при полете на авиационном тренажере место модели летательного аппарата в модели внешней среды по информации от имитатора тепловизора; $I^Q(M_j^Q)$ – информация о положении модели летательного аппарата в модели внешней среды, полученная летчиком при ориентации по визуально наблюдаемой j -й модели M_j^Q на экране имитатора тепловизора; $N_{t_i}^Q$ – число реперных объектов, по которым в момент времени t_i видимых через имитатор тепловизора:

$$P_{t_i}^R = \sum_{j=1}^{N_{t_i}^R} I^R(M_j^R),$$

где $P_{t_i}^R$ – определенное летчиком при полете на авиационном тренажере место модели летательного аппарата в модели внешней среды по информации от имитатора радиолокатора; $I^R(M_j^R)$ – информация о положении модели летательного аппарата в модели внешней среды, полученная летчиком при ориентации по визуально наблюдаемой j -й модели M_j^R на экране имитатора радиолокатора; $N_{t_i}^R$ – число реперных объектов, по которым в момент времени t_i видимых через имитатор радиолокатора.

Третья задача навигации может решаться с помощью радиотехнических средств самолето-вождения (радиокомпыаса, радиостанции ближней навигации и т.д.):

$$P_{t_i} = F_k(I_k),$$

где P_{t_i} – определенное летчиком при полете на авиационном тренажере место модели летательного аппарата в модели внешней среды по информации $F_k(I_k)$ от k -го имитатора радиолокатора.

При разработке разных имитаторов авиационного тренажера, моделирующих для летчика модель внешней среды с возможностью решения задач навигации: имитатор визуальной обстановки, имитатор тепловизора и имитатор радиолокатора – разрабатываются три сцены визуализации: сцена визуализации для имитатора визуальной обстановки; сцена визуализации для имитатора тепловизора; сцена визуализации для имитатора радиолокатора. Учитывая, что летчик во время полета до 90 % информации получает от зрительного анализатора, и то, что полной модели создать невозможно, при разработке сцен визуализаций необходимо учесть, что число моделей реперных объек-

тов, расположенных в соответствующих сценах, являются подмножеством числа реальных объектов, которые расположены в районе местности, выбранном в качестве прототипа сцены визуализации. При этом необходимо учесть, что количество моделей реперных объектов по всей сцене визуализации должно быть достаточно для решения навигационных задач:

$$N_S^V = \frac{N^V}{S^V},$$

$$N_S^V \geq K_S^V,$$

где N_S^V – число моделей реперных объектов сцены визуализации имитатора визуальной обстановки на единицу площади; N^V – число моделей реперных объектов в сцене визуализации имитатора визуальной обстановки; K_S^V – минимальное число моделей реперных объектов на единицу площади сцены имитатора визуальной обстановки, позволяющее решать задачи навигации:

$$N_S^Q = \frac{N^Q}{S^Q},$$

$$N_S^Q \geq K_S^Q,$$

где N_S^Q – число моделей реперных объектов сцены визуализации имитатора тепловизора на единицу площади; N^Q – число моделей реперных объектов в сцене визуализации имитатора тепловизора; K_S^Q – минимальное число моделей реперных объектов на единицу площади сцены имитатора тепловизора, позволяющее решать задачи навигации:

$$N_S^R = \frac{N^R}{S^R},$$

$$N_S^R \geq K_S^R,$$

где N_S^R – число моделей реперных объектов сцены визуализации имитатора радиолокатора на единицу площади; N^R – число моделей реперных объектов в сцене визуализации имитатора радиолокатора; K_S^R – минимальное число моделей реперных объектов на единицу площади сцены имитатора радиолокатора, позволяющее решать задачи навигации.

Как было показано раньше, имитатор визуальной обстановки дает летчику при обучении на авиационном тренажере максимальную информацию: кроме определения места нахождения модели реперного объекта в модели пространства и решения навигационных задач, этот имитатор позволяет тренировать глазомер. Поэтому при разработке сцен визуализаций для имитатора тепловизора и для имитатора радиолокатора за основу берут сцену визуализации для имитатора визуальной обстановки, или

$$N^V \supset N^Q,$$

$$N^V \supset N^R.$$

Заключение

1. Возможности оптико-программно-технических систем современных имитаторов синтеза для человека моделей внешней среды позволяют решить задачу синтеза во время полета на авиационном тренажере узнаваемого участка земной поверхности размером до 1500×1500 км с числом моделей реперных объектов, позволяющих решать задачи навигации и визуально определять расстояние до выбранных моделей реперных объектов.

2. Для модернизации пилотажных и комплексных авиационных тренажеров за счет добавления учебных ситуаций, связанных с решением навигационных задач, необходимо разработать сцены визуализаций для имитаторов визуальной обстановки, имитатора тепловизора и имитатора радиолокатора. При этом все модели реперных объектов в сцене визуализации для имитатора тепловизора

являются подмножеством моделей реперных объектов сцены визуализации для тепловизора имитатора визуальной обстановки.

Библиографический список

1. Main provisions for formation of cognitive model of visually observable environment synthesized for aircraft simulator / V. Roganov, M. Miheev, E. Roganova, B. I. Nurgozhin, V. Fillipenko // *Advances in Engineering Research : Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2017)*. – Atlantis Press, 2017. – Vol. 133. – P. 671–676.
2. Проектирование оптических систем / под ред. Р. Шеннона. – Москва : Мир, 1983. – 430 с.
3. Modernisation of Endoscopic Equipment Using 3D Indicator / V. Roganov, M. Miheev, E. Roganova, O. Grintsova, J. Lavendels // *Applied Computer Systems*. – 2018. – Vol. 23, № 1. – P. 75–80. – DOI 10.2478/acss-2018-0010 <https://www.degruyter.com/view/j/acss>
4. Тренажерные системы / под ред. В. Е. Шукшунова. – Москва : Машиностроение, 1981. – 256 с.
5. Годунов, А. И. Концептуальная модель формирования летных навыков в процессе тренажерной подготовки / А. И. Годунов, Б. Ж. Куатов, Н. К. Юрков // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета*. – 2014. – № 3 (19). – С. 15–24.
6. Роганов, В. Р. Имитаторы визуальной обстановки для тренажеров подготовки водителей транспортных средств / В. Р. Роганов, М. Ю. Михеев, Е. А. Асмолова, Т. В. Жашкова // *Труды Международного симпозиума Надежность и качество*. – 2016. – Т. 2. – С. 326–328.
7. Моделирование в профессиональной подготовке летного состава гражданской авиации // *Итоги науки и техн. Сер.: Воздушный транспорт*. – 1992. – № 25. – 136 с.
8. Юрков, Н. К. К проблеме структурного синтеза моделирующей среды авиационного тренажера / Н. К. Юрков, Б. К. Кемалов, Б. Ж. Куатов // *Труды Международного симпозиума Надежность и качество*. – 2015. – Т. 1. – С. 103–106.
9. Юрков, Н. К. Формирование моделирующей среды авиационного тренажера / Н. К. Юрков, Б. К. Кемалов, Б. Ж. Куатов // *Надежность и качество сложных систем*. – 2015. – № 1 (9). – С. 9–16.

References

1. Roganov V., Miheev M., Roganova E., Nurgozhin B. I., Fillipenko V. *Advances in Engineering Research: Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2017)*. Atlantis Press, 2017, vol. 133, pp. 671–676.
2. *Proektirovanie opticheskikh sistem* [Design of optical systems]. Ed. by R. Shennon. Moscow: Mir, 1983, 430 p. [In Russian]
3. Roganov V., Miheev M., Roganova E., Grintsova O., Lavendels J. *Applied Computer Systems*. 2018, vol. 23, no. 1, pp. 75–80. DOI 10.2478/acss-2018-0010 <https://www.degruyter.com/view/j/acss>
4. *Trenazhernye sistemy* [Training system]. Ed. by V. E. Shukshunov. Moscow: Mashinostroenie, 1981, 256 p. [In Russian]
5. Godunov A. I., Kumatov B. Zh., Yurkov N. K. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta* [Bulletin of Samara State Aerospace University]. 2014, no. 3 (19), pp. 15–24. [In Russian]
6. Roganov V. R., Mikheev M. Yu., Asmolova E. A., Zhashkova T. V. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality]. 2016, vol. 2, pp. 326–328. [In Russian]
7. *Itogi nauki i tekhn. Ser.: Vozdushnyy transport* [Results of science and technology: Air transport]. 1992, no. 25, 136 p. [In Russian]
8. Yurkov N. K., Kemalov B. K., Kumatov B. Zh. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality]. 2015, vol. 1, pp. 103–106. [In Russian]
9. Yurkov N. K., Kemalov B. K., Kumatov B. Zh. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2015, no. 1 (9), pp. 9–16. [In Russian]

Роганов Владимир Робертович

кандидат технических наук, профессор,
кафедра информационных технологий и систем,
Пензенский государственный
технологический университет
(Россия, г. Пенза,
проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11)
E-mail: Vladimir_roganov@mail.ru

Roganov Vladimir Robertovich

candidate of technical sciences, professor,
sub-department of information
technologies and systems,
Penza State Technological University
(1a/11 Baydukov passage / Gagarin street,
Penza, Russia)

Кувшинова Ольга Александровна

старший преподаватель,
Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства
(Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28)
E-mail: oly791702@rambler.ru

Есимова Нурзипа Сапаровна

начальник научного отдела,
Гуманитарно-технический институт «Акмешит»
(Казахстан, г. Кызылорда);
аспирант,
Пензенский государственный
технологический университет
(Россия, г. Пенза,
проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11)
E-mail: nurzipa.esimova@mail.ru

Асмолова Екатерина Александровна

аспирант,
Пензенский государственный
технологический университет
(Россия, г. Пенза,
проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11);
менеджер Фестиваля НАУКА 0+,
АНО «Центр по развитию технологий будущего»
E-mail: logani@mail.ru

Тюрина Лилия Александровна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра техносферной безопасности,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: ot@pnzgu.ru

Kuvshinova Olga Alexandrovna

senior lecturer,
Penza State University of Architecture
and Construction
(28 German Titov street, Penza, Russia)

Yesimova Nurzipa Saparovna

head of scientific department,
Humanitarian and Technical Institute "Akmeshit"
(Kyzylorda, Kazakhstan);
postgraduate student,
Penza State Technological University
(1a/11 Baydukov passage / Gagarin street,
Penza, Russia)

Asmolova Ekaterina Aleksandrovna

postgraduate student,
Penza State Technological University
(1a/11 Baydukov passage / Gagarin street,
Penza, Russia);
manager of Festivals NAUKA 0 +,
ANO Center for the Development
of Future Technologies

Tyurina Lilia Alexandrovna

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of technosphere security,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Образец цитирования:

Совершенствование эргатических программно-технических комплексов «Авиационный тренажер» за счет добавления учебных ситуаций, связанных с решением задач самолетовождения / В. Р. Роганов, О. А. Кувшинова, Н. С. Есимова, Е. А. Асмолова, Л. А. Тюрина // Надежность и качество сложных систем. – 2020. – № 2 (30). – С. 96–105. – DOI 10.21685/2307-4205-2020-2-10.