

УДК 004.946

DOI: 10.46548/21vek-2021-1056-0005

## ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ЛЁТЧИКАМИ ИНФОРМАЦИИ ОТ ИМИТАТОРОВ АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЁРА ПРИ РЕШЕНИИ НАВИГАЦИОННЫХ ЗАДАЧ

©2021

**Роганов Владимир Робертович**, к.т.н., доцент кафедры «Информационные технологии и системы»  
*Пензенский государственный технологический университет*

(440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: vladimir\_roganov@mail.ru)

**Аннотация.** Как правило, комплексные авиационные тренажёры разрабатываются для обучения лётчиков профессиональному пилотированию летательного аппарата в «особых случаях полёта». Такой подход был обусловлен как необходимостью обучать лётчика на земле профессиональным навыкам пилотирования летательного аппарата в ситуациях, воспроизведение которых в реальном полёте нежелательно, но навыки действий лётчика в таких ситуациях необходимы, так и развитием науки и техники. В частности, до сегодняшнего дня Заказчик предъявляет высокие требования к моделированию района местности размером не более 15×15 км, в центре которого находится узнаваемая модель ВПП, при возможном районе полётов над моделью местности размером 1500×1500 км. Для отработки профессиональных навыков управления летательным аппаратом при заходе на посадку на узнаваемую модель ВПП такой подход был оправдан. Вследствие этого значительная часть компьютерных генераторов изображения, являющихся основным узлом имитатора визуальной обстановки, разрабатывалась с производительностью около 64000 полигонов за такт режима реального времени и соответствующей ёмкостью памяти. Это обеспечивало учебные полёты на авиационном тренажёре – сначала взлёт с модели ВПП, после набора «высоты» модель летательного аппарата входит в модель плотной облачности и дальнейший полёт проводится по приборам. После четвёртого разворота модель летательного аппарата «выходит» из облачности и далее лётчик совершенствует свои навыки визуальной посадки. В настоящее время достижения науки и техники позволили сделать доступными как компьютерные генераторы изображения с более высокой производительностью (более 300000 обрабатываемых примитивов) и более высокой ёмкостью оперативной памяти, позволяющей хранить базу данных с детальным описанием моделей реперных объектов по всему возможному району полётов. Это позволяет разрабатывать комплексные тренажёры с обучением лётчика решению навигационных задач при полёте по маршруту с ориентацией по визуальным наблюдаемым моделям реперных объектов. Эта же задача актуальна для тренажёра оператора беспилотного летательного аппарата. В этом случае лётчик решает навигационные задачи по информации от приборов кабинного оборудования, от имитатора радиолокатора, имитатора тепловизора и имитатора визуальной обстановки. Целью данной статьи является исследование особенностей восприятия лётчиками информации, синтезируемой имитаторами авиационного тренажёра, необходимой для решения навигационных задач.

**Ключевые слова:** имитатор, авиационный тренажёр, обучение, самолётовождение

## FEATURES OF PERCEPTION WITH RATERS OF INFORMATION FROM SIMULATORS OF THE AVIATION SIMULATOR WHEN SOLVING NAVIGATION PROBLEMS

© 2021

**Roganov Vladimir Robertovich**, PhD, associate professor  
of the Department "Information Technologies and Systems"  
*Penza State Technological University*

(440039, Penza, Baidukov's passage / ul. Gagarin, 1A / 11, E-mail: vladimir\_Roganov@mail.ru)

**Abstract.** As a rule, complex aviation simulators are developed for teaching pilots to professional piloting of the aircraft in "special cases of flight". Such an approach would be due to the need to prepare a pilot on Earth by professional piloting skills of the aircraft in situations, the reproduction of which in real flight is undesirable, but the skills of the pilot's action in such situations are necessary and the development of science and technology. In particular, until today, the Customer presents high demands on the modeling of the area of the area of no more than 15 × 15 km in the center of which there is a recognizable model runway, with a possible area of flights over a locality model of 1500 × 1500 km. To work out professional skills of control of the aircraft while entering the recognizable WFP model, this approach was justified. As a consequence, a significant part of computer generators of the image, which are the main node of the simulator of the visual environment, was developed with a capacity of about 64,000 damaged polygons for the tact of real-time modes and the corresponding memory capacity. This provided training flights at the aviation simulator - takes off from the model runway, then the model of the aircraft enters the model of dense cloudiness and the further flight is carried out according to the instruments. After the fourth reversal, the model of the aircraft "comes out" from the cloudiness and then the pilot improves its visual landing skills. Real at the end of the takeoff (height). Currently, to store the achievement of science and technology, they have made accessible as computer generators of images with higher performance (more than 300,000 prepared primitives) and a higher rapid memory capacity that allows you to store a database with a detailed description of models of reference objects throughout the possible field of flights. This allows you to develop integrated simulators with a pilot learning to solve navigation tasks when flying along a route with

orientation on visually observed models of reference objects. The same task is relevant for the simulator of the unmanned aircraft operator. In this case, the pilot solves navigation tasks according to information from the instruments of cabin equipment, from the imitator of the radar, the imitator of the thermal imager and the simulator of the visual environment. The purpose of this article is to study the requirements for information synthesized by the aviation simulator simulators necessary to solve navigation problems.

**Keywords:** simulator, flight simulator, training, aircraft driving.

**Введение.** Появление авиационных тренажёров (АТ) было вызвано необходимостью обучать лётчиков профессиональным навыкам управления летательными аппаратами (ЛА) в особых случаях полёта (как например взлёт и посадка на ВПП, пилотирование при частичном отказе оборудования, пилотирование в сложных метеоусловиях) [1]. В настоящее время АТ разрабатывается для освоения летным составом в наземных условиях образцов авиационной техники, повышения квалификации, исследований, подготовки к полетам и тренировки [2]. Или в случаях, которые вероятны, но обучение лётчика в таких условиях на реальных ЛА нежелательно, так как неподготовленность лётчика может во время отработки действий по выводу ЛА из предаварийной ситуации привести к катастрофе [3]. Анализ катастроф и предпосылок к лётным происшествиям позволил составить список учебных ситуаций [4], который в настоящее время постоянно пополняется и в соответствии с ним составляются ТЗ на АТ, чтобы прививать лётчику необходимые навыки управления летательным аппаратом. Такой подход послужил основанием в первую очередь разработать и успешно эксплуатировать пилотажные и комплексные авиационные тренажёры, тренажёры космических кораблей, сохраняя жизни пилотов и пассажиров ЛА [5]. Он же послужил основанием для разработки имитаторов АТ, синтезирующих для лётчика информацию о поведении модели ЛА в зависимости от заданных лётчиком управляющих воздействий на имитаторы органов управления [6]. Возможности разработанных имитаторов АТ базировались на технических характеристиках используемых счётно-решающих устройств – от аналоговых вычислителей (типа МН17) [7] до первых управляющих ЭВМ (типа СМ2) [8]. Всегда, при разработке АТ, отдельно стояла задача синтеза визуально наблюдаемой модели узнаваемого участка земной поверхности, видимой через остекление кабины АТ, на экране имитатора тепловизора или на экране имитатора радиолокатора [9]. Синтез изображения преследовал две цели – обучение визуальной посадке на ВПП и обучение решению навигационных задач с визуальным контролем пролёта реперного объекта. Решение последней задачи затруднялось: недостаточным исследованием методов синтеза узнаваемого местоположения большого размера 1500 × 1500 км [10], ограниченной производительностью используемых вычислителей [11] и особенностями отображения синтезированного изображения с помощью различных устройств индикации [12]. Развитие науки и техники открыло новые возможности синтеза визуально узнаваемого изображения местности, наблюдаемой лётчиком через остекление кабины и

на экранах приборов кабинного оборудования. В настоящее время решение задачи синтеза визуально наблюдаемой узнаваемой модели заданного района полётов во многом ограничивается отсутствием научно обоснованных требований к таким имитаторам, при нереализованной в настоящее время, но необходимой задаче обучать лётчика решению задач самолётовождения при полёте по маршруту с ориентацией по визуально наблюдаемым моделям реперных объектов. Эта задача становится ещё более актуальной при разработке тренажёров операторов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

**Целью** статьи является исследование особенностей синтеза информации имитаторами АТ позволяющими лётчику решать навигационные задачи и формировать у него составляющие когнитивной модели восприятия визуально получаемой от соответствующих имитаторов информации о перемещении модели ЛА в модели пространства.

**Материалы и результаты исследования.** Обучение решению навигационных задач на АТ предполагает решение двух взаимосвязанных задач. Первая – разработка модели трёхмерного окружающего пространства, достаточной для решения навигационных задач. Вторая – разработка трёх имитаторов, синтезирующих визуально наблюдаемые изображения этой модели: имитатора визуальной обстановки (позволяющего подготовленному человеку видеть трёхмерное изображение модели окружающей среды через остекление кабины АТ [13]); имитатора тепловизора (позволяющего человеку видеть модель окружающей среды в инфракрасном диапазоне (ИК-модель) на экране имитатора тепловизора [14, 15]); имитатора радиолокатора (позволяющего человеку видеть модель окружающей среды в радиодиапазоне на экране имитатора радиолокатора [16, 17]). Так как полную модель создать невозможно [18], то невозможно во время полёта на АТ в  $t_i$  момент времени, от каждого  $n$ -го имитатора АТ, синтезирующего информационный процесс (ИП), получать информацию  $I_n^{(AT)}(t_i)$ , полностью аналогичную информации  $I_n^{(ЛА)}(t_i)$ , получаемой от узлов ЛА. Любой имитатор АТ всегда кроме истинной информации  $I_n^{(AT)}(t_i)^+$  синтезирует ложную информацию  $I_n^{(AT)}(t_i)^-$ . При разработке АТ Заказчик задаёт учебные ситуации, при которых

$$I_n^{(AT)}(t_i) \approx I_n^{(ЛА)}(t_i)$$

и можно пренебречь незначительными отклонениями

$$\Delta I_n(t_i) = |I_n^{(AT)}(t_i) - I_n^{(ЛА)}(t_i)| \rightarrow 0.$$

Причиной появления «ложной информации»  $I_n^{(AT)}(t_i)^-$  является несовершенство математических моделей, синтезирующих  $I_n^{(AT)}(t_i)$  и технических характе-

ристик применяемых оптико-программно узлов [19], что в итоге сказывается на возможности конкретного человека при полётах на АТ воспринимать  $I_n^{(AT)}(t)$  для профессионального совершенствования определённых составляющих его когнитивной модели (КМ), в которой откладывается весь его опыт  $C_j^{(M)}n$  по решению поставленных задач.

Исследования особенностей синтеза ИП различными имитаторами позволили классифицировать их по способности участвовать в формировании  $C_j^{(M)}n$ . Проводился анализ только тех имитаторов, которые позволяют обучать лётчика решению навигационных задач.

К первой группе отнесём группу имитаторов числом  $K_p$ , синтезирующих информацию (обозначим её индексом  $(1)$ )  $I_n^{(AT)}(t)^{(1)}$ , которую лётчик должен воспринимать как абсолютно истинную. Например, показания имитатора воздушной скорости [20]. В этом случае, формирование составляющих  $C_j^{(M)}n$ , отвечающих за обучение чтению  $I_n^{(AT)}(t)^{(1)}$ , сводится к обучению лётчика найти панель соответствующего прибора кабинного оборудования и правильно прочесть его показания.

$$I_k^{(AT)}(t_n)^{(1)}, I_k^{(AT)}(t_{n+\Delta t_n})^{(1)}, I_k^{(AT)}(t_{n+2\Delta t_n})^{(1)}, \dots, k=1..K_p$$

Соответствующие составляющие  $C_j^{(M)}n$ , отвечающие за получение информации от этой группы формируются у лётчика при каждом полёте на АТ или на реальном ЛА, а также во время предполётной подготовки. Для решения навигационных задач лётчик от имитаторов первой группы получает информацию о воздушной и путевой скорости, высоте полёта, углах сноса, которая позволяет как и в реальном полёте определить место положения модели ЛА в модели пространства  $\Theta(I_d^{(1)}(t_n))$ , используя те же методы.

Каждый  $k$ -ый имитатор первой группы синтезирует ИП

$$I_k^{(AT)}(t_n)^{(1)} = F_k^{(1)}(t_n, x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots)$$

о работе  $k$ -ого узла ЛА по алгоритмам  $F_k^{(1)}$ , реализующим математические модели, описывающие физические процессы с параметрами  $x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots$ , протекающие в  $k$ -ом узле ЛА. Суммарный ИП от имитаторов первой группы  $I^{(AT)}(t_n)^{(1)} = \sum_{k=1}^{K_1} I_k^{(AT)}(t_n)^{(1)}$  позволяет  $j$ -му лётчику, обрабатывая его, оценивать возможности ЛА к маневрированию. При этом у  $j$ -го лётчика формируются составляющие его КМ  $C_{mj}^{(1)}$  с навыками пилотирования ЛА и частично самолётовождения.

$$C_{mj}^{(1)} = E_{mj}^{(1)}(T_{mj}, I_k^{(1)}) \quad (1)$$

где  $E_{mj}^{(1)}$  – функция  $j$ -го лётчика воспринимать ИП в  $m$ -ой ситуации,

$T_{mj}$  – время налёта  $j$ -го лётчика в ситуации, определённой как  $m$ -ая.

Тогда

$$U_{mj}^{(1)} = F_{U_{mj}}^{(AT)}(T_j)^{(1)},$$

где  $U_{mj}^{(1)}$  – когнитивная составляющая навыков  $F_{U_{mj}}^{(AT)}(T_j)^{(1)}$   $j$ -го лётчика воспринимать ИП от имитаторов первой группы, зависящая от времени его налёта  $T_{mj}$  в  $m$ -ой ситуации.

Приобретение навыков у  $j$ -го лётчика от имитато-

ров первой группы имеет предел

$$\lim_{T_{mj} \rightarrow \infty} F_{mj}^{(1)}(T_{mj}) \rightarrow F_{\max(mj)}^{(1)},$$

где  $F_{\max(mj)}^{(1)} = \text{const } I_{mj}$  – максимальный объём информации, который лётчик может получить от имитаторов первой группы.

Каждый  $k$ -ый имитатор второй группы синтезирует ИП

$$I_k^{(2)}(t_n) = F_k^{(2)}(t_n, x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \dots),$$

о работе  $k$ -ого узла ЛА по алгоритмам  $F_k^{(2)}$ , реализующим математические модели синтезирующие  $x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \dots$ , описывающие физические процессы взаимодействия самолётных радиотехнических средствах самолётовождения (РТСс) с наземными радиотехническими средствами самолётовождения (РТСн).

$$I^{(2)} = \sum_{k=1}^{K_2} I_k^{(2)}, \quad (2)$$

позволяет  $j$ -му лётчику определить  $\Theta(I_d^{(1)}(t_n))$ , обрабатывая ИП, синтезированный одним имитатором РТСс и подтвердить  $\Theta(I_d^{(1)}(t_n))$ , обрабатывая ИП, синтезированный другим имитатором РТСс, в произвольном порядке, что формирует у  $j$ -го лётчика составляющие его когнитивной модели  $C_j^{(2)}$  о навыках самолётовождения и частично решения задач пилотирования ЛА в  $m$ -ой ситуации.

$$C_{mj}^{(2)} = E_{mj}^{(2)}(T_{mj}, I_m^{(2)}, I_p^{(2)}), \quad (3)$$

где  $E_{mj}^{(2)}$  – функция способностей  $j$ -го лётчика воспринимать ИП (1.10) в  $m$ -ой ситуации,

$I_m^{(2)} = \sum_{k=1}^{K_2} I_k^{(2)}$  – суммарный ИП от имитаторов второй группы в  $m$ -ой ситуации,

$I_p^{(2)}$  – карта с информацией о размещении во внешней среде моделей РТСн.

Приобретение  $j$ -м лётчиком профессиональных навыков самолётовождения и частично пилотирования ЛА  $U_{jm}^{(2)}$ , в  $m$ -х ситуациях зависит от умения  $F_{mj}^{(2)}(T_{mj})$   $j$ -го лётчика воспринимать ИП, синтезированный имитаторами кабинного оборудования с учётом составляющих его когнитивной модели  $C_{mj}^{(2)}(T_{mj})$ . При этом считая качество  $Q^{(2)}$  синтезируемой информации в ИП должно быть достаточным для прогнозирования  $F_{P_{mj}}^{(2)}(T_{mj})$  места нахождения информационной 3D-модели ЛА в информационной модели внешней среды с учётом (1.4) и обработки как минимум двух значений из (1.10): в предыдущий момент времени  $I^{(2)}(t_{n-\Delta^{(2)}t})$  и в текущий момент времени  $I^{(2)}(t_n)$ . При этом вероятность  $F_{P_{mj}}^{(2)}(T_{mj})$  подтверждения  $j$ -м лётчиком нахождения 3D-модели ЛА в ожидаемом месте модели пространства

$$F_{P_{mj}}^{(2)}(T_{mj}) = U_{mj}^{(2)}(Q^{(2)}(I^{(2)}(t_{n-\Delta^{(2)}t}), I^{(2)}(t_n), I^{(2)}(t_{n+\Delta^{(2)}t})), C_{mj}^{(2)}),$$

где  $U_{mj}^{(2)}$  – функция умения  $j$ -го лётчика извлекать из ИП, синтезированных имитаторами второй группы, информацию, необходимую для приобретения навыков самолётовождения, используя (2) от имитаторов РТСс в  $m$ -ой ситуации;

$Q^{(2)}(I^{(2)}(t_{n-\Delta^{(2)}t}), I^{(2)}(t_n), I^{(2)}(t_{n+\Delta^{(2)}t}))$  – качество ИП (2), синтезированных имитаторами второй группы АТ.

$$U_{mj}^{(2)} = F_{U_{mj}}^{(2)}(T_{mj}),$$



где  $F_{U_{m_j}}^{(2)}(T_{m_j})$  – функция умения лётчика использовать информацию из (2) от имитаторов второй группы и  $I_p^{(2)}$ , зависящая от время налёта  $T_{m_j}$   $j$ -го лётчика  $m$ -ых в ситуациях.

$$\lim_{T_{m_j} \rightarrow \infty} F_{U_{m_j}}^{(2)}(T_{m_j}) \rightarrow F_{\max(m_j)}^{(2)}, \text{ объём информации } F_{\max(m_j)}^{(2)} = \text{const} 2_{m_j},$$

где  $F_{\max(m_j)}^{(2)}$  – максимальный объём информации, который лётчик может получить от имитаторов второй группы.

Синтезированные имитаторами первой и второй групп ИП  $I_m^{(1)}$  и ИП  $I_m^{(2)}$  с информацией, сформированной без участия лётчика и которую он считает всегда истинной, формируют «информационную модель полёта».

Информация, получаемая лётчиком от имитаторов, формирующих информационную модель полёта, достаточна для профессиональной подготовки лётчика пилотированию ЛА и решению задач самолётовождения при визуальной посадке на модель ВПП с формированием соответствующих составляющих  $C_j^{(1)}$  и  $C_j^{(2)}$ , но недостаточна для решения задач самолётовождения при выполнении маршрутного полёта с ориентацией в ППМ по видимым моделям реперных объектов, синтезированных имитаторами третьей группы для формирования соответствующих составляющих  $C_j^{(3)}$ .

Имитаторы третьей группы синтезируют три визуально наблюдаемые модели окружающего пространства для визуального определения места нахождения модели ЛА в модели пространства  $\Theta(I_d^{(1)}(t_n))$ :

- имитатор визуальной обстановки (ИВО) [21] синтезирует визуально наблюдаемые 3D-модели 3D-объектов, видимых через остекление кабины с предоставлением условий подготовленному человеку профессионально обучать глазомер, наблюдая ожидаемые и узнаваемые 3D-модели реперных объектов, наблюдаемые лётчиком при реальных полётах;

- имитатор тепловизора (ИТ) синтезирует визуально наблюдаемые в ИК-диапазоне на экране ИТ 2D-проекции 3D-моделей 3D-объектов;

- имитатор радиолокатора (ИР) синтезирует визуально наблюдаемые в радиодиапазоне на экране ИР 2D-проекции 3D-моделей 3D-объектов.

Любое отличие 3D-модели от его аналога вызывает у лётчика негативный эффект. По аналогии с имитаторами первой и второй группы составляющие у  $j$ -го лётчика его когнитивной модели  $C_j^{(3)}$  о навыках самолётовождения и пилотирования ЛА в  $m$ -ой ситуации для ИВО  $C_{m_j}^{(3v)} = E_{v_j}^{(3v)}(T_{m_j}, I_j^{(3v)}, I_m^{(3v)})$ , для ИТ  $C_{m_j}^{(3q)} = E_{q_j}^{(3q)}(T_{m_j}, I_j^{(3q)}, I_j^{(3p_q)}, I_m^{(3q)})$ , для ИР  $C_{m_j}^{(3o)} = E_{o_j}^{(3o)}(T_{m_j}, I_j^{(3o)}, I_j^{(3p_o)}, I_m^{(3o)})$ . По сравнению с (1) и (3) добавлены  $I_j^{(3p_q)}$  и  $I_j^{(3p_o)}$ , задающие режим имитаторов ИТ и ИР. В целом вся информация от имитаторов третьей группы с учетом выбора режима работы ИМ и ИР

$$I^{(3)} = I_j^{(3v)} + I_j^{(3q)} + I_j^{(3p_q)} + I_j^{(3o)} + I_j^{(3p_o)} + I_m^{(3)}.$$

Составляющие  $C_j^{(3)}$  у  $j$ -го лётчика с навыками самолётовождения и частично пилотирования ЛА формируются за счёт ИП от имитаторов третьей группы.

$C_{m_j}^{(3)} = E_{m_j}^{(3)}(T_{m_j}, I^{(3)})$ , где  $E_{m_j}^{(3)}$  – умение  $j$ -го лётчика воспринимать ИП, синтезируемые имитаторами третьей группы в  $m$ -ой ситуации. В отличие от имитаторов первой и второй группы ИП имитаторы третьей группы предоставляют лётчику значительно больше информации. При этом невозможно полностью приблизиться к её максимальному значению, как при полётах на АТ, так и при полётах на ЛА. При увеличении времени налёта и на АТ и на ЛА  $j$ -ый лётчик может только совершенствовать составляющие  $C_j^{(3)}$ :  $F_{C_j}^{(3v)}$ ,  $F_{C_j}^{(3q)}$  и  $F_{C_j}^{(3o)}$ . Эти составляющие формируются  $j$ -го лётчика при рассмотрении 3D-модели местности через ИВО  $F_{C_j}^{(3v)} < F_{\max}(T_{m_j}, I_j^{(3v)}, I_m^{(3v)})$ ,  $F_{C_j}^{(3v)}(T_{m_j}) \rightarrow F_{\max}(I_j^{(3v)}, I_m^{(3v)})$ , или 2D-проекций 3D-модели местности через ИТ  $F_{C_j}^{(3q)} < F_{\max}(T_{m_j}, I_j^{(3q)}, I_j^{(3p_q)}, I_m^{(3q)})$ ,  $F_{C_j}^{(3q)}(T_{m_j}) \rightarrow F_{\max}(I_j^{(3q)}, I_j^{(3p_q)}, I_m^{(3q)})$ , или через ИР  $F_{C_j}^{(3o)} < F_{\max}(T_{m_j}, I_j^{(3o)}, I_j^{(3p_o)}, I_m^{(3o)})$ ,  $F_{C_j}^{(3o)}(T_{m_j}) \rightarrow F_{\max}(I_j^{(3o)}, I_j^{(3p_o)}, I_m^{(3o)})$ .

Опыт разработки и эксплуатации ИВО, ИТ и ИР показал, что формирование составляющих  $F_{C_j}^{(3v)}$ ,  $F_{C_j}^{(3q)}$ ,  $F_{C_j}^{(3o)}$  при полётах на АТ зависят от качества визуально наблюдаемых изображений информационных моделей местности, что зависит от возможностей используемых КГИ и разработанной конструкторами информационной 3D-модели местности. В информационную 3D-модель местности невозможно заложить все реально существующие реперные объекты, поэтому на этапе разработки проводится анкетирование лётчиков с целью составления списка реперных объектов. Ограничения КГИ на сегодняшний день не позволяют обеспечить лётчику наблюдение всех указанных в списке моделей реперных объектов при выполнении маршрутного полёта от одного ППМ к другому с визуальным контролем всех моделей реперных объектов по маршруту полёта. Поэтому, при разработке информационной 3D-модели местности в неё включаются все информационные 3D-модели реперных объектов, которые позволяют лётчику максимально формировать составляющие  $F_{C_j}^{(3v)}$ ,  $F_{C_j}^{(3q)}$ ,  $F_{C_j}^{(3o)}$  и обработка которых не приводит к перегрузке КГИ. Это послужило основанием отнести ИВО, ИР и ИТ к отдельной группе имитаторов АТ, которые формируют у лётчика составляющие его когнитивной модели восприятия модели визуально наблюдаемой внешней среды. В отличие от имитаторов первой и второй группы, которые формируют «информационную модель полёта» с достаточно быстро достигаемым пределом извлечения информации, необходимой для обучения пилотированию ЛА, имитаторы третьей группы, предназначенные для решения навигационных задач, с каждым полётом на АТ улучшают профессиональные навыки определения места нахождения модели ЛА в модели пространства, и эти навыки всегда совершенствуются от полёта к полёту как на АТ, так и на ЛА. Таким образом, имитаторы третьей группы максимально формируют у лётчика составляющие его когнитивной модели, отвечающие за умение решать навигационные задачи при полёте по маршруту визуально рассматривая информационные 3D-модели

реперных объектов, которые, как и при реальных полётах на ЛА необходимо ещё найти на общем фоне информационной модели местности.

На сегодняшний день задача решения навигационных задач при полёте по маршруту от одного ППИ к другому наиболее остро встала при разработке тренажёров обучения операторов БПЛА.

**Заключение.** В зависимости от особенностей восприятия лётчиками информации, синтезированной разными имитаторами авиационного тренажёра, их делят на три группы.

Имитаторы первой группы синтезируют для лётчика информацию от приборов кабинного оборудования для решения задач пилотирования летательного аппарата (лётчик воспринимает показания приборов, считая, что они однозначно оценивают физические процессы в соответствующих узлах ЛА).

Имитаторы второй группы синтезируют для лётчика информацию от приборов кабинного оборудования для решения задач самолётовождения «при полётах в облаках» (лётчик воспринимает показания приборов считая, что они однозначно определяют направление на выбранные наземные средства сам самолётовождения).

Имитаторы первой и второй групп синтезируют для лётчика «информационную модель полёта», достаточную для решения задач обучения пилотирования ЛА и решения навигационных задач при «полётах в облаках» и при заходе на посадку на модель ВПП. Во время полётов на АТ и ЛА лётчик приближается к пределу информации, которую он может получить от показаний приборов этих групп (составляющие когнитивной модели восприятия информации от имитаторов этой группы связаны с нахождением конкретного прибора в кабине ЛА и правил чтения соответствующей информации).

Имитаторы третьей группы синтезируют для лётчика визуальную наблюдаемую модель внешней среды. Особенностью восприятия лётчиком этой информации является необходимость постоянно совершенствовать составляющие когнитивной модели, в которых откладываются навыки визуального поиска заданного объекта. При использовании имитатора визуальной обстановки предполагается обученность зрительного аппарата конкретного лётчика умению видеть 3D-объект, в то время как он через оптику рассматривает видеоряд из 2D-проекций 3D-объекта. Во время полётов на АТ и ЛА лётчик всегда совершенствует составляющие своей когнитивной модели визуального восприятия внешнего пространства, никогда не приближаясь к максимально возможному пределу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 21659-76. Тренажеры авиационные. Термины и определения. Постановлением марта 1976 г. № 716 срок действия установлен с 01.07.1977. Издательство стандартов Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 30. М. «Московский печатник», 1976. – 10 с.
2. ГОСТ Р 57259-2016. Тренажеры авиационные. Термины и определения. Дата введения 2017-06-01. Электронный текст документа подготовлен АО "Кодекс" и сверен по: официальное издание М.: Стандартинформ, 2018. <https://docs.cntd.ru/document/1200141434> (дата обращения 30.10.2021)

3. Красовский, А. А. Авиационные тренажеры / А. А. Красовский, В. И. Лопатин и др. // М.: Изд-во ВВИА им. Жуковского, 1992. – 320 с.
4. Красовский А. А. Основы теории авиационных тренажеров // М.: Машиностроение, 1995. – 304 с.
5. Шукшунув, В. Е. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов/ Под ред. В. Е. Шукшунова// М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
6. Лапшин, Э.В. Авиационные тренажеры модульной архитектуры. Монография/ Э.В. Лапшин [и др.]; под ред. Э.В. Лапшина, А.М. Данилова// М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Пенз. гос. ун-т. Пенза, 2005. – 145 с.
7. Прохоров Н.Л., Егоров Г.А. Управляющие вычислительные комплексы СМ ЭВМ//Приборы. 2006. № 3 (69). – С. 3-9.
8. Абрамов С.М., Пешин С.В., Пешин Ф.С., Першин Ю.В., Прудковский А.Г., Рыкунов А.Л., Терентьев А.Б., Тулин В.А., Володин И.А. Специализированный дискретно-аналоговый вычислитель//Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2011. № 7. – С. 608-621.
9. Мамаев В.Я. Воздушная навигация и элементы самолётовождения: Учеб. Пособие/В.Я. Мамаев, А.Н. Синяков, К.К. Петров, Д.А. Горбунов// СПбГУАП. СПб., 2002. – 256 с.
10. Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Метод визуализации мультиобъёмных данных и функционально заданных поверхностей с применением графических процессоров//Автоматрия. 2021. Т. 57. № 2. – С. 32-40.
11. Mazurok B.S., Dolgovesov B.S., Artikov T.N., Artikov A.N., Korostelev E.I. "Integrated solution for interactive multimedia presentations" in 23rd International Conference on Computer Graphics and Vision, GraphiCon 2013 - Conference Proceedings. 23. 2020. – pp. 152-155.
12. Roganov V.R., Asmolova E.A., Seredkin A.N., Chetvergova M.V., Andreeva N.B., Filippenko V.O. "Problem of virtual space modelling in aviation simulators" in Life Science Journal. 2014. Vol. 11, № 12 – pp. 1097.
13. Вяткин С.И., Долговесов Б.С., Мазурок Б.С., Рожков А.Ф. Эффективный метод растривания изображений для компьютерных систем визуализации реального времени//Автоматрия. 1993. № 5. – С. 45-50.
14. Роганов В.Р., Филиппенко В.О., Асмолова Е.А., Михеев М.Ю. Расширение списка задач обучения на авиационном тренажере при полётах в режиме постоянной видимости земли//Современные информационные технологии. 2016. № 24. – С. 49-55.
15. Зайцев А.В., Соловьев В.А., Кичулкин Д.А., Красавцев О.О. Сравнительная оценка способов обработки цифровых изображений, получаемых с помощью тепловизора при наблюдении беспилотных летательных аппаратов//Цифровая обработка сигналов. 2017. № 3. – С. 50-56.
16. Акиншин Р.Н., Румянцев В.Л., Петешов А.В. Результаты моделирования подавления спектра в радиолокаторе с синтезированием апертуры//Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2019. Т. 22. № 1. С. 76-82.
17. Mazurok B.S., Dolgovesov B.S., Artikov T.N., Artikov A.N., Korostelev E.I. "Integrated solution for interactive multimedia presentations" in 23rd International Conference on Computer Graphics and Vision, GraphiCon 2013 - Conference Proceedings. 23. 2020. – pp. 152-155.
18. Венников, В.А. Теория подобия и моделирования// М.1976. – 479 с
19. Новокрещенов А.С., Анищенко А.Н. Современное состояние и перспективы развития тренажерной подготовки в авиационных вузах// Журнал педагогических исследований. 2021. Т. 6. № 3. – С. 57-62.
20. Сикорский С.Т. Тактический тренажер авиационного комплекса морской авиации военно-морского флота//Программные продукты и системы. 2013. № 2. – С. 24.
21. Čížek P., Faigl J. "Self-supervised learning of the biologically-inspired obstacle avoidance of hexapod walking robot" in Bioinspiration & Biomimetics. 2019. Vol. 14. N 4. –P. 046002.

Статья поступила в редакцию 17.09.2021

Статья принята к публикации 07.12.2021