

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 519: 004.5
doi: 10.30987/2658-4026-2023-4-350-359

Искусственный интеллект в адаптивных внутрикабинных интерфейсах

Сергей Федорович Сергеев^{1✉}, Дмитрий Николаевич Левин², Антон Геннадьевич Игнатов³

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия¹,

² Московский авиационный институт, Россия,

³ ПАО «ОАК» филиал «ОКБ Сухого», Россия

¹ ssfpost@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6677-8320>

² d.n.levin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4222-9439>

³ ignatov-ag@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0006-4622-4119>

Аннотация.

Рассматриваются принципы разработки адаптивных внутрикабинных интерфейсов управления перспективными авиационными системами, основанных на методологии интегрированной модульной авионики (ИМА), которые меняют свой функционал в зависимости от ситуации и условий полета. Описаны существующие и перспективные решения и технологии создания внутрикабинных интерфейсов, такие как системы распознавания жестов, голосовые команды и другие методы взаимодействия с пилотом, в том числе с использованием технологий индуцированной виртуальной реальности и искусственного интеллекта. Показаны проблемы пилотирования в условиях повышенной автоматизации процессов управления самолетом. Рассматриваются предложения по созданию еще более эффективных и безопасных интерфейсов в ближайшем будущем, что позволит повысить эффективность авиационных систем, качество управления самолетами и уменьшить вероятность производственных ошибок пилотов.

Ключевые слова: технологии ИМА, искусственный интеллект, системы автоматизации, адаптивный внутрикабинный интерфейс

Для цитирования: Сергеев С.Ф., Левин Д.Н., Игнатов А.Г. Искусственный интеллект в адаптивных внутрикабинных интерфейсах // Эргодизайн. №4 (22). С. 350-359. <http://dx.doi.org/10.30987/2658-4026-2023-4-350-359>.

Original article
Open access article

Artificial Intelligence in Adaptive In-Cab Interfaces

Sergey F. Sergeev^{1✉}, Dmitry N. Levin², Anton G. Ignatov³

¹ Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Russia,

² Moscow Aviation Institute, Russia,

³ PJSC "United Aircraft Corporation" Branch of Sukhoi Experimental Design Bureau, Russia

¹ ssfpost@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6677-8320>

² d.n.levin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4222-9439>

³ ignatov-ag@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0006-4622-4119>

Abstract.

The principles of developing adaptive in-cabin control interfaces for advanced aviation systems based on the methodology of integrated modular avionics (IMA), which change their functionality depending on the situation and flight conditions, are considered. Existing and promising solutions and technologies for making in-cabin interfaces are described, such as gesture recognition systems, voice commands and other methods of interaction with the pilot, including the use of induced virtual reality and artificial intelligence technologies. The problems of piloting in conditions of increased automation of aircraft control processes are shown. Proposals are considered to create even more efficient and secure interfaces in the near future, which will improve the aviation system performance, the aircraft control quality and reduce the likelihood of pilots' operational errors.

Keywords: IMA technologies, artificial intelligence, automation systems, adaptive in-cab interface

For citation: Sergeev S.F., Levin D.N., Ignatov A.G. Artificial Intelligence in Adaptive In-Cab Interfaces // Ergodizayn [Ergodesign], 2023, No. 4 (22). Pp. 350-359. Doi: 10.30987/2658-4026-2023-4-350-359.

Введение

Основным элементом современного самолета, обеспечивающим эффективную связь с бортовыми системами, позволяющим контролировать и производить необходимые манипуляции с оборудованием и системами для решения задач полета, является *внутрикабинный интерфейс*.

Информационно-управляющее поле (ИУП) объединяет все системы и устройства, создающие и поддерживающие взаимодействие между членами экипажа, бортовыми системами самолета и наземными пунктами управления движением и поддержки полета. Функционирование ИУП ориентировано на поддержание и реализацию информационной модели полета, формируемой в психофизиологической системе пилота на основе его обучения и опыта. Основной концепцией построения современных внутрикабинных интерфейсов на основе интенсивного использования компьютерных технологий является концепция *интегрированной модульной авионики* (ИМА) [1]. Она предусматривает:

- отделение функционального программного обеспечения (ПО) от аппаратного исполнения вычислительной среды;
- повторное использование ПО;
- реализацию нескольких функциональных приложений на одной вычислительной платформе с применением технологии безопасных разделов;
- автономное создание и сертификацию специфицированных модулей-функций;
- интеграцию функций управления в единый модуль.

Методология ИМА базируется на рациональном согласовании совокупных свойств взаимодействия человека-оператора и техники в интересах повышения эффективности деятельности экипажа и безопасности полета. Системы отображения информации и контроля, формируемые на базе цифровых электронных устройств, обеспечивают наиболее удобную форму представления информации. В таких системах воспроизводится только та информация, которая необходима летчику для реализации данного режима полета, либо вызвана по его требованию. Широкие возможности моделирования и представления информации требуют серьезного инженерно-психологического обоснования принципов

рационального информационного обеспечения летчика в процессе решения профессиональных задач.

В рамках ИМА-технологии рассматриваются мнемокадры, позволяющие повысить эффективность деятельности экипажей многофункциональных авиационных комплексов. ИМА определяется как совместно используемый набор гибких, повторно используемых и взаимодействующих аппаратных и программных ресурсов, которые, будучи интегрированными, образуют разработанную и проверенную в отношении определенного набора требований к безопасности и техническим характеристикам самолета платформу, обеспечивающую надежное функционирование комплекса бортового оборудования, уменьшение его массогабаритных характеристик, облегчение технического обслуживания, уменьшение стоимости [1].

Системы индикации и сигнализации становятся частью комплекса, построенного на технологии ИМА, при этом сохраняются функции внутрикабинного интерфейса, выполнение которых будет возлагаться на средства ИУП. В последние годы были разработаны и внедрены адаптивные внутрикабинные интерфейсы управления, которые упрощают и ускоряют процесс управления самолетом, повышают безопасность полетов и комфорт пилота.

В данной статье мы рассмотрим особенности класса интерфейсов реализующих методологию ИМА с функциональной точки зрения за счет гибкого использования механизмов психофизиологической и симбиотической адаптации и технологий искусственного интеллекта и алгоритмов машинного обучения. Эти устройства разрабатываются в рамках концепции адаптивных интерфейсов, использующей методологию взаимной адаптации человека и техники [2].

Адаптивный внутрикабинный интерфейс управления – это система управления, которая позволяет пилоту взаимодействовать с самолетом и многообразными внешними и внутренними информационными потоками с помощью наиболее удобных для него средств. Система автоматически адаптируется под потребности и возможности пилота, предоставляя ему необходимую информацию в удобной для восприятия форме, реагируя на

его команды и действия. Адаптивность системы может быть обеспечена за счет использования различных типов информационных дисплеев, способов взаимодействия пилота с самолетом и системой управления, а также высокого уровня автоматизации управления достигаемого за счет использования технологий искусственного интеллекта.

В адаптивных интерфейсах реализуется концепция адаптивной автоматизации с переменной степенью автоматизации управления в зависимости от условий полета и степени загрузки экипажа.

1. Адаптивная автоматизация во внутрикабинных интерфейсах

Одна из первых попыток оценить уровень автоматизации в человеко-машинной системе была предпринята Т. Шериданом и В. Вепланк, которые в 1978 году предложили десятибалльную шкалу степени автоматизации (Levels of Automation, далее – LOA), отражающую независимость автоматизированного комплекса от оператора [3, 4]. По их мнению, если каждая операция может выполняться в ручном режиме – степень автоматизации 1 а в полностью в автоматическом режиме – 10 баллов. По аналогии с данной классификацией и учетом исследований А. Н. Костина [5] и Ю. Я. Голикова [6] мы предлагаем следующую шкалу уровней автоматизации для внутрикабинного интерфейса перспективных самолетов (Таблица 1).

Таблица 1.

Уровни автоматизации систем управления и интерфейса перспективных самолетов

Table 1.

Levels of automation of control systems and interface of advanced aircraft

Уровень автоматизации, тип управления		Содержание	Поколение самолета
0	Ручное управление	Человек управляет авиационным комплексом в целом, реализуя посредством органов управления алгоритмы достижения целей полета (всеми блоками систем, т. е. их включает, выключает, регулирует, анализирует потоки информации, вырабатывает и реализует решения и т. д.)	3
1	Комбинированное управление: ручное с элементами автоматизации	Помощь пилоту в виде полной или частичной автоматизации отдельных функциональных систем. Автоматика управляет отдельными блоками или некоторыми совокупностями блоков разных систем; человек – всеми системами, за исключением тех блоков, которыми управляет автоматика	4
2	Комбинированное управление: автоматическое с ручным по запросу	Автоматическое управление самолетом в рамках решения тактических задач полета, с постоянным контролем и корректировкой пилотом параметров систем и агрегатов с периодической передачей управления пилоту по его запросу	4+
3	Гибридное при доминировании человека в управлении миссией	Автоматическое управление самолетом в рамках решения тактических и частично стратегических задач полета с периодическим контролем за ним, но с возможностью вмешательства пилота в управление в любой момент времени. Автоматика управляет некоторой совокупностью систем; человек – оставшимися системами и миссией полета	5
4	Гибридное при доминировании искусственного интеллекта (ИИ)	Автоматическое управление самолетом и выполнением миссии полета без контроля пилотом, но с возможностью вмешательства в управление при возникновении запросов от	5+

		автоматики (в непредвиденных ситуациях). Автоматика и/или искусственный интеллект (ИИ) решает стратегические задачи полета, которые оперативно могут быть изменены пилотом, который формирует миссию полета и определяет момент ее завершения	
5	Автоматическое управление, самолет-робот	Автоматическое управление самолетом и решение всех задач полета вплоть до выполнения миссии без вмешательства человека	6

На третьем и четвертом уровнях автоматизации, достигаемых в самолетах 5-го и 5+ поколений, использование технологий искусственного интеллекта позволяет реализовать рассматриваемые в настоящей статье возможности адаптивной автоматизации в рамках концепции адаптивных внутрикабинных интерфейсов.

Адаптивная автоматизация (АА) – это подход к удержанию рабочей нагрузки пилота на соответствующих уровнях, чтобы избежать как недогрузки, так и перегрузки, тем самым повышая общую производительность и безопасность человеко-машинной системы. Основная проблема использования АА заключается в выборе решения, не влияющего на оперативную задачу.

В этом отношении пассивные системы интерфейса мозг-компьютер являются хорошими кандидатами для активации и выбора уровня автоматизации, поскольку они способны собирать информацию о скрытом поведении (например, умственной нагрузке) пилота путем анализа его нейрофизиологических показателей, не вмешиваясь в текущую операционную деятельность.

Система интерфейса мозг-компьютер, способная запускать решения АА, интегрированные в симулятор управления воздушным движением, разработана и размещена в Национальной школе гражданской авиации Тулузы, Франция. Результаты экспериментов продемонстрировали эффективность предложенной системы интерфейса. Она позволила решать задачи адаптивной автоматизации в условиях повышенных требований к пилоту, за счет снижения умственной нагрузки, с которой работали диспетчеры систем управления воздушным движением [7].

В исследовании сотрудников Delft University of Technology (Нидерланды) рассматривается применимость адаптивного человеко-машинного интерфейса (Adaptive

Human-Machine Interface - АНМИ) в кабине современного самолета. Основная гипотеза, лежащая в основе адаптивных интерфейсов, заключается в том, что различные конфигурации дисплея более подходят для конкретных ситуаций. Хорошо разработанный адаптивный интерфейс, способный предоставлять нужную информацию в нужном формате и в нужное время, может помочь пилоту в управлении летательным аппаратом [8]. В результате исследования были сделаны выводы о том, что адаптивный человеко-машинный интерфейс способен повысить безопасность полетов, помогая летному экипажу в приобретении и поддержании ситуационной осведомленности. Для того чтобы пилот принял интерфейс и доверял ему, должны быть выполнены два условия: 1) пилот всегда должен контролировать ситуацию и 2) пилот всегда должен быть в состоянии понять адаптацию.

В диссертационном исследовании Д. В. Хакимова [9] показано, что в настоящее время авиационная ИМА в значительной мере типизирована, но при этом не обладает рядом желательных свойств: многозадачностью, открытой архитектурой, независимостью программного обеспечения и оборудования. Причина этого отсутствие процесса и отлаженных методов проектирования, учитывающих в полной мере особенности построения бортового оборудования ИМА, так как для процесса проектирования на принципах независимой и федеративной архитектур характерно наследование технических решений, а при разработке комплекса, создаваемого на принципах ИМА, использование принципов организации бортового оборудования предыдущих типов оказывается неэффективным. Отмечена проблема варьирования параметров типовой структуры бортового оборудования, так как поверхность изменений исследуемой характеристики носит сложный нелинейный характер.

В работе Н. Н. Макарова [10] разработана системная методология построения, теории и методов проектирования алгоритмических аппаратных и программных средств, методик моделирования, экспериментального исследования и оценки эффективности применения информационно-управляющих систем обеспечения безопасности функционирования элементов бортового эргатического комплекса в контуре управления ЛА. На основе предложенных *информативных функций опасности* разработаны методы анализа каналов информационно-управляющей системы контроля и диагностики общесамолетного оборудования, включающего различные по принципу действия и динамическим характеристикам агрегаты и системы. По мнению Макарова основные направления дальнейших исследований и перспективы развития информационно-управляющих систем обеспечения безопасности функционирования элементов бортовых эргатических комплексов самолетов и вертолетов и других воздушных транспортных средств связаны с совершенствованием средств электронной индикации, использованием виртуальной приборной доски и футуристической кабины, сенсорных панелей управления и трекболов, многофункциональных пультов управления и интеллектуальных средств поддержки пилота в подготовке и принятии решений, использования для передачи информации не только виртуального, но и других сенсорных каналов пилота, мультимодального интерфейса и виртуальной кабины, наשלмной индикации и датчиков виртуальной реальности. Для повышения эффективности разработанных подходов автор предлагает использование методов теории распознавания образов, использования аппарата и приложений векторных функций Ляпунова, экспертных систем и нейросетевых технологий [10, с. 30].

Основным потенциальным преимуществом адаптивного интерфейса является его простота, удобство использования, ориентация на пилота. Система управления самолётом с адаптивным интерфейсом позволяет экипажу быстро и эффективно выполнять различные задачи в условиях временных ограничений. Это особенно важно в условиях аварийных ситуаций, когда каждая секунда имеет значение.

Другим важным преимуществом адаптивного интерфейса является его

простота. Он не требует от пилотов особой подготовки и обучения. Более того, адаптивный интерфейс позволяет пилотам сосредоточиться на выполнении своих задач, не отвлекаясь на поиск нужных функций в интерфейсе, рискуя сделать ошибочные действия.

В силу снижения нагрузки на пилотов система управления самолетом с адаптивным интерфейсом обеспечивает высокую степень безопасности полета. Она позволяет пилотам быстро реагировать на изменения среды и принимать необходимые меры для предотвращения аварийных ситуаций.

Адаптивные внутрикабинные интерфейсы управления самолетом с искусственным интеллектом могут стать отличным инструментом для повышения безопасности полетов и улучшения эффективности работы пилотов. Они позволят автоматизировать часть рутинной работы, освобождая время для более сложных задач, а также будут способны организовать действия пилота на основе различных сценариев в случае нештатной ситуации.

1.1. Базовые модули внутрикабинных адаптивных интерфейсов

Основные типовые модули авиационных внутрикабинных интерфейсов, охватывающие различные системы и элементы отображения информации и управления, используемые в современной авиации:

– Операционные панели:

- Пилотская операционная панель – используется пилотами для управления системами самолета, такими как система автопилота, системы освещения, коммуникационные системы и другие.

- Панель управления механизированными элементами – служит для контроля механизированных элементов самолета, таких как поворотные рули, закрылки, элероны и другие.

- Панель управления двигателем – содержит элементы управления двигателями.

– Дисплеи:

- Пилотская информационная система – отображает основные данные о полете.

- Навигационно-информационная система – предоставляет информацию о навигации (карты, маршруты, навигационные точки и другие).

- Многофункциональный дисплей – обеспечивает пилотам доступ к

различным системам самолета, включая системы управления, электронные карты, системы радиосвязи и другие.

– Клавиатуры и селекторы:

- Клавиатура – используется для ввода данных и команд пилотами и членами экипажа.

- Селекторы – позволяют выбирать определенные режимы работы или функции систем самолета.

– Джойстики, ручки управления, тачскрины:

- Штурвал – используется летчиками для управления направлением самолета и высотой.

- Ручка управления – позволяет пилоту управлять углами тангажа и крена самолета.

– Индикаторы и органы управления:

- Индикаторы – предоставляют информацию о состоянии различных систем самолета, такую как: давление жидкостей и газов, температура, скорость и другие параметры.

- Органы управления – кнопки, переключатели и рычаги, используемые для управления различными системами и функциями самолета.

Это лишь некоторые из основных элементов внутрикабинных интерфейсов, применяемых в авиации. С развитием технологий и авиационной эргономики могут появляться новые системы и модификации существующих интерфейсов.

Адаптивные внутрикабинные интерфейсы управления можно классифицировать по следующим критериям:

1. *Типы информации*, представленной на экране:

– отображение параметров полета, топлива, двигателя и т. д.;

– отображение тактической информации о полете (расположение других объектов воздушного пространства, цели, сектора покрытия и т. д.);

– отображение информации о состоянии боевого вооружения (количество и тип снарядов, летящие цели, доступность функций и т. д.).

2. *Способы и средства взаимодействия пилота с системой управления:*

– клавиатура, джойстик, трекбол;

– голосовое управление;

– тачскрин;

– ручка управления самолетом;

– штурвал.

3. *Уровень автоматизации:*

– ручное управление или автоматическая система;

– полуавтоматическое управление, где пилот или система могут контролировать полет;

– полностью автоматизированное управление, где система полностью контролирует и выполняет все фазы полета и применения бортового оборудования.

1.2. Технологические и тематические решения внутрикабинных интерфейсов с искусственным интеллектом

В общем случае использование элементов адаптивных внутрикабинных интерфейсов в контексте применения технологий ИИ представлено в таблице 2. Конкретные реализации модулей являются объектами отдельного обсуждения. Тем не менее следует отметить активное развитие и внедрение в авионику и интерфейсы технологий машинного обучения и обработки больших данных.

Таблица 2.

Table 2.

Использование ИИ в адаптивных внутрикабинных интерфейсах

Using AI in adaptive in-cabin interfaces

Наименование интерфейсного модуля	Типы информации	Способы и средства взаимодействия	Уровень автоматизации	Использование ИИ
Основные дисплеи	Основные данные о полете (скорость, высота, курс)	Отображение информации на дисплее	Низкий – требуется ввод данных	Да, для распознавания жестов и подсказок
	Навигационные указатели (навигационные точки, маршруты)	Проекция данных на лобовое стекло		

	Информация о системах самолета			
Жестовое управление	Жесты пилота	Определение и распознавание жестов	<i>Средний</i> – требуется навык пилота	Да, для распознавания жестов и команд ввода данных
Тактильные отклики	Тактильные сигналы	Вибрация, тактильные панели и кнопки	<i>Различные уровни автоматизации</i> в зависимости от системы	Да, для предоставления тактильной обратной связи
	Уведомления об опасных ситуациях			
Голосовые подсказки	Голосовые сообщения	Звуковые оповещения и инструкции	<i>Высокий</i> – автоматическая подача информации	Да, для автоматической подачи голосовых сообщений
	Сообщения об ошибках и предупреждениях			
Автоматическая регулировка параметров самолета	Подстройка параметров самолета (скорость, высота)	Интеграция с автоматическими системами самолета	<i>Высокий</i> – автоматическая регулировка	Да, для автоматической интеграции и регулировки параметров
	Коррекция траектории полета			

Адаптивные пользовательские интерфейсы могут предоставить выгодные решения для широкого спектра авиационных приложений с искусственным интеллектом. Их способность адаптироваться к разным моделям взаимодействия с пилотом (экипажем) и достигать более персонализированное взаимодействие может привести к повышению эффективности и производительности авиационного комплекса в целом. Благодаря использованию методологии машинного обучения возможны: анализ в реальном времени форм и особенностей взаимодействия разных операторов с одной и той же машиной, формирование индивидуального портрета и почерка пилота; выбор наиболее репрезентативных режимов адаптации; генерация набора временных правил адаптации.

Последовательности взаимодействий оператора с машиной могут быть использованы для выбора наиболее репрезентативных последовательностей, чтобы предотвратить информационную перегрузку и обеспечить ситуационную осведомленность в адаптивном интерфейсе.

Перманентная полипараметрическая мультимодальная адаптация автоматике кабинного интерфейса позволяет поддерживать рабочую нагрузку пилота в

оптимальном диапазоне, уменьшая возникновение опасного уровня утомления.

Реализация новых функций в комплексах бортового оборудования и функциональности кабины экипажа связана с разработкой и внедрением следующих функций и алгоритмов [11]:

- алгоритмов обработки измерительной информации с целью обнаружения взлетно-посадочной полосы (ВППО), препятствий на ВПП и объектов аэродромной инфраструктуры;

- алгоритмов автоматической взаимной привязки и визуального комплексирования измерительной и геопространственной информации;

- алгоритмов получения, передачи и синтетического отображения пространственных данных в едином информационном пространстве «борт-земля». Весьма важным вопросом является разработка функции расширенных режимов наблюдения и управления, в том числе на территории аэропорта, для совершенствования и автоматизации взаимодействия служб организации и управления воздушным движением и самолетов с целью повышения безопасности и обеспечения регулярности полетов:

- алгоритмов бортовой системы управления конфликтными ситуациями для

выдерживания согласованной 4-мерной бесконфликтной траектории;

– реализация процедуры автоматической прокладки альтернативного маршрута;

– реализация процедуры независимого близко-параллельного захода на посадку;

– обеспечение ситуационной осведомленности экипажа об обстановке на поверхности аэродрома.

Новая функция реконфигурации системы управления полетом самолета при отказах и повреждениях информационных и исполнительных устройств включает:

– разработку алгоритма реконфигурации системы управления в случае отказа исполнительных устройств (элеронов, стабилизаторов и т. д.);

– разработку алгоритма реконфигурации системы управления в случае отказа информационных устройств;

– обеспечение осведомленности экипажа об оставшихся ресурсах управления;

– построение оптимальных профилей полета при заходе на аэродром посадки с учетом ограничений на отклонение управляющих поверхностей.

Необходимо осуществлять оптимизацию интерфейса «экипаж-оборудование кабины» с целью:

– расширения условий организации воздушного движения;

– совершенствования способов предупреждения конфликтных ситуаций для исключения авиационных происшествий по причинам потери пространственного положения, неадекватного восприятия основных параметров движения летательного аппарата, неоднозначного восприятия информации от бортовых и внешних источников;

– рационального распределения функций между экипажем и системами ВС для создания предпосылок перехода на пилотирующий экипаж, состоящий из одного пилота;

– совершенствования способов информационного обеспечения экипажа и управления информационным полем, системами ВС;

– повышения качества информационного обмена «воздух-земля-воздух»;

– стандартизации новых технических решений [11, с. 60]. Реализация указанного объема функций обеспечения полета и деятельности экипажа вполне возможна при использовании сетевых алгоритмов машинного обучения и генеративного ИИ.

Перспективно при создании адаптивных внутрикабинных интерфейсов использование технологий компьютерного айтирекинга [12]. Функции слежения за взглядом могут обеспечить дополнительный канал управления с высоким уровнем чувствительности к действиям оператора и его когнитивному состоянию. Кроме того, область интереса, связанная с местоположением взгляда, может использоваться, например, для решения задач наведения и поражения противника.

В качестве возможных в будущем направлений развития авиационных интерфейсных систем можно выделить: создание управляющих сред, использование интеллектуальной глобальной сети интернет, систем генеративного искусственного интеллекта, интеграции и симбиоза человека с техногенной средой [13], переход к системам 6-го поколения [14].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Воробьев А.В., Сильвестров М.М., Бегичев Ю. и др.** Концепция построения эргатического интерфейса многофункционального авиационного комплекса с интегрированной модульной авионикой // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. № 20 (1). С. 59-64. DOI 10.17587/mau.20.59-64. EDN VRIOVI.
2. **Венда В.Ф.** Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. М.: Машиностроение, 1990. 446 с. ISBN 5-217-01006-1.
3. **Sheridan T.B., Verplank W.L.** Human and computer control of undersea teleoperators. Massachusetts Inst of Tech Cambridge Man-Machine Systems Lab. 1978. pp. 186. URL: https://archive.org/details/DTIC_ADA057655/page/n185/mode/2up (дата обращения: 27.12.2021).
4. **Parasuraman R., Sheridan T.B.** A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation // IEEE

REFERENCES

1. **Vorobyov A.V., Silvestrov M.M., Begichev Yu., et al.** Concept of Construction of Ergatic Interface of Multifunctional Aviation Complex With Integrated Modular Avionics. Mechatronics, Automation, Control. 2019;20(1):59-64. DOI 10.17587/mau.20.59-64.
2. **Venda V.F.** Systems of Hybrid Intelligence: Evolution, Psychology, Computer Science. Moscow: Mechanical Engineering; 1990. 446 p.
3. **Sheridan T.B., Verplank W.L.** Human and Computer Control of Undersea Teleoperators. Massachusetts Inst of Tech Cambridge Man-Machine Systems Lab. [Internet]. 1978 [cited 2021 Dec 12]:186. Available from: https://archive.org/details/DTIC_ADA057655/page/n185/mode/2up.
4. **Parasuraman R., Sheridan T.B.** A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation. IEEE

- Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-part a: Systems and Humans. 2000;3(30):286-297. DOI 10.1109/3468.844354.
5. **Костин А.Н.** Влияние менталитета специалистов разных профессий на выбор стратегии автоматизации робототехнических систем // Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда. 2017. Т. 2. № 4. С. 82-105. EDN ZXWTMD.
6. **Голиков Ю.Я.** Концепции адаптивной автоматизации и подходы к человеку и технике для современных человеко-машинных комплексов // Психология адаптации и социальная среда: современные подходы, проблемы, перспективы / Отв. ред. Л. Г. Дикая, А. Л. Журавлев. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2007. С. 392-407. EDN ZFOADH.
7. **Aricò P., Borghini G., Di Flumeri G., Bonelli S., Golfetti A., et al.** Human Factors and Neurophysiological Metrics in Air Traffic Control: A Critical Review. IEEE Review in Biomedical Engineering. 2017; PP(99):1-1. DOI 10.1109/RBME.2017.2694142.
8. **Abeloos A.L.M., Mulder M., van Paassen M.M.** The Applicability of an Adaptive Human-Machine Interface in the Cockpit // EAM 2000, 19th European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control, Ispra, Italy June 26-28, 2000, pp. 193-198.
9. **Хакимов, Д.В.** Автоматизация проектирования структуры функций комплексов бортового оборудования, построенных на принципах интегральной модульной авионики : специальность 05.13.12 "Системы автоматизации проектирования (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Хакимов Дмитрий Валерьевич, 2018. 202 с. EDN WICBPW.
10. **Макаров, Н.Н.** Системы обеспечения безопасности функционирования элементов бортового эргатического комплекса в контуре управления летательного аппарата : специальность 05.13.05 "Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления", 05.11.16 "Информационно-измерительные и управляющие системы (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Макаров Николай Николаевич. Ульяновск, 2009. 516 с. EDN QEKNCP.
11. **Чуянов Г. А., Косьянчук В. В., Сельвесюк И. И.** Перспективы развития комплексов бортового оборудования на базе интегрированной модульной авионики // Известия ЮФУ. Технические науки. С. 55-62. EDN PYMMUV.
12. **Бойко Н.С., Шакиров И.Р.** Интеграция айтрекинга в современную кабину воздушного судна // Научный вестник ГОСНИИ ГА. 2020. №33. С.88-96. EDN SHITOV.
13. **Сергеев С. Ф.** Системно-психологические аспекты автоматизации и роботизации техногенных сред // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16. № 11. С. 751–756. DOI 10.17587/mau/16.751-756. EDN VCNTLN.
14. **Сергеев С.Ф.** Человеческий фактор в самолетах 6-го поколения: проблемы техносимбиоза // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018. № 19(12). С. 806-811. DOI 10.17587/mau.19.806-811.
- Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans. 2000;3(30):286-297. DOI 10.1109/3468.844354.
5. **Kostin A.N.** Influence of the Mentality of Different Professions Specialists on the Selection of the Robotic Technical Systems Automation Strategy. Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences. Organizational Psychology and Labour Psychology. 2017;2(4):82-105.
6. **Golikov Yu.Ya.** Concepts of Adaptive Automation and Approaches to Man and Technology for Modern Man-Machine Systems. In: Dikaya L.G., Zhuravlev A.L., editors. Psychology of Adaptation and Social Environment: Modern Approaches, Problems, Prospects. Moscow: Institute of Psychology RAS; 2007. p. 392-407.
7. **Aricò P, Borghini G, Di Flumeri G, Bonelli S, Golfetti A, et al.** Human Factors and Neurophysiological Metrics in Air Traffic Control: A Critical Review. IEEE Review in Biomedical Engineering. 2017;PP(99):1-1. DOI 10.1109/RBME.2017.2694142.
8. **Abeloos A.L.M., Mulder M., Van Paassen M.M.** The Applicability of an Adaptive Human-Machine Interface in the Cockpit. In: Proceedings of the 19th European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control: EAM 2000; 2000 Jun 26-28; Ispra (Italy): 2000. p. 193-198.
9. **Khakimov D.V.** Automation of Designing the Function Structure of On-Board Equipment Complexes Built on the Principles of Integral Modular Avionics. Specialty 05.13.12: Design Automation Systems (By Industry). Candidate's Dissertation; 2018. 202 p.
10. **Makarov N.N.** Systems for Ensuring Safe Functioning of the On-Board Ergatic Complex Elements in the Aircraft Control Loop. Specialty 05.13.05: Elements and Devices of Computer Technology and Control Systems, 05.11.16: Information-Measuring and Control Systems (By Industry). Doctor's Dissertation. Ulyanovsk; 2009. 516 p.
11. **Chuyanov G.A., Kosyanchuk V.V., Selvesyuk I.I.** Prospects of Development of Complex Onboard Equipment on the Basis of Integrated Modular Avionics. Izvestiya SFedU. Engineering Sciences. 2013:55-62.
12. **Boyko N.S., Shakirov I.R.** Integration of the Aytreking Into the Modern Cabin Aircraft. Scientific Bulletin of the State Research Institute of Civil Aviation. 2020;33:88-96.
13. **Sergeev S.F.** System-Psychological Aspects of Automation and Robotization of the Technogenic Environments. Mechatronics, Automation, Management. 2015;16(11):751-756. DOI 10.17587/mau/16.751-756.
14. **Sergeev S.F.** The Human Factor in the Aircraft of the 6th Generation: Problems of Technosymbiosis. Mechatronics, Automation, Control. 2018;19(12):806-811. doi: 10.17587/mau.19.806-811.

Информация об авторах:

Сергеев Сергей Федорович – доктор психологических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета, заведующий НИЛ «Эргономика сложных систем» СПбПУ Петра Великого, академик Российской инженерной академии, международные идентификационные номера автора: Scopus-Author ID 55953906000, Research- ID-Web of Science J-4844-2013, Author-ID-РИНЦ 509432.

Левин Дмитрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование и сертификация авиационной техники» МАИ, международные идентификационные номера автора: Scopus-Author ID 57215311175, Research- ID-Web of Science IVV-2488-2023, Author-ID-РИНЦ 1020784.

Игнатов Антон Геннадьевич – начальник научно-исследовательского сектора отдела конструкций кабин и эргономики ПАО «ОАК» филиал «ОКБ Сухого».

Information about the authors:

Sergeev Sergey Fedorovich – Doctor of Psychology, Professor of Saint Petersburg State University, Head of the Research Laboratory “Ergonomics of Complex Systems” of Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Academician of the Russian Academy of Engineering, the author’s international identification numbers: Scopus-Author ID: 55953906000, Research-ID-Web of Science: J-4844-2013, Author-ID-RSCI: 509432.

Levin Dmitry Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department “Design and Certification of Aviation Equipment” of Moscow Aviation Institute, the author’s international identification numbers: Scopus-Author ID: 57215311175, Research-ID-Web of Science: IVV-2488-2023, Author-ID-RINC: 1020784.

Ignatov Anton Gennadievich – Head of the Research Sector of the Cabin Design and Ergonomics Department of PJSC “United Aircraft Corporation” Branch of Sukhoi Experimental Design Bureau.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.09.2023; одобрена после рецензирования 12.10.2023; принята к публикации 13.10.2023. Рецензент – Спасенников В.В., доктор психологических наук, профессор Брянского государственного технического университета, главный редактор журнала «Эргодизайн»

The paper was submitted for publication on the 13th of September, 2023; approved after the peer review on the 12th of October, 2023; accepted for publication on the 13th of October, 2023. Reviewer – Spasennikov V.V. Doctor of Psychology, Professor of Bryansk State Technical University, Editor-in-Chief of the journal “Ergodesign”.