

ИМИТАТОР ВИЗУАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ, СИНТЕЗИРУЮЩИЙ В ЗРИТЕЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ВНЕШНИЙ ВИД ПРОСТРАНСТВА ВОКРУГ КАБИНЫ АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЁРА¹

Роганов В. Р.², Короп Г. В.³, Михеев М.Ю.⁴
(ФГБУ ВО «Пензенский государственный
технологический университет», Пенза)

Авиационный тренажёр – это комплекс из нескольких имитаторов, объединённых с целью обучения лётчиков профессиональным навыкам пилотирования и самолётовождения. Так как моделировать все возможные ситуации при полёте на реальном летательном аппарате не представляется возможным, каждый авиационный тренажёр разрабатывается для формирования составляющих когнитивной модели лётчика с профессиональными навыками пилотирования летательного аппарата в определённых ситуациях, названных «учебными ситуациями». Из всех имитаторов авиационного тренажёра выделяется эргатический оптико-программно-технический имитатор, синтезирующий для лётчика визуально наблюдаемую 3D-модель внешней среды с качеством, достаточным для решения навигационных задач, включая использование глазомера для оценки расстояния до видимых 3D-моделей реперных объектов, из которых набирается 3D-модель заданного района полётов. Эта задача делится на ряд подзадач, включающих конструирование 3D-моделей реперных объектов, их описание и размещение в базе данных компьютерного генератора изображения, выбор 3D-индикатора, обучение лётчика видеть 3D-объекты в то время как он видит видеоряд из 3D-проекций 3D-моделей реперных объектов. В статье проведён анализ имитаторов визуальной обстановки и 3D-индикаторов с точки зрения формирования как во время реальных полётов на летательном аппарате, так и при полётах на авиационных тренажёрах у лётчика постоянно обновляющихся составляющих его когнитивной модели, позволяющих ему у спешно пилотировать летательный аппарат и решать навигационные задачи как «при полётах в сплошной облачности», так и при полёте с визуальным наблюдением реперных объектов с целью определения места нахождения модели летательного аппарата и направления её полёта.

¹ Часть статьи подготовлена при поддержке при поддержке гранта РФФ №23-21-10046, <https://rscf.ru/project/23-21-10046/>.

² Владимир Робертович Роганов, к.т.н, доцент (vladimir_roganov@mail.ru).

³ Геннадий Викторович Короп, к.т.н, доцент (korop_g@mail.ru).

⁴ Михаил Юрьевич Михеев, д.т.н. профессор, зав. каф. (mix1959@gmail.com).

Ключевые слова: имитатор визуальной обстановки, составляющие когнитивной модели лётчика.

1. Введение

В настоящее время все лётчики совершенствуют свои профессиональные навыки, тренируясь на авиационных тренажёрах (АТ) [1]. Во время учебных полётов лётчик, сидя в кабине АТ, управляет моделью летательного аппарата, перемещаясь в 3D-модели внешней среды [2]. Эффект полёта как на реальном летательном аппарате (ЛА) возникает за счёт воздействия на m -го лётчика в каждый момент $t_j^{(S)}$ информационных потоков $I^{(S)}(t_j)$, поступающих к m -му лётчику от $K^{(S)}$ числа имитаторов. Совокупность имитаторов составляет комплекс технических средств конкретного АТ [3] и разрабатывается для обучения лётчика в учебных ситуациях из утверждённого Заказчиком списка u_n :

$$(1) \quad I^{(S)}(t_j^{(S)}, u_n) = \bigcup_{k=1}^{K^{(S)}} i_k^{(S)}(t_j^{(S)}, u_n).$$

Имитаторы АТ синтезируют информационные потоки $I^{(S)}(t_j, u_n)$, максимально идентичные информационным потокам $I^{(F)}(t_j, u_n)$, получаемым лётчиком во время полёта на реальном ЛА, в условиях, аналогичных условиям из списка u_n , что обеспечивается информацией поступающей к лётчику [4] от имитаторов, число которых $K^{(F)}$:

$$(2) \quad I^{(F)}(t_j^{(F)}, u_n) = \bigcup_{k=1}^{K^{(F)}} i_k^{(F)}(t_j^{(F)}, u_n),$$

$$(3) \quad K^{(F)} > K^{(S)}.$$

Так как создать полную модель невозможно [5], каждый k -й имитатор синтезирует в $t_j^{(S)}$ момент времени $i_k^{(S)}(t_j, u_n)$ с качеством, допускающим обучение лётчика в строго определённых n -х учебных ситуациях на интервале времени [6]:

$$(4) \quad t_j^{(S)} = t_j^{(F)} \pm \Delta t_k^{(S)},$$

когда

$$(5) \quad i_k^{(S)}(t_j^{(S)}, u_n) = F_k(t_j^{(S)}, u_n) \approx i_k^{(R)}(t_j^{(R)}, u_n).$$

Учебная ситуация определяется Заказчиком, и им же проверяется возможность обучения m -го лётчика на конкретном АТ во время полётов на нём лётчиков-испытателей [7]. Заказчик проверяет, что поступающая в $t_j^{(S)}$ момент времени информация $i_k^{(S)}(t_j)$, синтезированная k -м имитатором АТ успешно формирует у m -го лётчика заданные составляющие его когнитивной модели $C_m^{(S)}(i_k^{(S)})$, в которых откладывается необходимый для полётов на реальном ЛА опыт пилотирования летательного аппарата и решения задач самолётовождения [8].

2. Материалы и методы

Разработка и эксплуатация АТ показала, что при учебных полётах в заданных учебных ситуациях у m -го лётчика успешно формируются навыки пилотирования ЛА [9] и навыки решения задач самолётовождения [10], откладываемые в составляющих его когнитивной модели $C_m^{(S)}(i_k^{(S)})$, каждая из которых имеет два параметра [11]:

$$(6) \quad C_m^{(S)}(i_k^{(S)}) = C_m^{(S)'}(i_k^{(S)}) + C_m^{(S)''}(i_k^{(S)}),$$

где $C_m^{(S)}(i_k^{(S)})$ – параметр положительного опыта m -го лётчика, максимально приближенный к составляющей $C_m^{(F)}(i_k^{(F)})$, формирующейся у m -го лётчика во время реального полёта на ЛА, когда он получает $i_k^{(S)}(t_j^{(S)})$ [12]; $C_m^{(S)''}(i_k^{(S)})$ – параметр «ложного навыка» [13] у m -го лётчика, появление которого зависит от отклонений $i_k^{(S)}(t_j^{(S)})$ от $i_k^{(F)}(t_j^{(F)})$ и причиной появления которых являются ошибки при синтезе $I^{(S)}(t_j)$ программно-технической частью k -го имитатора АТ, синтезирующего $i_k^{(S)}$ [14], который описывает поведение конкретного узла ЛА, являющегося прототипом k -го имитатора АТ.

При разработке АТ (6) рассчитывается для каждого имитатора применительно для каждой ситуации, указанной Заказчиком как u_i -я «учебной ситуации» [7]. Если во время пусконаладочных работ фиксируется отклонение допустимого предела $i_k^{(S)}$ в любой момент $t_j^{(S)}$,

$$(7) \quad \left| i_k^{(S)}(t_j^{(S)}, u_i) - i_k^{(F)}(t_j^{(F)}, u_i) \right| \geq \text{const } k,$$

АТ не может применяться для обучения лётчика в данной ситуации.

Таким образом, задачей разработчиков любого k -го имитатора авиационного трена является формирование у m -го лётчика $C_m(i_m^{(S)})$ с учётом (8) при полётах в учебных ситуациях из списка $u_i \in u_n$. Общее число учебных ситуаций

$$(8) \quad U^{(S)} = \bigcup_{i=1}^{I_N^{(S)}} u_i,$$

где $I_N^{(S)}$ – максимально возможное число учебных ситуаций – является основной характеристикой конкретного АТ.

Большинство пилотажных и комплексных АТ разрабатывались с учётом первоочередного обучения m -го лётчика профессиональному пилотированию ЛА с формированием в u_i -й учебной ситуации составляющих его когнитивной модели $C_{m_k}^{(S)}(t_j^{(S)}, C_{m_k}(t_{j-1}), u_i)$ с учётом уже имеющихся у него в предыдущий момент времени $C_m^{(S)}(t_{j-1})$ [15], в которых откладывается его опыт решения поставленных задач как во время реальных полётов, так и при полётах на АТ [16]. Ориентация АТ на обучение лётчика пилотированию ЛА объясняется двумя причинами:

1) задачи обучения лётчика профессиональным навыкам пилотирования ЛА являются более актуальными с точки зрения повышения уровня безопасности полётов ЛА [17], и для их решения достаточно синтезировать в u_i -й учебной ситуации в режиме реального времени (РРВ) с циклом 120 мс на каждом k -м имитаторе приборов кабинного оборудования информацию

$$(9) \quad i_k^{(S)}(t_j^{(S)}) = F_k^{(S)}(D_k(t_j^{(S)}), u_i),$$

отражающую в момент времени $t_j^{(S)}$ изменение функции $F_k^{(S)}$, моделирующей поведение рассматриваемого узла ЛА $D_k(t_j^{(S)})$ в u_i -й учебной ситуации, что фиксируется в $C_m^{(S)}(i_k^{(S)})$ как навыки работы с конкретным прибором кабинного оборудования, зависящие от особенностей m -го лётчика и его общего времени налёта T_m в условиях, аналогичных u_i -й учебной ситуации:

$$(10) \quad T_m(u_i) = T_m^{(F)}(u_i) + T_m^{(S)}(u_i),$$

где $T_m^{(F)}(u_i)$ – время налёта m -го лётчика на реальном ЛА;
 $T_m^{(S)}(u_i)$ – время налёта m -го лётчика на реальном АТ.

$$(11) C_m(i_k(T_m(u_i))) \rightarrow \text{const } C_{m_k} \text{ при } T_m(u_i) \rightarrow \infty;$$

2) обучение m -го лётчика максимально возможным навыкам решения навигационных задач при полёте на АТ предполагает наличие профессиональных навыков ориентировки в пространстве, что составляет:

– умение $C_m(i_V(t_j))$ считывать информацию с панелей k -х приборов радиотехнических средств самолётовождения $i_k^{(S)}(t_j^{(S)})$ (авиационных радиоконпасов (АРК), самолётной радиостанции ближней навигации (РСБНс) и других систем, ориентированных на работу с наземными радиомаяками), используя карту с нанесённым местом расположения наземных средств самолётовождения для определения места положения ЛА (при этом точность определения места нахождения ЛА зависит и от квалификации лётчика $C_m(i_V(t_j))$ и от погрешностей показаний радиотехнических средств самолётовождения [18]); это определяет формирование заданных составляющих его когнитивной модели с профессиональными навыками решения навигационных задач

$$(12) C_m i_k(T_m(u_i)) \rightarrow \text{const } C_{m_k} \text{ при } T_m(u_i) \rightarrow \infty;$$

что аналогично (11) и позволяет разрабатывать АТ, имитаторы которого синтезируют информационные потоки, позволяющие обучать лётчика и пилотированию ЛП и решению навигационных задач «при полётах в сплошной облачности», используя одинаковые подходы к разработке методов синтеза в РРВ информационных потоков от всех имитаторов о поведении основных узлов модели ЛА и о перемещении модели ЛА в модели пространства, что лётчик может наблюдать по показаниям имитаторов приборов кабинного оборудования (при этом допускается организация обратных связей между программно-техническими системами разных имитаторов для увеличения точности синтезируемой информации, и это не зависит особенностей подготовленности анализаторов m -го лётчика воспринимать необходимую информацию);

– умение $C_m(i_V(t_j))$ восстанавливать $t_j^{(S)}$ -й момент времени ориентировку в пространстве по визуально наблюдаемым $3D^{(R)}$ -объектам, которые лётчик во время подготовки к полёту определяет как «реперные» ($C_m(i_V(t_j))$), что также включает также профессиональное умение m -го лётчика определять расстояние до выбранного реперного объекта используя свой глазомер), в итоге для успешного формирования $C_m(i_V(t_j))$ необходимо сконструировать $3D$ -модель района полётов с достаточным числом визуально наблюдаемых $3D_o^{(R_M)}$ - моделей реперных o -объектов, каждый из которых при полётах на АТ должен распознаваться лётчиками как реальный реперный o -объект с вероятностью $P_o^{(3D_M)} \geq 98\%$ (98% – принятый в авиации предел, превышение которого считается обязательным для оценки полученных результатов методами математической статистики и вероятности), или условная вероятность визуального распознавания лётчиком наблюдаемой модели реперного o -объекта $3D_o^{(R)}$ как искомого o -объекта, выбранного для ориентирования на реальной местности $3D_o^{(R_N)}$, должна быть

$$(13) P_o^{(3D_M)} = P(3D_o^{(R_M)} \text{ модель} / 3D_o^{(R_N)} \text{ объект}) \geq 98\% .$$

Имитатор, синтезирующий в РРВ для лётчика визуально наблюдаемые им во время полёта $3D$ -модели реперных объектов с качеством, позволяющим лётчику распознавать из как реальные $3D$ -объекты, называется «Имитатор визуальной обстановки» (ИВО) (рис. 1). В его состав входит база данных с информацией о $3D$ -модели района полётов (размер которой может быть до 1500×1500 км), компьютерный генератор изображения (КГИ), синтезирующий в каждый цикл РРВ (80–120 мс) на экране $2D$ -проекции реперных объектов, попавших в камеру наблюдения, и $3D^{(V)}$ -индикатор, при просмотре через оптику которого лётчик считает, что он видит $3D$ -объект. Во время полёта на АТ на его вход поступает информация о положении в $3D$ -модели внешней среды подвижного наблюдателя и направления его взгляда (совпадает с продольной осью управляемой модели ЛА).



Рис. 1. Схема имитатора визуальной обстановки

Требования к основным узлам ИВО:

1) в базе данных должна храниться информация о всех 3D-моделях реперных объектов в виде специальных примитивов (тип примитивов зависит от программ компьютерной графики) с информацией, необходимой для синтеза на экране за каждый цикл РРВ 2D-проекции 3D-моделей реперных объектов, попавших в пирамиду видимости (пирамида видимости – условная пирамида без основания, с вершиной в точке расположения глаза подвижного наблюдателя и телесными углами, заданными как 40 градусов по горизонтали и 30 градусов по вертикали (рис. 2)); структура базы данных позволяет по запросу отсечь лишнюю информацию и за минимальное время извлечь все не-

обходимые примитивы, из которых набирается конструкции 3D-моделей реперных объектов, совокупность которых составляет 3D-модель района полётов;

2) многопроцессорный КГИ реализует один из возможных алгоритмов компьютерной графики, но всегда первый шаг – по полученным в начале цикла РРВ координатам подвижного наблюдателя и направления оси пирамиды видимости извлечь из базы данных КГИ всю информацию для синтеза на экране 2D-проекций 3D-моделей реперных объектов, попавших в пирамиду видимости (решение этой задачи предполагает конструирование 3D-модели района полётов из прилегающих друг к другу сегментов первого уровня с заданной дальностью видимости, что позволяет сразу отобразить все активные сегменты и уже учитывая их число распределять по ним 3D-модели реперных объектов так, чтобы не превысить заданный цикл РРВ, её частное и наиболее часто встречающееся решение – в центре модели района полётов иметь один сегмент (обычно размер 15×15 км) с 3D-моделью ВПП в центре и несколькими 3D-моделями реперных объектов, при вылете за пределы этого района полёт на АТ проводится в «сплошной облачности»: в этом случае можно обучать лётчиков навыкам пилотирования ЛА (11) и умению ориентироваться по приборам (12), но невозможно обучать большинству навыков $C_m(i\nu(t_j))$, определяющих умение решать навигационные задачи, предполагающие умение ориентироваться по визуально наблюдаемым реперным объектам);

3) эргатический $3D^{(V)}$ -индикатор, через который подготовленный человек рассматривает на экране видеоряд из 2D-проекций 3D-моделей реперных объектов в углах обзора 40 градусов по горизонтали и 30 градусов по вертикали, при этом оптика 3D-индикатора активизирует заданные составляющие зрительного аппарата человека, заставляя его видеть 3D-объект с качеством, позволяющим ему профессионально тренировать глазомер; его наличие позволяет улучшить формирование $C_m(i\nu(t_j))$.

ИВО, в отличие от остальных имитаторов АТ, формирует у лётчика составляющие его когнитивной модели, которые поз-

воляют лётчику визуально ориентироваться в визуально наблюдаемом пространстве и ориентированы на решение лётчиком навигационных задач $C_m(i_V(t_j))$, для этого необходима 3D-модель района полётов. ИВО является «тупиковой системой», не предполагающей наличие обратной связи с другими имитаторами АТ, поэтому борьба с возможными ошибками синтеза наблюдаемого изображения ведётся только на этапе разработки ИВО. Исследования показали, что ошибки синтеза визуально наблюдаемых 3D-моделей реперных объектов, из которых набирается 3D-модель района полётов, являются следствием шумов программно-технических систем КГИ и должны сводиться к минимуму с учётом включения в технологический процесс синтеза 3D-объектов особенностей зрительного аппарата конкретного человека.

Таким образом, качество 3D-объектов, визуально наблюдаемых лётчиком, синтезируемых ИВО и формирующих $C_m(i_V(t_j))$, зависит:

- от конструктивных особенностей $3D^{(V)}$ -индикатора;
- от выбранного алгоритма компьютерного синтеза на экране 2D-проекций 3D-моделей реперных объектов, реализованного программно-технической системой КГИ;
- от конструкции 3D-модели района полётов.

При исследовании ИВО с КГИ «Аксай» был проведён следующий опыт. Подвижный наблюдатель был расположен на расстоянии 200 км от центра мировой системы координат, при этом положение пирамиды видимости делило экран на верхнюю и нижнюю часть, что позволяло видеть срез 3D-модели поверхности района полётов. Ожидалось, что изображение будет статичным, однако из-за шумов, возникающих в процессе синтеза, изображение поверхности двигалось верх-вниз. Был проведён ещё один опыт: по траектории параллельно подстилающей поверхности по центру 3D-модели ВПП от её начала до конца должна был шагать подвижная 3D-модель робота. Однако после начала движения подвижный робот или поднимался вверх, или «проваливался» в 3D-модель ВПП, что было очень хорошо заметно при использовании $3D^{(V)}$ -индикатора «ОКУ». Таким образом, исследования ИВО показали, что необходим комплексный

подход к решению задачи синтеза визуально наблюдаемой 3D-модели внешней среды для лётчика и этот подход должен учитывать борьбу с возможными ошибками ИВО.

Создать полную визуально наблюдаемую 3D-модель пространства окружающую кабину АТ невозможно. Будем считать, что имеются ограничения, которые можно описать функционалом

$$(14) F^{(3D)}(x_1^{(3D)}, x_2^{(3D)}, x_3^{(3D)}, x_4^{(3D)}, x_5^{(3D)}, x_6^{(3D)}, x_7^{(3D)}),$$

где $x_1^{(3D)}$ – угол обзора 3D-модель пространства; $x_2^{(3D)}$ – минимальная дистанция между расположением наблюдателя и ближайшей видимой 3D-моделью; $x_3^{(3D)}$ – разрешающая способность изображения 3D-модели; $x_4^{(3D)}$ – внешний вид конструкции 3D-модели реперных объектов, включая заданный вариант их окраса, для выполнения (13); $x_5^{(3D)}$ – число одновременно наблюдаемых 3D-модели реперных объектов, обеспечивающих решение поставленных Заказчиком задач обучения лётчика; $x_6^{(3D)}$ – объём зрачка наблюдения (сколько человек могут одновременно наблюдать 3D-объекты: если для одного человека – это «узкий зрачок» (рис. 3); если могут наблюдать несколько человек – это «широкий зрачок» (рис. 4)); $x_7^{(3D)}$ – компактность конструкции 3D-индикатора.



Рис. 2. Одно из возможных положений пирамиды видимости

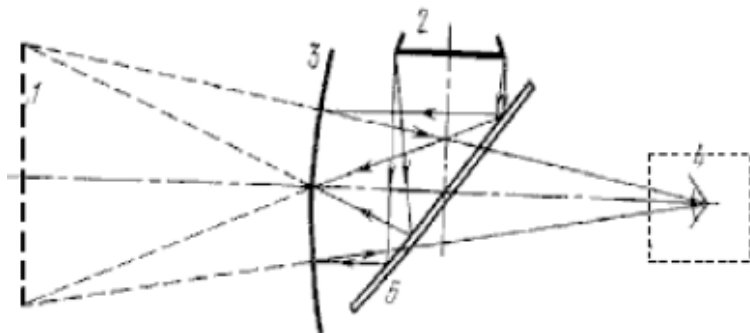


Рис. 3 Схема одноканального безочкового $3D^{(V)}$ -индикатора с «узким зрачком»: 1 – мнимый экран; 2 – телевизионный экран; 3 – вогнутое сферическое зеркало; 4 – зрачок; 5 – светоделительная пластина

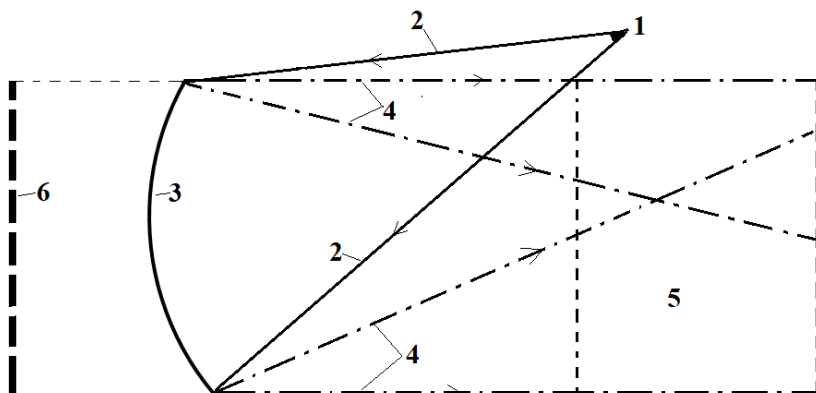


Рис. 4 Схема одноканального безочкового $3D^{(V)}$ -индикатора с «широким зрачком»: 1 – телепроектор; 2 – лучи от телепроектора; 3 – сферическое вогнутое зеркало большого радиуса; 4 – отражённые лучи; 5 – зрачок; 6 – мнимый экран

Параметры функционала (14) показывают, на что обращать внимание при выборе $3D^{(V)}$ -индикатора. При расчёте $x_1^{(3D)}$ для одноканального безочкового $3D^{(V)}$ -индикатора считается, что вершина пирамиды видимости находится между глаз лётчика (при разработке АТ одноместного ЛА) или между глаз левого

лётчика (при разработке АТ для ЛА управляемого двумя лётчиками, при этом правый лётчик видит 3D-модели окружающего пространства «глазами левого лётчика»). При расчёте $x_1^{(3D)}$ для двухканального $3D^{(V)}$ -индикатора с диспаратными очками считается, что вершина пирамиды видимости упирается в советующий глаз лётчика; $x_2^{(3D)}$ рассчитывается при разработке конструкции самого $3D^{(V)}$ -индикатора; $x_3^{(3D)}$ определяется техническими характеристиками выбранного экрана и $x_1^{(3D)}$; $x_4^{(3D)}$, $x_5^{(3D)}$, $x_6^{(3D)}$, $x_7^{(3D)}$ определяются конструктивными особенностями разработанного $3D^{(V)}$ -индикатора.

Исследования показали, что оптимальные углы обзора для одного канала – 40 градусов по горизонтали и 30 градусов по вертикали. В большинстве случаев используют составной многоканальный $3D^{(V)}$ -индикатор. Например, составной трёхканальный $3D^{(V)}$ -индикатор позволяет лётчику видеть 3D-модель окружающего пространства в углах обзора 120 градусов по горизонтали и 30 градусов по вертикали (рис. 5). Учитывая, что у большинства людей углы эффективного зрения – 30 градусов по горизонтали и 30 градусов по вертикали, углы обзора 3D-индикаторов ИВО позволяют лётчику достаточно эффективно решать задачи пилотирования летательного аппарата и самолётотовждения визуально рассматривая 3D-модель окружающего пространства.

В настоящее время в АТ используется три конструкции псевдообъёмных эргатических $3D^{(V)}$ -индикаторов (термин «псевдообъёмный» показывает, что во всех случаях лётчики наблюдают экране видеоряд из 2D-проекций 3D-моделей реперных объектов, но оптическая часть таких индикаторов активизирует заданные составляющие зрительного аппарата подготовленного человека, заставляя его считать, что он видит 3D-объекты, при этом, если необходимо, он может профессионально тренировать свой глазомер):

1) эргатические безочковые одноканальные $3D^{(V)}$ -индикаторы на базе зеркального коллиматора (рис. 3, 5), имеющие «узкий зрачок наблюдения» – область пространства, где человеку комфортно наблюдать 3D-объекты (при условии постоянного перемещения подвижного наблюдателя в трёхмерной модели

пространства), её размер позволяет разместить в ней глаза одного человека (имеется эффект «мёртвой зоны» – дистанции от глаза наблюдателя до мнимого экрана или места в виртуальном пространстве, где наблюдаем ближайший 3D-объект, начиная от которого и далее человек может профессионально тренировать свой глазомер): за счёт эффекта коллимации зрачок человека настраивается «на взор в бесконечность» (воздействует на аккомодацию зрительного аппарата человека-наблюдателя), а наблюдение постоянно изменяющегося изображения воздействует на конвергенцию зрительного аппарата человека-наблюдателя, что в итоге заставляет человека-наблюдателя считать, что он видит 3D-объекты (таким образом в технологическую цепочку процесса синтеза 3D-объекта включается зрительный аппарат человека);

2) эргатические безочковые одноканальные 3D^(V)-индикаторы, использующие эффект коллимации с «широким зрачком наблюдения» – область пространства (рис. 4), в которой помещается кабина широкофюзеляжного самолёта (рис. 6), где 3D-объекты могут видеть все члены экипажа: условия наблюдения 3D-объектов и технологическая цепочка процесса синтеза 3D-объектов такие же, как и в одноканальных безочковых 3D^(V)-индикаторах с «узким зрачком наблюдения»;

3) безочковые одноканальные 3D-индикаторы с экранами высокой четкости и высокого разрешения (не ниже 4К) (рис. 7) с заданной дистанцией до наблюдения ближайшего 3D-объекта с учётом подтверждения визуально получаемой информации от других имитаторов приборов кабинного оборудования: позволяют обучать лётчика посадке ЛА на ВПП (такие индикаторы применяются в стационарных АТ; за счёт удаления лётчика от экрана и высокого разрешения создаются условия для рассмотрения лётчиком на экране синтезированного видеоряда из 2D-проекций 3D-моделей реперных объектов с воздействием на аккомодацию и конвергенцию зрительного аппарата человека, что близко к технологии синтеза визуально наблюдаемых 3D-объектов, как и в первых двух случаях, но нет экспериментально подтверждённых данных о возможности в этом случае профессионально тренировать глазомер лётчика);

4) эргатические двухканальные $3D^{(V)}$ -индикаторы с диспаратными очками позволяющими каждому глазу лётчика с учётом его положения в $3D$ -модели пространства видеть синтезированный только для этого глаза видеоряд из $2D$ -проекций $3D$ -моделей реперных объектов (позволяет обучать лётчика профессиональным навыкам работы с визуально наблюдаемыми $3D$ -объектами, находящимися вблизи него, например при обучении дозаправки самолёта в воздухе, когда заправочный конус находится недалеко от кабины ЛА) (рис. 8).



Рис. 5. Кабина АТ с ИВО с составным $3D^{(V_2)}$ -индикатором из трёх безочковых одноканальных $3D^{(V_2)}$ -индикаторов с «узким зрачком»



Рис. 6. Кабина АТ с ИВО с составным четырёхканальным безочковым $3D^{(V_2)}$ -индикатором из четырёх безочковых одноканальных $3D^{(V)}$ -индикаторов с «широким зрачком»

Исследования показали, что в зависимости от z -й конструкции оптической части эргатических $3D^{(V_2)}$ -индикаторов для того, чтобы m -й лётчик видел $3D$ -объекты, необходим интервал времени $\Delta t 3D_m^{(V_2)}$ от нескольких секунд до полугода. За этот интервал зрительный аппарат m -го лётчика обучается видеть $3D$ -объекты, рассматривая через z -ю конструкцию оптической части на плоском экране изменяемый с частотой не менее 120 мс видеоряд из $2D$ -проекций $3D$ -моделей, и при этом профессио-

нально тренировать свой глазомер. Таким образом, при полётах на АТ для полномасштабной тренировки предварительно у лётчика должны быть сформированы составляющие его когнитивной модели $C_m^{(3D^{(Vz)})}(t)$, позволяющие ему в каждый момент времени t ориентироваться в синтезированной визуально наблюдаемой трёхмерной среде и после интервала $\Delta t 3D_m^{(Vz)}$, необходимого для обучения его зрительного аппарата, работать с конкретным индикатором $3D^{(Vz)}$:

$$(15) C_m^{(3D^{(Vz)})}(t) = F(C_m^{(3D^{(V)})}, \Delta t(3D_m^{(Vz)})).$$



Рис. 7. Пилотажный АТ для обучения лётчика управлению ЛА с тремя 3D-индикаторами позволяющему лётчику пилотировать модель ЛА наблюдая линию горизонта



Рис. 8. Специализированный АТ для обучения лётчика дозаправки в воздухе с ИВО с двухканальным 3D-индикатором с диспаратными очками

3. Выводы

1. При выборе ИВО для АТ для полномасштабной тренировки лётчика необходимо учитывать, как должны формироваться составляющие его когнитивной модели $C_m^{(3D^{(Vz)})}(t)$, позволяющие ему в каждый момент времени t ориентироваться в синтезированной визуально наблюдаемой трёхмерной среде.

2. В отличие от остальных имитаторов АТ, позволяющих обучать лётчика профессиональным навыкам пилотирования ЛА и решению навигационных задач «при полётах в сплошной

облачности», которые определяются временем его налёта на реальном ЛА и на АТ, ИВО позволяет обучать лётчика решению навигационных задач с визуальным ориентированием по выделенным на фоне модели местности 3D-моделям реперных объектов при условии, что он распознаёт эти 3D-модели как реальные 3D-объекты с вероятностью более 98%, с учётом конструктивных особенностей 3D-моделей реперных объектов и подготовленности зрительного аппарата m -го лётчика во время полёта на АТ видеть 3D-объекты и при этом профессионально тренировать свой глазомер, в то время как он через 3D (V_z) -индикатор наблюдает видеоряд из 3D-проекций, попавших в пирамиду видимости 3D-моделей объектов, с циклом не более 120 мс.

Литература

1. ВЕНИКОВ В.А. *Теория подобия и моделирования*. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.
2. КЕМАЛОВ Б.К., КУАТОВ Б.Ж., ЮРКОВ Н.К. *Формирование моделирующей среды авиационного тренажера // Надёжность и качество сложных систем*. – 2015. – №1(9). – С. 9–16.
3. КРАСОВСКИЙ А.А., ЛОПАТИН В.И. и др. *Авиационные тренажеры*. – М.: Изд-во ВВИА им.: Жуковского, 1992. – 320 с.
4. КУАТОВ Б.Ж. *Системный подход к организации тренажерной подготовки летного состава в современных условиях // Надёжность и качество сложных систем*. – 2014. – №4(8). – С. 34–40.
5. КУАТОВ Б.Ж., КЕМАЛОВ Б.К., БИКЕЕВ Р.Р. *Влияние адекватности тренажеров на планирования тренажерной подготовки // Надёжность и качество сложных систем*. – 2016. – №4(16). – С. 76–81.
6. ЛАПШИН Э.В. *Исследование информационных процессов, протекающих в тренажерах // Надёжность и качество сложных систем*. – 2013. – №2(2). – С. 87–93.
7. ЛАПШИН Э.В., КУАТОВ Б.К. КЕМАЛОВ Б.Ж. *Влияние адекватности тренажеров на планирования тренажерной*

- подготовки // Надёжность и качество сложных систем. – 2016. – №4(16). – С. 128–144.
8. МАРЧУК В.И., ГЛЕБОВА Т.А., КУВШИНОВА О.А. и др. *Задачи моделирования района полетов для авиационных тренажеров и операторов беспилотных летательных аппаратов* // Надёжность и качество сложных систем. – 2021. – №3(35). – С. 80–86.
 9. МАМАЕВ В.Я., СИНЯКОВ А.Н., ПЕТРОВ К.К. и др. *Воздушная навигация и элементы самолётовождения* : учебное пособие. – СПб.: СПбГУАП, 2002. – 256 с.
 10. РЫБКИН П.Н. *Компьютерный тренажёр для пилотов вертолётов МИ-8МТВ для отработки навигационных задач* // Научные проблемы транспорта Сибири и дальнего востока. – 2012. – №2. – С. 157–160.
 11. РОГАНОВ В.Р., КУВШИНОВА О.А., ЕСИМОВА Н.С. и др. *Проектирование авиационных тренажеров с распараллеливанием вычислительных процессов* // Надёжность и качество сложных систем. – 2020. – №2(30). – С. 96–105
 12. ШУКШУНОВ В.Е. *Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов*. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
 13. ROGANOV V., MIKHEEV M., ESIMOVA N. et al. *On the assessment of the image model of 3d models synthesized by optical-software-technical systems* // Proc. of the Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT-2020). – 2020. – P. 9067481.
 14. ROGANOV V., DOLGOVESOV B., GUDKOVAI C. *Simulators of Visual Environment Of Aviation And Space Simulators* // E3S WEB of Conferences. –2023. – P. 03014.
 15. *Jane's military training and simulation systems*. – USA. – 471 p.
 16. ROGANOV V.R., SAGYNDYK A.B., AKHTARIEVA R.F. et al. *Integrated Organization of the System for Forming the Information Support of Aeronautical Simulator* // Int. Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Vol. 12, No. 15. – P. 5207-5213.
 17. ROGANOV V., DOLGOVESOV B., ASMOLOVA E. et al. *Analysis of Directions for Improvement Of Flight Simulators* //

- Web of Conferences. – 2023. – P. 04037. – DOI: 10.1051/e3sconf/202346004037.
18. MIKHEEV M.Yu., ROGANOV V.R., ANDREEV P.G. et al. *Developing the structure of the quality control system of power supply units in mobile robots // Proc. of the Int. Siberian Conf. on Control and Communications (SIBCON). – Astana, Kazakhstan, Astana, June, 29-30, 2017. – P. 728–728.*
 19. http://yandex.ru/images/search?img_url=https%3A%2F%2Fwww.gctc.ru%2Fmedia%2Fimages%2Fnews%2F2012%2Fv.zpk%2Fkosmozentr%2FSHL_1928.jpg&lr=11101&pos=0&rpt=simage&source=serp&text=авиационные%20тренажёры%20картинки (дата обращения 01.07.2024).

IMITATOR OF VISUAL ENVIRONMENT SYNTHESIZING IN THE VISUAL RANGE OF ELECTROMAGNETIC WAVES THE EXTERNAL APPEARANCE OF THE SPACE AROUND THE CABIN OF AN AIR TRAINING SIMULATOR

Vladimir Roganov, Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Penza State Technological University”, Penza, Cand of Techn.Sc., assistant professor (vladimir_roganov@mail.ru)

Gennady Korop, Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Penza State Technological University”, Penza, Cand of Techn.Sc., Junior Research Fellow (korop_g@mail.ru)

Mikhail Mikheev, Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Penza State Technological University”, Penza, Doctor of Techn.Sc., professor (mix1959@gmail.com)

Abstract: An aviation simulator is a complex of several imitators combined for the purpose of training pilots in professional piloting and aircraft navigation skills in training situations. The purpose of flights on an aviation simulator is to form in pilots the components of its cognitive model, which will allow them to successfully operate in normal and pre-emergency situations in the future. Of all the imitators of an aviation simulator, the ergatic optical-software-hardware imitator stands out, synthesizing for the pilot a visually observable 3D-model of the external environment with a quality sufficient for solving navigation problems, including the use of the eye to estimate the distance to visible 3D-models of reference objects, from which a 3D-model of a given flight area is collected. This task is divided into a number of subtasks including the construction of 3D-models of reference objects, their description and placement in the database of a computer image generator,

the selection of a 3D-indicator, and training the pilot to see 3D-objects while he sees a video sequence of 3D-projections of 3D-models of reference objects. The article analyzes visual environment imitators and 3D-indicators from the point of view of the formation of constantly updated components of the pilot's cognitive model during both real approaches to an aircraft and flights on flight simulators, allowing him to successfully pilot an aircraft and solve navigation problems both "during flights in continuous cloud cover" and during flights with visual observation of reference objects in order to determine the location of the aircraft model and the direction of its flight.

Keywords: visual environment imitator, components of the pilot's cognitive model.

УДК: 629.7

ББК: 39.52

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Б.Р. Андриевским.*

Поступила в редакцию 29.07.2024.

Опубликована 30.11.2024.