

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 331.101.1

doi: 10.30987/2658-4026-2024-4-463-471

## Эргономическое проектирование внутрикабинного интерфейса перспективного самолета

Дмитрий Николаевич Левин <sup>1✉</sup>

<sup>1</sup>Московский авиационный институт; Москва, Россия

<sup>1</sup>d.n.levin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4222-9439>

### Аннотация.

Рассматривается комплексный подход к проблеме разработки рабочих мест экипажа и внутрикабинных интерфейсов самолета при проектировании сложной авиационной техники.

Отмечается важность инженерно-психологического и эргономического проектирования рабочих мест экипажа и информационно-управляющего поля кабины с учетом многомодального взаимодействия в системе «летчик–самолет». Рассматриваются отдельные виды взаимодействия, включая перспективные, а также предложения по созданию и эргономической оценке эффективных и безопасных интерфейсов, что позволит повысить качественный уровень и эффективность авиационных систем, качество управления самолетом, уменьшив при этом вероятность ошибок экипажа.

Описывается специальное оборудование – универсальный многофункциональный поисковый стенд для проведения эргономических исследований и эргономической оценки разрабатываемых технических решений. Анализируются все этапы работ с использованием стенда. Показана технология сквозного проектирования рабочих мест экипажа самолета и разработки внутрикабинного интерфейса с контролем и согласованием заданных эргономических показателей разрабатываемого самолета на всех этапах его создания – от начальных стадий проектирования до эксплуатации по назначению. Отмечается универсальность стенда, возможность быстрой адаптации под различные проекты, описываются возможности ускорения технологического процесса проектирования, позволяя проводить непрерывную эргономическую оценку принимаемых решений на каждом шаге научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ.

Обращается внимание на наличие в составе стенда специального медицинского оборудования, с помощью которого можно проводить комплексную оценку функционального состояния летчика в процессе выполнения работ. Разноплановое медицинское оборудование позволяет проводить работы, связанные с исследованием интерфейса «мозг–компьютер».

Показана необходимость не только улучшения эргономических характеристик кабины самолета, но и оптимизации процесса ее проектирования.

**Ключевые слова:** эргономическое проектирование, кабина экипажа, внутрикабинный интерфейс, информационно-управляющее поле, многомодальность, моделирование, универсальный стенд

**Благодарности:** автор выражает благодарность Сергею Сергею Фёдоровичу, доктору психологических наук, профессору СПбГУ за консультации и помощь в подготовке материалов статьи.

**Для цитирования:** Левин Д.Н. Эргономическое проектирование внутрикабинного интерфейса перспективного самолета // Эргодизайн. 2024. №4 (26). С. 463-471. <http://dx.doi.org/10.30987/2658-4026-2024-4-463-471>.

Original article

Open access article

## Ergonomic Design of the Cockpit Interface of a Promising Aircraft

Dmitry N. Levin <sup>1✉</sup>

<sup>1</sup>Moscow Aviation Institute; Moscow, Russia

<sup>1</sup> d.n.levin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4222-9439>

### Abstract.

The article considers an integrated approach to the problem of developing crew workplaces and cockpit interfaces of an aircraft when designing complex aviation equipment.

The paper notes the importance of engineering-psychological and ergonomic design of crew workplaces and the information and control field of the cockpit, taking into account the multimodal interaction in the “pilot-aircraft” system.

The work considers individual types of interaction, including promising ones, as well as proposals for creating and ergonomic assessment of effective and safe interfaces, which will improve the quality level and efficiency of aviation systems, the aircraft control quality, while reducing the likelihood of crew errors.

The paper describes special equipment, called a universal multifunctional search stand for conducting ergonomic studies and ergonomic assessment of technical solutions being developed. The work analyses all stages of work using the stand; shows the technology of end-to-end design of aircraft crew workplaces and the development of a cockpit interface having control and coordination of specified ergonomic indicators of the aircraft being developed at all stages of its creation, namely from the initial stages of design to operation as intended. The stand universality, the possibility of quick adaptation to various projects are noted, the abilities of accelerating the technological process of design are described, allowing for continuous ergonomic assessment of decisions taken at each step of the research and design work.

The author draws the attention to special medical equipment in the stand, with the help of which it is possible to conduct a comprehensive assessment of the pilot's functional state during the work. Diverse medical equipment allows carrying out tasks related to studying the "brain-computer" interface.

The paper stresses the need not only to improve the ergonomic characteristics of the aircraft cabin, but also to optimize the process of its design.

**Key words:** ergonomic design, cockpit, cockpit interface, information and control field, multimodality, modelling, universal stand

**Acknowledgments:** the author expresses gratitude to Sergey Fedorovich Sergeev, Doctor of Sciences (Psychology), Professor of Saint Petersburg State University for consultations and assistance in preparing the materials of the article.

**For citation:** Levin D.N. Ergonomic Design of the Cockpit Interface of a Promising Aircraft. Ergodizayn [Ergodesign]. 2024;4(26): 463-471. Doi: 10.30987/2658-4026-2024-4-463-471.

## Введение

Сложность создаваемых технических объектов растёт быстрее, чем совершенствуются методы их разработки. Этим объясняется увеличение сроков разработки авиационных систем, независимо от их масштабности – будь это дроны, вертолеты, самолеты или новые авиадвигатели.

Проектирование современного самолета, кроме разработки непосредственно его конструкции и размещения оборудования и снаряжения, обязательно включает в себя проектирование деятельности экипажа, осуществляющего управление данным воздушным судном [1].

Следует отметить, что этому аспекту в системе проектирования уделяется ничтожно мало внимания. Разработчики авиационных систем до сих пор считают эргономическое и инженерно-психологическое проектирование «второстепенными» вопросами, не придавая им большого значения, уделяя при этом основное внимание реализации заявленных летно-технических характеристик. Тем не менее, эти вопросы все равно всплывают на более поздних этапах, как правило при проведении эргономической экспертизы. Очень часто бывает, что эргономические требования оказываются не выполненными, и приходится либо заниматься переделками уже спроектированной и изготовленной техники, либо менять требования к ней в сторону ухудшения эргономических характеристик изделия в целом [2].

Управление летательным аппаратом осуществляется экипажем через взаимодействие с информационно-

управляющим полем (ИУП) кабины, являющимся внутрикабинным пользовательским интерфейсом. С учетом развития техники и технологий, в том числе вычислительных, происходит постоянное усовершенствование ИУП в сторону мультимодальности и интеграции информационных потоков.

Использование многомодальных интерфейсов [3] существенно расширяет возможности приема и получения информации между летчиком и самолетом. Модальности или способы обмена информацией при человеко-машинном взаимодействии подразделяются на входные и выходные. Многомодальный вывод информации объединяет средства, обеспечивающие одновременное представление летчику разнотипной информации и способов интерактивного взаимодействия с ней. Преимущества многомодальных интерфейсов следующие:

- естественность человеко-машинного взаимодействия для пользователя;
- возможность параллельного ввода информации;
- выбор пользователем удобного способа ввода/вывода информации;
- гибкость использования интерфейса;
- повышение общей точности работы системы.

Главное достоинство многомодальных интерфейсов – создание эффективной модели мира деятельности оператора.

Многомодальность проявляется в обоих направлениях – как от самолета к летчику (информационном), так и от летчика к самолету (управляющем). Причем, если в

информационном в настоящее время присутствует более или менее ясная картина, то в управляющем используются не все резервы, которые могут быть задействованы.

Основным каналом получения информации летчиком является визуальный, через который проходит основной информационный поток. Однако, в некоторых случаях данной информации может быть недостаточно. Например, в случае, когда актуальная в данный момент времени информация, может быть, не замечена на фоне текущего потока информации. В данном случае на помощь визуальному каналу приходит аудио канал, посредством которого может передаваться информация в виде голосовых сообщений или условных сигналов, различных по тону, громкости, длительности, частоте повторений и т.д. Актуальным может быть применение технологий «объемного звука», позволяющих сформировать сигнал, например, о положении в пространстве другого объекта с целью привлечения внимания или уменьшения времени поиска этого объекта [4].

Применение сенсорных экранных панелей вызывает ряд вопросов, ставящих под сомнение эффективность данного способа ввода информации. Система должна обладать заявленной надежностью при применении и исключать ошибочное срабатывание. Кроме этого, при вводе информации через сенсорный экран, необходим визуальный контроль ввода информации. Это означает, что летчик в этот момент отвлекается от визуального контроля всего остального, сосредоточив свой взгляд на этом экране.

Давно обсуждаемой темой при проектировании информационно-управляющего поля кабины является управление системами с использованием технологий айтрекинга. Это направление может оказаться востребованным [5].

Достаточно новым направлением при создании эффективных интерфейсов становится исследование электрической активности головного мозга оператора при выполнении задач пилотирования и управления системами самолета. Суть таких исследований состоит в поиске связей между действиями летчика в различных типовых полетных ситуациях и его мозговой активностью на фоне выполнения таких действий.

В настоящее время проводятся работы по исследованию и установлению зависимостей сигналов мозговой активности человека-оператора от типа выполняемых задач для

исследования возможностей их использования, в том числе для управления самолётом и его комплексом бортового оборудования. Такие исследования проводятся на основании применения нейроинтерфейсов в автоматизации и управлении биотехническими и техническими системами в различных отраслях. Можно говорить о том, что есть основания для практического использования нейроинтерфейса применительно к задачам управления авиационными системами. Однако, при распознавании активности головного мозга необходимо учитывать то обстоятельство, что практическое применение подобных систем проблемно реализовать в настоящее время без учета индивидуальных особенностей оператора при распознавании мозговой активности для обеспечения приемлемого уровня достоверности [6], [7].

### **1. Постановка задачи сквозного эргономического проектирования**

В соответствии с жизненным циклом изделия для обеспечения всего комплекса работ по проектированию, постройке, испытаниям и эксплуатации разрабатываемой авиационной техники предлагается рассмотреть комплексный подход к решению данной задачи. Прежде всего, необходимо определить методологические основы создания перспективного внутрикабинного интерфейса в контексте общей постановки задачи проектирования.

Повышение производительности процесса проектирования рабочих мест экипажа, повышение качества возможно в двух связанных направлениях – организационном и материально-техническом. К организационному следует отнести, в первую очередь, методическое обеспечение проведения поисковых и исследовательских работ, направленных на повышение эргономичности создаваемых рабочих мест экипажа в целях повышения эффективности применения авиационного комплекса, надежности работы системы «человек–техника» и улучшение параметров безопасности. Материально-техническое оснащение работ связано с выстраиванием научно-экспериментальной и стендовой базы (НЭСБ), формируемой в обеспечение качественного процесса проектирования рабочих мест и формирования эффективного во всех отношениях внутрикабинного интерфейса.

Состав и структура НЭСБ должны охватывать все основные этапы жизненного

цикла – эскизное и техническое проектирование, производство, наземные и летные испытания и этап эксплуатации. Соответственно, в состав стендового оборудования, предназначенного для эргономических работ, входят небольшие компьютерные стенды для работы на начальных этапах, поисковые стенды для выбора и подтверждения эргономических и технических решений на этапах технического проектирования, полунатурные стенды и комплексы на этапах производства и испытаний. Структура стендовой базы предполагает ее дальнейшее развитие в направлении построения авиационных тренажеров различного назначения.

### **1.1. Методология поэтапного эргономического проектирования кабины экипажа и внутрикабинных интерфейсов**

Эргономическое проектирование рабочих мест экипажа и внутрикабинных интерфейсов подразумевает контроль эргономических показателей в процессе создания рабочих мест экипажа от начальных этапов до летных испытаний.

Методология разработки внутрикабинного интерфейса «летчик–самолет» имеет в своей основе последовательное поэтапное решение ряда проектно-конструкторских и инженерно-психологических задач:

- проектирование внутрикабинного пространства;
- оценка информации, необходимой летчику на различных этапах и режимах полета для решения поставленных задач;
- формирование и оценка вариантов представления информации;
- оценка возможности приема и переработки получаемой информации.

В соответствии с этими задачами исследовательские и проектировочные работы на стендах проводятся в несколько последовательных этапов:

- виртуальное проектирование пространства кабины с использованием технологий виртуальной и дополненной реальности, реализуемых специальным оборудованием, включающим очки виртуальной реальности;
- макетирование геометрического пространства с помощью традиционных технологий;
- функциональное макетирование деятельности;
- компьютерное моделирование деятельности летчика (оператора) в реальном масштабе времени;

– психофизиологические и эргономические исследования возможности реализации выбранных вариантов.

В качестве примера создания эффективного инструмента для проведения эргономических и инженерно-психологических работ, направленных на формирование интерфейса «летчик–самолет» можно рассмотреть построение стенда для проведения работ по формированию рабочих мест экипажа и внутрикабинных интерфейсов [8]. При таком подходе происходит обеспечение качества проекта, т. к. на каждом этапе проектирования деятельности человека-оператора проводится контроль соблюдения эргономических требований и стандартов к разрабатываемой системе. Такой стенд позволяет создать рабочую среду с повышенной иммерсивностью и подобием реальной деятельности, с использованием технических возможностей разрабатываемого комплекса и психологических возможностей оператора с целью гармонизации процесса человеко-машинного взаимодействия при управлении сложным авиационным комплексом [9].

Такой стенд представляет собой автоматизированное рабочее место инженера-конструктора для проведения макетирования внутреннего пространства кабины и её функционального наполнения, служит основой комплекса, предназначенного для решения эргономических и инженерно-психологических задач. Целью работы на стенде является возможность оценки рабочего места экипажа до принятия базового варианта компоновки, сокращая тем самым время подбора оптимальных вариантов.

### **1.2. Этапы эргономического проектирования кабины экипажа и внутрикабинных интерфейсов**

На первом этапе предполагается воспроизведение посредством очков виртуальной реальности и специального программного обеспечения внутреннего пространства кабины. Конструктор получает возможность оценить достаточно большое число вариантов компоновки рабочего пространства экипажа с целью выбора наиболее приемлемого по геометрическим параметрам с учетом всевозможных ограничений. Появляется возможность предварительно оценить внешний и внутрикабинный обзор, досягаемость до основных органов управления, а также общую компоновку кабины. В том числе, конструктор имеет возможность, не прерывая процесс визуализации, изменять компоновку кабины в части расположения основных ее элементов.

Выбор рационального решения в процессе проектирования связан с преодолением неопределенностей, связанных со стремлением оптимизировать систему по многим, часто противоречивым критериям.

Полученные на этом этапе решения по компоновке являются исходными данными для разработки конструкторской документации.

Второй этап представляет собой макетирование геометрического пространства с помощью деревянных (металлических, пластмассовых) заготовок и конструктивных элементов, с возможным использованием в качестве материалов папье-маше или пластилина. Таким способом происходит построение «деревянного» макета. Цель данного этапа заключается в оценке геометрических характеристик рабочего пространства кабины.

Основой для выполнения данного и последующих этапов является универсальная платформа, которая позволяет оперативно осуществлять монтаж и демонтаж конструктивных элементов кабины перспективного ЛА.

Измерения пространственно-геометрических характеристик кабины проводятся с использованием измерительного комплекса на базе лазерного дальномера. В процессе измерений комплексом определяются координаты заданных точек, которые в дальнейшем пересчитываются в пространственно-геометрические характеристики (геометрические размеры, условия досягаемости и обзора).

На следующем, третьем этапе, осуществляется переход от геометрического к функциональному макетированию. На этом этапе на места будущих панелей и пультов устанавливаются сенсорные мониторы и имитаторы пультов. На мониторах выводится графическое изображение будущих пультов. Перед платформой устанавливается система визуализации внешней обстановки, что в совокупности с имитаторами оперативных органов управления (ООУ) позволяет перейти к функциональному моделированию в реальном времени и проводить тестовые полетные задания.

По мере принятия тех или иных технических и компоновочных решений и вариантов расположения отдельных элементов ИУП имитирующие их сенсорные экраны заменяются на макеты и имитаторы пультов, совпадающие с реальным оборудованием по функциональным

характеристикам и тактильным ощущениям. На этом этапе проверяются и утверждаются выбранные варианты компоновки элементов ИУП кабины.

Четвертый этап характеризуется выделением вариантов-лидеров компоновки ИУП кабины и сокращением анализируемых вариантов. На данном этапе появляется возможность отрабатывать как типовые задачи пилотирования и применения самолета, так и нештатные ситуации, связанные с отказом или некорректной работой бортового оборудования. Можно моделировать полетные ситуации, при которых возможно возникновение различного рода иллюзий, проявляющихся в полете [10].

На пятом, заключительном, этапе проектирования проводятся работы, направленные на получение эргономической оценки.

Следует учитывать, что оптимизация системы по одному из критериев практически исключает возможность оптимизации по другим критериям. Поэтому важно найти согласованный оптимум для всех используемых критериев. Но упомянутая неопределенность является принципиальной. Для ее компенсации есть лишь одна единственная возможность: использование системы предпочтений (т.е. дополнительной, субъективной информации).

С практической точки зрения для данной предметной области (многокритериальный выбор на множестве альтернативных вариантов ИУП) наряду с методами последовательной оптимизации интересен метод анализа иерархий (МАИ) [11]. Метод анализа иерархий – математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений. Метод не предписывает какого-либо «правильного» решения, а позволяет в интерактивном режиме найти такой вариант, который наилучшим образом согласуется с пониманием сути проблемы и требованиями к её решению. В основе метода наряду с математикой заложены и психологические аспекты. Он позволяет рационально структурировать проблему принятия решений в виде иерархии, сравнить и выполнить количественную оценку альтернативных вариантов решения.

Модификация этого метода, называемая «упрощенным» МАИ – УМАИ [12], позволяет получить схожие результаты при меньшей вычислительной сложности. «Упрощение» достигается за счет снижения количества попарных сравнений в обычном МАИ с

сохранением лишь минимального набора информации, достаточного для решения поставленной задачи. Стоит отметить, что предлагаемый в этом подходе способ упрощения не единственен, и может быть выбран таким, чтобы максимально соответствовать действительности.

Теория нечетких множеств [13] позволяет представлять любую информацию в виде множества с некоторой функцией принадлежности. Эта теория активно развивается и используется в задачах проектирования и оценки сложных технических систем. Применение нечетких множеств в системе оценки приводит к использованию МАИ, учитывающего это положение. В результате метод преобразуется из МАИ и УМАИ в НМАИ и НУМАИ соответственно.

В системе эргономического обеспечения создаваемых образцов авиационной техники особое место занимает эргономическая экспертиза (ЭЭ). Она представляет собой комплекс научно-технических и организационно-методических мероприятий по оценке степени соответствия эргономических характеристик ИУП кабин ЛА эргономическим требованиям.

Целью ЭЭ является повышение эффективности разрабатываемого авиационного комплекса путем контроля выполнения эргономических требований с учетом характеристик летчика, бортового оборудования и параметров среды.

Для сложных антропоцентрических объектов, задача ЭЭ требует тщательного анализа целей, путей и средств их достижения, оценки влияния различных факторов в целях повышения эффективности проектирования.

## **2. Оценка рабочих мест экипажа и внутрикабинных интерфейсов**

Интегральная оценка обобщает результаты оценок эргономических требований, полученных численными методами, измерением физических величин и методом экспертных оценок. При проведении автоматизированной эргономической экспертизы [14] возникает ряд частных задач:

- оценка глазодвигательной активности при выполнении экспериментов;
- оценка человеко-машинного интерфейса и информационных моделей в системе «летчик–самолет»
- оценка психологической загруженности экипажа;
- оценка показателей кабиной эргономики (обзор и досягаемость);

– оценка функционального состояния летчика.

### *2.1. Оценка глазодвигательной активности*

Получение экспериментальных данных при помощи технологии компьютерной окулографии является одним из ключевых методов экспериментальной оценки эргономических решений в части организации деятельности летного экипажа на режимах общего самолетовождения (ОСВ) и применения по назначению.

Оценка комплексного использования информации на индикаторах по структуре (циклограмме) сбора информации летчиком проводится посредством видеорегистрации направления взгляда летчика с использованием специальной аппаратуры.

При статистической обработке данных рассчитываются следующие показатели:

- процент времени в зоне относительно общего времени выполнения режима (%);
- среднее время одной фиксации в данной зоне (с);
- частота фиксаций в зоне (1/мин);
- наиболее часто используемые маршруты перемещения взгляда (1/мин).

### *2.2. Оценка человеко-машинного интерфейса и информационных моделей в системе «летчик – самолет»*

Рассматривая эргономические характеристики человеко-машинного интерфейса (ЧМИ), следует отметить следующие аспекты:

- принципы построения интерфейса;
- элементы интерфейса;
- уровни иерархии действий; область команд;
- область функциональных клавиш;
- объекты поля выбора;
- полнота выполнения эргономических требований к ЧМИ.

По показателю полноты реализации эргономических требований ЧМИ должен соответствовать заданным эргономическим требованиям.

При эргономической оценке информационной модели летчика анализируются состав отображаемой информации, ее организация, информативность и стереотипность.

### *2.3. Оценка психологической загруженности экипажа*

Проверка алгоритмов загруженности операторов осуществляется экспериментальным методом, который используется для измерения времен выполнения операций и задач. Оценка осуществляется с использованием расчетных

процедур. На всех этапах разработки контролируются показатели, регламентируемые нормативными документами. К ним относятся: коэффициент темповой напряженности (Кт) и коэффициент загрузки оператора (Кз).

Основным методом определения является экспериментальный. При невозможности применения экспериментального метода для определения Кз и Кт используют косвенный путь регистрации временных составляющих показателей и вычисления их по формулам.

#### *2.4. Оценка показателей кабиной эргономики (обзор и досягаемость)*

Расчет размеров зон функциональной досягаемости средств индикации и ОУ проводится с использованием специальной программы с учетом типа ОУ и значения границ функциональной досягаемости правой и левой руки, определяемых на основании антропометрических характеристик операторов в соответствии с нормативными требованиями.

#### *2.5. Оценка функционального состояния летчика*

Включение в состав стенда специального медицинского оборудования является основным отличием такого стенда от примеров подобного оборудования. Оно позволяет проводить комплексную оценку функционального состояния летчика при выполнении заданных задач. К контролируемым параметрам функционального состояния можно отнести:

- контроль частоты пульса;
- контроль частоты дыхания;
- контроль степени психофизиологической напряженности;
- контроль электрической проводимости кожи.

Для оценки величины психоэмоционального напряжения и тяжести труда в целом, исследуются не только реакции сердечно-сосудистой системы, но и дыхания, а также электрической проводимости кожи. Для оценки дыхания используются показатели частоты дыхания, и параметры минутного объема дыхания, характеризующие величину энергетических затрат, отражающих динамическую нагрузку на вегетативные функции.

### **3. Информационное и техническое обеспечение работ**

Проводимые работы, как по проектированию, так и по оценке результатов требуют серьезной информационной поддержки. Информационное обеспечение

работ складывается из наличия средств вычислительной техники и специального программного обеспечения в соответствии со всеми предъявляемыми задачами.

Информационное обеспечение проводимых проектных и исследовательских работ представляет собой специализированную базу данных и программно-алгоритмическое обеспечение, реализующее методы получения первичной информации, способы обработки данных, полученных экспериментальными и экспертными методами и способы представления результатов проводимых работ. Пример подобной структуры базы данных описан в работе [15].

Обработка больших массивов данных ведется с помощью метода анализа иерархий и статистическими методами обработки экспериментальных данных [16].

На различных этапах эргономического проектирования целесообразно использовать такое оборудование, как очки виртуальной реальности, лазерный дальномер, аппаратно-программный комплекс «Ромашка» [17], оборудование Neuroplay, «Энцефалан», Tobii Pro Glasses3 и т.п.

#### **Выводы**

Применение поэтапного метода проектирования авиационной техники приводит к выводу о необходимости оптимизации как обозначенных аспектов функционирования авиационных систем, так и работ по их проектированию.

Предложенный поэтапный метод проектирования кабины и внутрикабинного интерфейса, включающий учет эргономических требований на каждом этапе создания перспективной авиационной техники, позволяет увеличить число рассматриваемых вариантов построения информационно-управляющего поля кабины и выбрать оптимальный вариант. В результате применения данной технологии появляется практическая возможность осуществления «сквозного» инженерно-психологического и эргономического проектирования. Предоставляется возможность поэтапного контроля и оценки параметров, влияющих на показатели эргономичности.

Полный цикл выполняемых работ проводится благодаря всестороннему обеспечению работ – организационному, методическому, материально-техническому, информационному, программно-алгоритмическому.

Использование уникального по своему составу и возможностям оборудования позволяет наиболее эффективно организовать процесс создания кабины экипажа, создавая при этом перспективные изделия авиационной техники, обладающие высокой эффективностью вследствие оптимального решения задачи взаимодействия в системе «летчик–самолет».

Перспективы развития рассматриваемого метода инженерно-психологического проектирования связаны с повышением степени автоматизации внутрикабинных интерфейсов. Адаптивные пользовательские интерфейсы могут предоставить выгодные решения для широкого спектра авиационных

приложений с искусственным интеллектом. Их способность адаптироваться к разным моделям взаимодействия с экипажем и достигать более персонализированное взаимодействие может привести к повышению эффективности и производительности авиационного комплекса в целом. Благодаря использованию методологии машинного обучения возможен анализ особенностей взаимодействия разных операторов в реальном времени, а также в подготовке пилотов на тренажёрах, с формированием индивидуального профиля летчика [18],[19].

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Смирнов Б.А., Гулый Ю.И.** Инженерно-психологическое и эргономическое проектирование. Х.: Изд-во Гуманитарный центр, 2010. 380 с. ISBN 978-966-8324-67-3.
2. **Харитонов В.В., Серёгин С.Ф.** Эргономические недостатки кабин самолётов как факторы риска безопасности полётов // Вопросы безопасности. 2017. № 5. С. 1-11. EDN ZQPWBF.
3. **Карпов А.А., Юсупов Р.М.** Многомодальные интерфейсы человека-машинного взаимодействия // Вестник Российской академии наук. 2018. Т. 88, № 2. С. 146-155. DOI 10.7868/S0869587318020056. EDN YSEQOH.
4. **Себряков Г.Г., Корсун О.А., Лаврова Г.А.** Современные аудиотехнологии в информационно-управляющем поле кабины пилота М.: ИД Академии Жуковского, 2021. 360 с. ISBN 978-5-907490-26-0. EDN URVTXG.
5. **Демидов А.А., Жегалло А.В.** Оборудование SMI для регистрации движений глаз: тест-драйв // Экспериментальная психология. 2008. № 1. С. 149–159. EDN KYXPKH.
6. **Лунев Д.В., Полетыкин С.К., Кудрявцев Д.О.** Нейроинтерфейсы: обзор технологий и современные решения // Современные инновации, системы и технологии. 2022. Т. 2. № 3. С. 117–126. DOI 10.47813/2782-2818-2022-2-3-0117-0126. EDN VVYXIA.
7. **Itsueli A.E., Kamba J., Kamba J., Alba-Flores R.** Drone Control Using Electroencephalogram (EEG) Signals. SoutheastCon 2022. IEEE, 2022, p. 87–88. DOI 10.1109/southeastcon48659.2022.9764002.
8. **Левин Д.Н.** Методы оценки рабочего места экипажа в процессе проектирования кабины перспективного авиационного комплекса // Computational nanotechnology. Т.6. №2. 2019. С.95-100. DOI 10.33693/2313-223X-2019-6-2-95-1. EDN UJMGAA.
9. **Сергеев С.Ф.** Обучающие и профессиональные иммерсивные среды. М.: Народное образование, 2009. 432 с. ISBN 978-5-87953-256-2.
10. **Коваленко П.А., Пономаренко В.А., Чунтул А.В.** Учение об иллюзиях полета. Основы авиационной делиологии. М.: Институт психологии РАН, 2007. 461 с. ISBN 978-5-9270-0121-7.
11. **Саати Т.** Принятие решений. Метод анализа иерархий. Перевод с английского Р.Г. Вачнадзе. М.: «Радио и связь», 1993. 320 с. ISBN 5-256-00443-3.
12. **Ногин В.Д.** Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки

#### REFERENCES

1. **Smirnov B.A., Guly Yu.I.** Engineering-Psychological and Ergonomic Design. Kharkov: Humanitarian Centre; 2010. 380 p.
2. **Kharitonov V.V., Seregin S.F.** Ergonomic Deficiencies in the Cabin of the Aircraft as a Safety Risk. Security Issues. 2017;5:1-11.
3. **Karpov A.A., Yusupov R.M.** Multimodal Interfaces of Human-Computer Interaction. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2018;88(2): 146-155. DOI 10.7868/S0869587318020056.
4. **Sebryakov G.G., Korsun O.A., Lavrova G.A.** Modern Audio Technologies in Cockpit Information and Control Field. Moscow: Zhukovsky Academy Publishing House; 2021. 360 p.
5. **Demidov A.A., Zhegallo A.V.** SMI Equipment or Eye Movement Registration: A Test Drive. Experimental Psychology. 2008;1:149-159.
6. **Lunev D.V., Poletykin S.K., Kudryavtsev D.O.** Brain-Computer Interfaces: Technology Overview and Modern Solutions. Modern Innovations, Systems and Technologies. 2022;2(3):117-126. DOI 10.47813/2782-2818-2022-2-3-0117-0126.
7. **Itsueli A.E., Kamba J, Kamba J, Alba-Flores R.** Drone Control Using Electroencephalogram (EEG) Signals. In: Proceedings of IEEE SoutheastCon 2022: 2022, p. 87-88. DOI 10.1109/southeastcon48659.2022.9764002.
8. **Levin D.N.** Crew Workplace Evaluation Methods in the Cockpit Design Process of Perspective Aviation Complex. Computational Nanotechnology. 2019;6(2):95-100. DOI 10.33693/2313-223X-2019-6-2-95-1.
9. **Sergeev S.F.** Educational and Professional Immersive Environments. Moscow: Narodnoe Obrazovanie; 2009. 432 p.
10. **Kovalenko P.A., Ponomarenko V.A., Chuntul A.V.** The Doctrine About Flight Illusions. Fundamentals of Aviation Delialogy. Moscow: Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences; 2007. 461 p.
11. **Saati T.** Decision-making. Method of Hierarchy Analysis. Vachnadze R.G., translator. Moscow: Radio I Svyaz; 1993. 320 p.
12. **Nogin V.D.** A Simplified Version of the Hierarchy Analysis Method Based on Nonlinear Convolution of

критериев // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2004. Т. 44, № 7. С. 1261-1270. EDN XMDDBJ.

13. **Заде Л.** Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 166 с.

14. **Левин Д.Н., Пономаренко А.В., Цигин Ю.П.** Автоматизация процессов эргономической экспертизы информационно-управляющего поля кабины перспективного самолета // Мехатроника, автоматизация, управление. 2020. Т. 21. № 8. С. 489-496. DOI 10.17587/mau.21.489-496. EDN BRBWV.

15. **Grif M.G., Zhurkin P.A., Levin D.N., Tereshchenko P.V.** Information System for Ergonomic Assessment of a Perspective Maneuverable Aircraft Cockpit. Proceedings of the 2021 15th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2021 : 15, Novosibirsk, 19–21 ноября 2021 года. Novosibirsk, 2021, p. 610-615. DOI 10.1109/APEIE52976.2021.9647651. EDN XGNVRE.

16. **Сидоренко Е.В.** Методы математической обработки в психологии. СПб.: Речь, 2010. 350 с. ISBN 5-9268-0010-2.

17. **Кукушкин Ю.А., Пономаренко А.В., Цигин Ю.П. и др.** Резервы внимания летчика как оценка процесса подготовки на авиационном тренажере // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. 2007. № 1-1(38). С. 59-64. EDN LGLAWJ.

18. **Сергеев С.Ф., Левин Д.Н., Игнатов А.Г.** Искусственный интеллект в адаптивных внутрикабинных интерфейсах // Эргодизайн. 2023. № 4(22). С. 350-359. DOI 10.30987/2658-4026-2023-4-350-359. EDN YKFOVS.

19. **Собченко А.М.** Формирование образа пространственного положения с учетом ускорений при тренажерной подготовке пилотов // Эргодизайн. 2023. № 2(20). С. 179-187. DOI 10.30987/2658-4026-2023-2-179-187. EDN DMUGKJ.

Criteria. Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2004;44(7):1261-1270.

13. **Zade L.** The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning. Moscow: Mir; 1976. 166 p.

14. **Levin D.N., Ponomarenko A.V., Tsigin Yu.P.** Automation of Ergonomic Expertise of the Information Management and Cockpit Management of a Promising Aircraft. Mechatronics, Automation and Control. 2020;21(8):489-496. DOI 10.17587/mau.21.489-496.

15. **Grif M.G., Zhurkin P.A., Levin D.N., Tereshchenko P.V.** Information System for Ergonomic Assessment of a Perspective Manoeuvrable Aircraft Cockpit. In: Proceedings of the 2021 15th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE 2021); 2021 Nov 19-21; Novosibirsk: 2021. p. 610-615. DOI 10.1109/APEIE52976.2021.9647651.

16. **Sidorenko E.V.** Methods for Mathematical Processing in Psychology. Saint Petersburg: Rech; 2010. 350 p.

17. **Kukushkin Yu.A., Ponomarenko A.V., Tsigin Yu.P., et al.** The Pilot's Attention Reserves as an Assessment of the Training Process on a Flight Simulator. Human Factor: Problems of Psychology and Ergonomics. 2007;1-1(38):59-64.

18. **Sergeev S.F., Levin D.N., Ignatov A.G.** Artificial Intelligence in Adaptive In-Cab Interfaces. Ergodesign. 2023;4(22):350-359. DOI 10.30987/2658-4026-2023-4-350-359.

19. **Sobchenko A.M.** Forming the Spatial Position Image Considering Accelerations in Pilots' Simulator Training. Ergodesign. 2023;2(20):179-187. DOI 10.30987/2658-4026-2023-2-179-187.

#### Информация об авторах:

**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.

#### Information about the authors:

**Levin Dmitry Nikolaevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Aircraft Design and Certification at Moscow Aviation Institute (National Research University), the author's international identification numbers: Scopus-Author ID: 57215311175, Research-ID-Web of Science: IVV-2488-2023, Author-ID-RSCI: 1020784

**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 15.10.2024; одобрена после рецензирования 30.10.2024; принята к публикации 31.10.2024. Рецензент – Сергеев С.Ф., доктор психологических наук, профессор СПбГУ, зав. НИЛ "Эргономика сложных систем" СПбПУ Петра Великого, член редакционного совета журнала «Эргодизайн»**

**The paper was submitted for publication on the 15<sup>th</sup> of October 2024; approved after the peer review on the 30<sup>th</sup> of October 2024; accepted for publication on the 31<sup>st</sup> of October 2024. Reviewer – Sergeev S.F., Doctor of Sciences (Psychology), Professor of Saint Petersburg State University, Head of the Ergonomics of Complex Systems Laboratory of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, member of the editorial board of the journal "Ergodesign".**