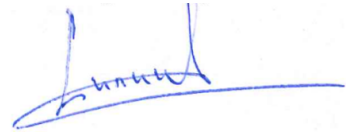


На правах рукописи



УДК: 681.518.3+629.5.05+004.051

Силин Никита Денисович

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ
ДЛЯ ЗАДАЧ ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ
СТАТИЧЕСКОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
БОРТОВЫХ СИСТЕМ**

Специальность 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка
информации, статистика (технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. Москва, 2024 г.

Работа выполнена на кафедре 703 «Системное проектирование авиаконструкций» Института №7 «Робототехнические и интеллектуальные системы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ).

Научный руководитель: **Неретин Евгений Сергеевич**

кандидат технических наук, доцент, филиал публичного акционерного общества «Яковлев» – Центр комплексирования, начальник отдела систем самолетовождения; федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», заведующий кафедрой 703 «Системное проектирование авиаконструкций», начальник НИО-703

Официальные оппоненты: **Киселев Сергей Константинович**

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет», заведующий кафедрой «Измерительно-вычислительные комплексы», директор департамента информационных технологий

Пономаренко Андрей Владимирович

доктор технических наук, профессор, заместитель главного конструктора опытно-конструкторского бюро по техническим системам обучения, публичное акционерное общество «Объединенная авиастроительная корпорация» – «ОКБ им. А. И. Микояна»

Ведущая организация:

Акционерное общество «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения», 432071, г. Ульяновск, ул. Крымова, д.10а

Защита диссертации состоится 26 декабря 2024 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 24.2.327.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МАИ по ссылке: https://mai.ru/events/defence/?ELEMENT_ID=182898.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2024 г.

Отзывы на автореферат диссертации, заверенные печатью организации, просьба направлять по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, Отдел подготовки кадров высшей квалификации.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.2.327.03, д. т. н., доцент



А. В. Старков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Большинство авиационных происшествий в мире обусловлено влиянием человеческого фактора, возникающего в процессе взаимодействия пилотов с большим объемом графической информации (ГИ), одновременно представленной на бортовых системах отображения информации (СОИ). Интуитивно непонятное и перенагруженное представление ГИ может затруднить ее понимание, что будет способствовать развитию неблагоприятной ситуации во время полета.

При разработке ГИ особое внимание уделяется наполнению и визуальным свойствам ее статических элементов (элементы выбора и переключения данных, поля ввода, выпадающие панели и списки и др.), поскольку они являются основным интерактивным слоем человеко-машинного взаимодействия при управлении ВС. Данная статическая ГИ индицируется на СОИ непрерывно и без изменения характеристик отображения на всех этапах полета ВС.

На начальном этапе эргономической компоновки весьма трудоемко учесть в единственном варианте исполнения все тонкости оптимального представления статической ГИ. Для этого создается множество альтернатив, учитывающих различную логику отображения интерактивных элементов, их расположение и визуальные свойства. Для идентификации наилучшей альтернативы среди предложенных необходимо проводить эргономическую оценку эффективности. Существующие подходы предоставляют широкие возможности, однако направлены на исследование точечных аспектов представления ГИ, что не позволяет осуществить комплексный анализ эффективности; предлагают проведение экспертной оценки (ЭО), основанной на субъективных предпочтениях экспертов и требующей значительных временных ресурсов на формирование компетентной экспертной группы, сбор и формализацию ЭО; базируются на использовании интегральных комплексов, являющихся дорогостоящими и требующих временных затрат на настройку оценочных процедур, которые могут отличаться для различных альтернатив.

Определение наилучшей альтернативы статической ГИ, лежащей в основе разрабатываемой СОИ, является критически важным аспектом, поскольку потенциальные ошибки в принятии неоптимальных решений на раннем этапе разработки могут привести к увеличению финансовых и временных затрат на доработку ГИ, а при внедрении данной альтернативы на борт ВС отрицательно повлиять на человеко-машинное взаимодействие в процессе управления, снижая уровень безопасности полета. Для выявления наилучшего варианта в условиях многокритериальности используются методы поддержки принятия решений.

При существующем многообразии методов присутствует сложность в выборе такого, который позволит повысить эффективность принятия решения путем минимизации субъективного влияния на результаты сравнительной оценки, проявляющегося в процессах назначения весовых коэффициентов и

индексов согласия, согласования экспертных мнений, построения функции полезности и т. д., а также сокращения времени на его применение. Выбор метода, требующего значительных ресурсов при его использовании или сложного для восприятия лицом, принимающим решение (ЛПР), результатам которого он не будет доверять, может значительно усложнить процесс принятия решения.

В связи с непрерывным ростом объема статической ГИ, необходимой для предоставления пилотам во время полета, тогда как их психофизиологические способности ограничены, представляется актуальной задачей разработка системы поддержки принятия решения (СППР), позволяющей автоматизировано идентифицировать наилучшую альтернативу статической ГИ среди разработанного множества, на основании комплексной эргономической оценки эффективности по формализованным критериям, тем самым повысив уровень безопасности полета.

Степень проработанности темы исследования. В развитие направления оценки эффективности графических интерфейсов существенные вклад внесли С. Уэйншек, В. М. Алефиренко, Д. Раскин, А. А. Харкевич, Б. С. Горячкин, В.В. Диковицкий, А. С. Звенигородский. А. Купер, В. Головач, Р. Торес, С. Ф. Сергеев, Ю. Г. Емельянова., А. В. Вострых., И. А. Пономарев, С. Е. Shannon, К. S. Park, V. L. Hartley, C. Stickel, M. Ebner. Исследованию теории и методов многокритериального выбора и принятия решений посвящены работы авторов С. А. Пиявского, В. В. Малышева, С. И. Голубева, К. И. Сыпало, Д. А. Разумова, Т. Саати, Б. Руа, В. Парета, О. И. Ларичева, Д. В. Панова, П. Фишберна, Ю. Б. Гемейера, В. В. Подиновского.

Цель диссертационной работы – повышение уровня безопасности полетов за счет выявления наилучшего варианта исполнения статической ГИ бортовых систем на основании комплексной эргономической оценки эффективности.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены **задачи**:

1. анализа бортовых СОИ и предъявляемых к ним эргономических требований;
2. анализа современных подходов, методов и средств оценки эффективности статической ГИ бортовых систем;
3. разработки архитектуры СППР, обеспечивающую автоматизированную комплексную эргономическую оценку статической ГИ бортовых систем и поддержку принятия решения ЛПР по определению наилучшей альтернативы;
4. анализа существующих критериев эргономической оценки статической ГИ и формирования формализованных оценочных критериев для комплексной эргономической оценки эффективности статической ГИ бортовых систем;
5. разработки методического и алгоритмического обеспечения комплексной оценки эффективности статической ГИ, учитывающей визуальные

характеристики, пространственно-временные характеристики и учет психологических принципов при проектировании статической ГИ;

6. анализа часто применяемых методов поддержки принятия решения в задачах многокритериального выбора;

7. разработки методического и алгоритмического обеспечения поддержки принятия решений ЛПР для задач многокритериального сравнения и приоритизации альтернативных вариантов статической ГИ по результатам эргономической оценки;

8. разработки и тестирования программного обеспечения (ПО), реализующего предложенные алгоритмы, позволяющее моделировать работу СППР;

9. оценки эффективности предложенного решения.

Объект исследования – бортовые СОИ гражданского ВС.

Предмет исследования – методическое и алгоритмическое обеспечение, предназначенные для проведения комплексной эргономической оценки эффективности статической ГИ бортовых систем и сравнительной оценки альтернативных вариантов.

Методология и методы исследования: системный анализ, теория принятия решения в задачах многокритериального выбора, методы ЭО, комбинаторики, теории проектирования сложных технических систем (информационных), теории вероятностей, инженерной психологии и эргономики.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработана новая методика оценки эффективности статической ГИ бортовых систем, базирующаяся на формализованном определении количественных эргономических показателей по независимым направлениям: визуальные характеристики, пространственно-временные характеристики, учет психологических принципов при проектировании ГИ; в методике присутствует перечень оценочных критериев, впервые предложенных для оценки статической ГИ бортовых систем.

2. Разработано алгоритмическое обеспечение для решения задач поддержки принятия решений ЛПР, основанное на методе уверенных суждений ранее не использовавшегося для многокритериальной оценки альтернатив статической ГИ бортовых систем, позволяющее ранжировать альтернативы по вероятности их доминирования над остальными при учете всего множества способов учета неопределенностей.

3. Разработана архитектура СППР, обеспечивающая автоматизированные расчет эргономической оценки эффективности статической ГИ бортовых систем в соответствии с предложенной методикой, и поддержку принятия решения ЛПР на основании эргономических показателей с применением метода уверенных суждений, позволяющая снизить временные затраты и субъективное влияние на

результаты сравнительной оценки; анализ предметной области позволяет утверждать, что подобные решение в настоящее время отсутствуют.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика эргономической оценки эффективности статической ГИ бортовых систем, базирующаяся на формализованном определении количественных эргономических показателей по независимым направлениям: визуальные и пространственно-временные характеристики, учет психологических принципов при проектировании ГИ.

2. Алгоритмическое обеспечение для решения задач поддержки принятия решений ЛПР, основанное на методе уверенных суждений ранее не использовавшегося для многокритериальной оценки альтернатив статической ГИ бортовых систем, позволяющее ранжировать альтернативы по вероятности их доминирования над остальными при учете всего множества способов учета неопределенностей.

3. Архитектура СППР, обеспечивающая автоматизированные расчет эргономической оценки эффективности статической ГИ бортовых систем в соответствии с предложенной методикой и поддержку принятия решения ЛПР на основании эргономических показателей с применением метода уверенных суждений, позволяющая снизить субъективное влияние на результаты сравнительной оценки.

4. Результаты моделирования СППР, подтвердившие достоверность полученных работе теоретических выводов.

Практическая значимость работы. Применение результатов диссертационной работы позволяет повысить уровень безопасности полетов за счет автоматизированного выявления наилучшего варианта представления статической ГИ бортовых систем на основании комплексной эргономической оценки эффективности, позволяющего снизить временные затраты и количество ошибочных действий пилотов при взаимодействии со статической ГИ в процессе выполнения полетного задания. Предложенное решение подходит для статической ГИ всех типов бортовых СОИ, которые сочетают в себе концепцию интегрированной модульной авионики и использование при проектировании функции отображения ГИ авиационного стандарта ARINC 661.

Достоверность результатов подтверждается корректным применением математического аппарата и их экспериментальной проверкой.

Внедрение результатов. Основные полученные результаты внедрены в работу филиала ПАО «Яковлев» – Центр комплексирования по проекту «Разработка комплекса бортового радиоэлектронного оборудования самолета МС-21», ООО «Д С «БАРС» по проекту «Разработка комплекса бортового оборудования для среднемагистрального самолета SJ-100» и в учебный процесс на кафедре 703 «Системное проектирование авиакomплексов» Института №7

«Робототехнические и интеллектуальные системы» МАИ, что подтверждается соответствующими актами о внедрении.

Апробация работы. Основные положения работы апробированы на следующих конференциях: XLVII Международная молодежная научная конференция «Гагаринские чтения» (Россия, г. Москва, 2021 г.); 13-й Всероссийский конкурс «Молодежь и будущее авиации и космонавтики» (Россия, г. Москва, 2021 г.); X Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации» (Россия, г. Иркутск, 2021 г.); 20-я Международная конференция «Авиация и космонавтика» (Россия, г. Москва, 2021 г.); XI Национальная научно-техническая конференция «Союз машиностроителей России» (Россия, г. Москва, 2021 г.); XLVIII Международная молодежная научная конференция «Гагаринские чтения» (Россия, г. Москва, 2022 г.); XI Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации» (Россия, г. Иркутск, 2022 г.); 14-й Всероссийский конкурс «Молодежь и будущее авиации и космонавтики» (Россия, г. Москва, 2022 г.); 21-я Международная конференция «Авиация и космонавтика» (Россия, г. Москва, 2022 г.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы полностью отражены в 3 статьях в журналах, рекомендованных Перечнем ведущих периодических изданий ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, 2 публикациях в базе данных Scopus, 11 тезисов в изданиях, индексируемых в Российском индексе научного цитирования.

Личный вклад соискателя. Все представленные в диссертации положения получены и изложены лично автором, включая теоретические выводы, практические решения, методическое, алгоритмическое и программное обеспечения, результаты тестирования и оценки эффективности.

Структура и объем работы. Диссертация включает в себя введение, четыре основных раздела, заключение, список используемой литературы, список сокращений и условных обозначений. Общий объем работы составляет 204 страниц, включая 34 рисунков, 12 таблиц, 137 формул. Список использованных источников содержит 160 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражены актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы цель и задачи диссертации, определены объект, предмет, и методы исследования. Также указаны сведения о внедрении и апробации полученных результатов, изложены структура и содержание работы по главам.

В первой главе проведен анализ бортовых СОИ и предъявляемых к ним эргономических требований. Выявлено, что большинство эргономических положений из руководства «Р-25-11А» по сертификации систем электронной

индикации самолетов транспортной категории и ИКАО 9806 «Основные принципы учета человеческого фактора по проведению проверок безопасности полета» имеют качественный характер. Помимо этого, документация предлагает возможные, а не единственные решения. Поскольку разработчики ГИ могут не обладать опытом в области эргономической экспертизы, использование данных положений может привести к созданию неэффективных решений, что увеличит временные и финансовые затраты на корректировку альтернативы, а также негативно повлияет на человеко-машинное взаимодействие при управлении ВС, понизив уровень безопасности полетов.

Кроме того, в первой главе проведен анализ применяемых подходов, методов и средств оценки эффективности статической ГИ бортовых систем. Показано, что большинство известных на текущий момент решений основаны:

1. на привлечении экспертов. Подход требует значительных временных затрат на формирование компетентной экспертной группы, сбор и обработку полученных ЭО, которые в большей степени носят субъективный характер;
2. на расчетах точечных критериев, не позволяющих провести комплексный анализ эффективности представления статической ГИ, или на косвенно связанных с ней критериях (например, оценка эффективности по частоте сердечных сокращений пилота или глазодвигательной активности пилота);
3. на выявлении соответствия процесса разработки нормативной документации, результаты которого не отражают непосредственно эффективность представления статической ГИ.

Рассмотрены подходы, основанные на положениях руководства «Р-4754А» и квалификационных требований «КТ-178С». Далее результаты рассмотрения:

1. использование интегральных комплексов является эффективным способом верификации ГИ, но требует больших финансовых затрат на приобретение ПО, а также может нуждаться в специализированных настройках для проведения оценки, которые могут отличаться для различной реализации ГИ и требовать существенных временных затрат на выбор подходящих;
2. методы инспекции и рассмотрения основаны на экспертизе статической ГИ с использованием контрольных проверочных перечней (КПП), большая часть которых направлена на проверку соблюдения процесса разработки. Привлечение экспертов является субъективным и времязатратным подходом;
3. методы анализа, тестирования или демонстрации позволяют определить соответствие свойств ГИ, предъявляемых к ней требованиям. Существующие решения преимущественно нацелены на определение отдельных аспектов системного уровня (например, корректность и скорость передачи информации) и не охватывают эффективность всей ГИ сразу;
4. метод моделирования позволяет провести оценку параметров ГИ на ранних этапах разработки, однако результаты такого тестирования существенно зависят от поведения модели и требуют разработки сложного математического

доказательства формальной модели, что предполагает значительные временные затраты.

Сформированы выводы об отсутствии комплексного подхода к эргономической оценке эффективности статической ГИ и недостаточности функциональности существующих решений. Таким образом, разработка СППР, позволяющей повысить уровень безопасности полета за счет автоматизированного определения наилучшей альтернативы статической ГИ бортовых систем, уменьшающей временные затраты и количество ошибочных действий пилотов, на основе комплексной эргономической оценки эффективности, является актуальной задачей.

Во второй главе разработана архитектура СППР для выявления наилучшей альтернативы статической ГИ по результатам оценки эффективности (рисунок 1), состоящая из модуля обработки исходных данных (ИД), расчетного модуля эргономических характеристик и модуля поддержки принятия решения (МППР). Описаны ее функции, методическое и алгоритмическое обеспечение. Разработанные модули решают следующие задачи:

1. обрабатывают ИД в виде структуры файла определения (ФО) пользовательского приложения (ПП) альтернативы ГИ;
2. производят автоматизированный расчет эргономических характеристик по направлениям: визуальные и пространственно-временные характеристики, учет психологических принципов при проектировании ГИ;
3. осуществляют поддержку принятия решения в определении наилучшей реализации статической ГИ и приоритизации всех существующих альтернатив;
4. формируют результаты работы СППР для итогового принятия решения.



Рисунок 1. Архитектура системы поддержки принятия решения

Основная функция *модуля обработки ИД* – обработка данных из структур ФО альтернатив ГИ и последующая их передача в расчетный модуль. Входными данными для текущего модуля являются двоичные ФО, описывающие структуру

графического интерфейса всей СОИ, реализованных в соответствии требованиям авиационного стандарта ARINC 661.

Основная функция *расчетного модуля* – при получении ИД осуществлять автоматизированную комплексную эргономическую оценку эффективности по формализованным критериям и передачу результатов данной оценки в МППР.

Важно отметить, что диссертационная работа направлена на исследование статических элементов ГИ, которые непрерывно отображаются на СОИ, и их конфигурация и визуальные свойства не изменяются в зависимости от этапа полета ВС. Динамическая ГИ и ее свойства, например, частота обновления данных, коррелирующая с этапом полета, в исследовании не рассматривается.

Для определения частных показателей эффективности проведен сравнительный анализ существующих эргономических критериев. Выявлено, что применение большинства нецелесообразно или невозможно по причине их неформализованности, анализа свойств функционального ПО, обладающего графической реализацией, а также вследствие наличия авиационных требований, ограничивающих возможности инженеров в применении ряда подходов.

На основе проведенного анализа определены принятые на практике эргономические показатели эффективности, подходящие под оценку статических элементов ГИ. Данный перечень дополнен ранее не используемыми для оценки эффективности статической ГИ бортовых систем критериями оценки унификации визуальных свойств статических элементов в соответствии с авиационными эргономическими положениями (анализ количества используемых визуальных стилей, цветовых решений, шрифтов, способов выравнивания текстовой информации относительно центра элемента), а также анализа учета психологических принципов когнитивной теории восприятия информации (принципы «Предварительная подготовка» – анализ использования авиационной терминологии в соответствии с ИКАО 8400 «Сокращения и коды», «Пространственное примыкание» и «Временное примыкание» – анализ пространственного расположения иконографии и соответствующего ей текста в области ясного видения пилота, временных характеристик отображения элементов, «Сигнализируемость» – анализ наличия визуальных подсказок, реализованных на статической ГИ). Предлагается комплексная методика оценки эффективности по независимым направлениям: *Пространственно-временные характеристики* («Управляемость», «Визуальная простота», «Сложность информационного (зрительного) поиска», «Предсказуемость», «Поисково-информационная нагрузка», «Поисковая активность информации»); *Визуальные характеристики* («Геометрическое соответствие», «Унификация»); *Психологические принципы* («Когнитивная нагрузка», «Сигнализируемость»).

Методика, содержащая указанный перечень показателей ранее не использовалась для эргономической оценки эффективности статической ГИ на бортовых СОИ, однако ее применение позволит более по-новому, более

комплексно осуществить оценку. Таким образом, существует группа показателей эффективности $w_k, k = \overline{1, K}$, (K – общее количество показателей, равное 10). Данные частные показатели образуют векторный показатель эффективности $W = |w_k|_{K=10}$.

Работа расчетного модуля представлена в виде алгоритма, состоящего из 4 последовательных шагов (рисунок 2). При получении данных от модуля обработки ИД выполняются первые 3 шага методики, которые являются функциями расчета. Последний шаг выполняет передачу рассчитанных показателей в МППР.

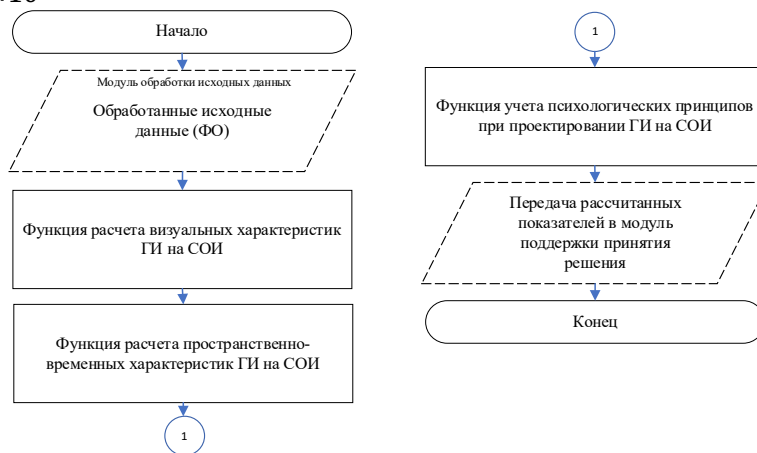


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма работы расчетного модуля

На начальных этапах работы *МППР* осуществляется проверка наличия «доминирующей» (лучшая по всем частным показателям) и «доминируемой» (худшая по всем частным показателям) альтернатив среди всего множества. В случае обнаружения «доминирующей» альтернативы, задача сравнительной оценки считается завершенной. При определении «доминируемых» дальнейшая сравнительная оценка может проводиться как на всем множестве альтернатив, так на «Парето-оптимальном» множестве «не худших» решений, у которых значения частных показателей не могут быть улучшены без ухудшения других.

Для выявления наилучшего варианта используется метод поддержки принятия решения. Анализ работ таких ученых, как Пиявский С.А., Малышев В.В., Голубев С.И., Сыпало К.И., Разумов Д.А. показывает, что методы должны:

- минимизировать влияние субъективизма на результаты сравнительной оценки, проявляющееся в процессе назначения весовых коэффициентов и индексов согласия, попарного сравнения, построения функции полезности и т.д.;
- быть понятными ЛПР, не ограничивать его возможности особенностями метода и не требовать квалификации, выходящей за рамки обычных компетенций;
- не требовать обязательного формирования экспертной группы, которая согласиться брать на себя ответственность за установку весовых коэффициентов;
- не требовать значительных временных затрат при его использовании;
- при необходимости учитывать неформализованные мнения и суждения ЛПР, возникающие в процессе анализа ГИ;
- позволить не только выявить наилучшую альтернативу, но и упорядочить все возможные варианты.

По результатам сравнительного обзора выявлено, что одним из методов, удовлетворяющий указанным условиям, является отечественный метод уверенных суждений (МУС). В основе МУС лежит часто применяемый способ скаляризации – «Линейная свертка», однако особенность данного метода состоит в том, что вместо конкретной свертки с определенной ЛПР степенью важности оценочных критериев, используется совокупность всех возможных сверток при всех возможных уникальных комбинациях весовых коэффициентов в диапазоне $[0, 1]$, которые позволяют смоделировать все множество экспертных мнений или способов учета этих мнений (неопределенностей) используя вычислительные комплексы для определения и вычисления данного множества.

Алгоритм применения метода «Уверенных суждений»:

1. Первым этапом является нормирование частных оценочных критериев $w_k(u)$, $k = \overline{1, K}$ векторного критерия W :

тренд критерия на максимум:
$$w_k(u)_{stand} = \frac{(w_k(u) - w_k(u)_{min})}{(w_k(u)_{max} - w_k(u)_{min})} \quad (1)$$

тренд критерия на минимум:
$$w_k(u)_{stand} = 1 - \frac{(w_k(u) - w_k(u)_{min})}{(w_k(u)_{max} - w_k(u)_{min})} \quad (2)$$

2. Задается дискретность шага перебора весовых коэффициентов линейной свертки a^k в диапазоне $[0, 1]$. Распределение значений a^k осуществляется путем формирования уникальных комбинаций перебора по всему возможному множеству реализаций a^k при условии « $1 - a^k$ » для дробления оставшегося диапазона.

3. Вычисление всего множества оценочных функций с учетом шага перебора весовых коэффициентов. Пример оценочной функции представлен на (3).

$$f(u) = \sum_{k=1}^K a^k w_k(u), k = \overline{1, K} \quad (3)$$

4. Осуществляется сужение множества неопределенностей за счет учета в нем уверенных суждений ЛПР первого и/или второго типа (стоит выделить, что данный шаг является не требованием МУС, а правом ЛПР, который он может пропустить):

– ЛПР имеет право сформировать различные группы важности и распределить по ним частные критерии эффективности, например, критерий №1 приоритетнее №2 (качественное сравнение).

– ЛПР имеет право сформировать пары Парето-несравнимых векторов частных критериев эффективности, при уверенности, что один лучше другого.

5. Определение рейтингов альтернативных вариантов. Основным рейтингом является «**Жесткий рейтинг**» (RG_i) – частота, с которой текущая альтернатива оказалась наилучшей при использовании всех допустимых способов учета неопределенности (оптимальный вариант имеет наиболее выигрышную оценку

при всем возможном множестве уникальных комбинациях весовых коэффициентов линейных сверток), определяемый по формуле (4).

В случае, если значения RG_i альтернатив равны нулю или оказываются близкими к равенству, МУС предлагает применение показателя «**Мягкий рейтинг**» (RM_i) – средняя сравнительная предпочтительность альтернативы по сравнению с остальными (оптимальный вариант имеет наиболее высшее среднее значение по показателям линейных сверток), определяемый по формуле (5).

$$RG_i = \frac{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^N B_{il}}{L} \quad (4) \qquad RM_i = \frac{\sum_{l=1}^L \frac{f_{in}}{\max f_{in}}}{L} \quad (5)$$

где $i \in [1, L]$, $l \in [1, N]$, N – число альтернатив, L – число вариантов реализации вектора коэффициентов линейной свертки (количество переборов). Если при расчете RG_i по результатам учета неопределенностей лучшими оказались несколько альтернатив (M), то в RG_i каждого из них в сумме в числителе добавляется $B_{il} = 1/M$, иначе не $B_{il} = 1$.

6. Принятие решение по наилучшей альтернативе.

Рейтинги, сформированные МУС, предлагают новый способ ранжирования альтернатив статической ГИ бортовых систем по вероятности их выигрыша при всех возможных способах учета неопределенности и средней сравнительной предпочтительности варианта по сравнению с остальными. Анализ предметной области свидетельствует о том, что на текущий момент МУС не применялся в составе СППР для определения наилучшей альтернативы статической ГИ бортовых систем по результатам эргономической оценки.

В третьей главе разработано алгоритмическое обеспечение модуля обработки ИД (рисунок 3), осуществляющее обработку ФО, загруженных в СППР, разработанных в соответствии со стандартом ARINC 661. При выявлении несоответствия в процессе обработки ИД модуль формирует на индикацию сообщение об ошибке, уведомляя ЛПР.

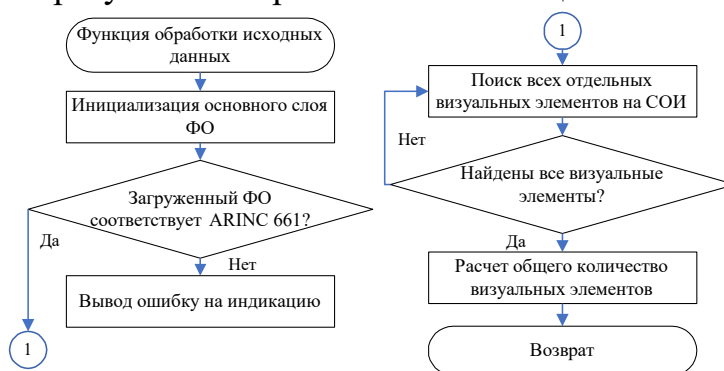


Рисунок 3. Блок-схема алгоритма работы модуля обработки ИД

Разработано алгоритмическое обеспечение комплексной методики эргономической оценки эффективности статической ГИ (рисунок 4), обеспечивающее формализованный расчет оценочных критериев по направлениям: визуальные характеристики, пространственно-временных характеристики, учет психологических принципов при проектировании визуальных элементов статической ГИ.

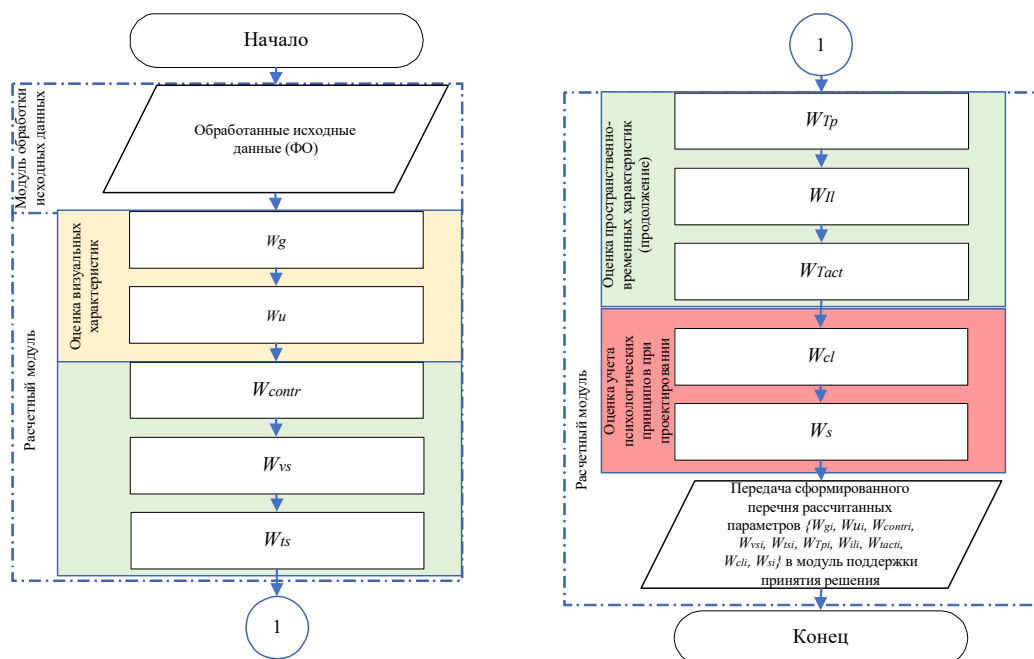


Рисунок 4. Блок-схема алгоритма комплексной оценки эффективности ГИ

Разработано алгоритмическое обеспечение МППР (рисунок 5), основанное на применении МУС для поддержки решения. Модуль осуществляет проверку наличия «доминирующей» и «доминируемых» альтернатив, выявляет наилучшую альтернативу статической ГИ и приоритизирует все множество вариантов по показателям «Жесткий рейтинг» и «Мягкий рейтинг» на основании эргономической оценки. Также МППР формирует результаты работы СППР по итогам сравнительной оценки в виде отчетной формы и предоставляет ее ЛПР.

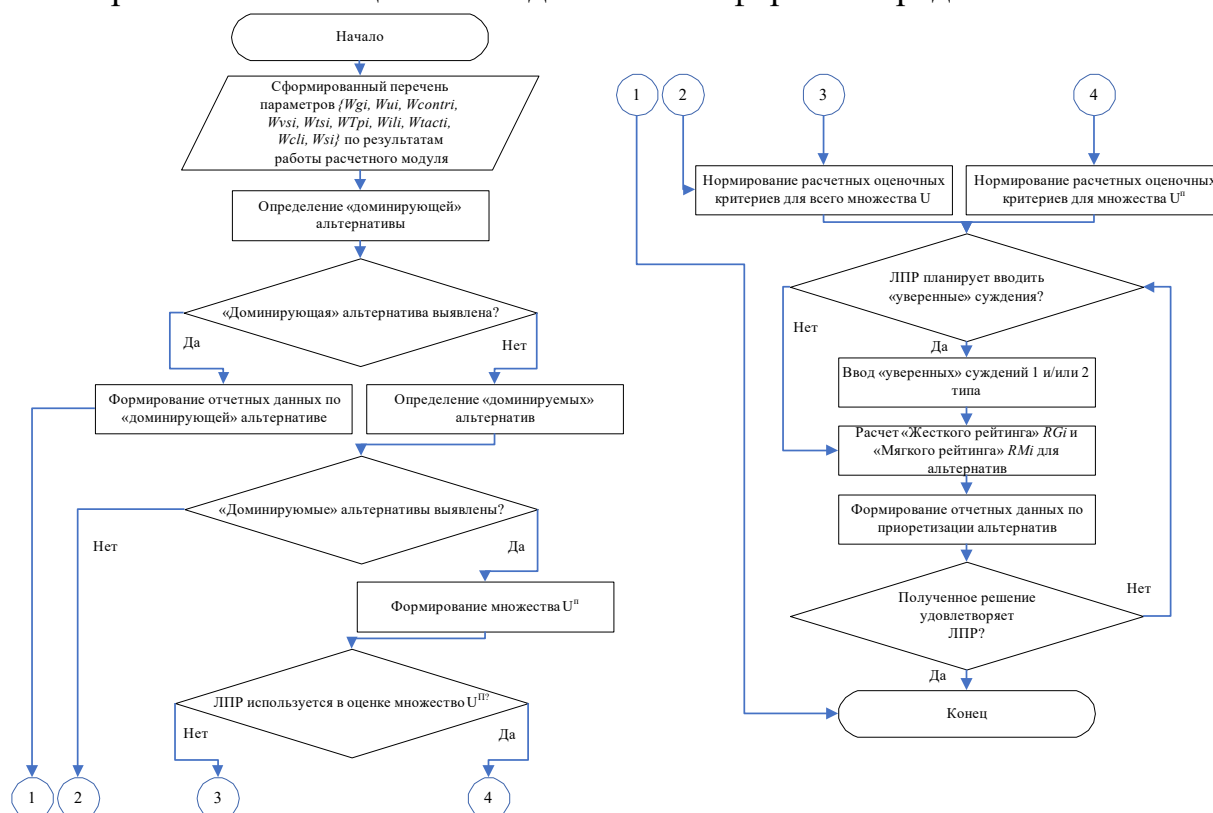


Рисунок 5. Блок-схема алгоритма поддержки принятия решения на основе метода уверенных суждений, реализованного в МППР

В таблице 1 представлен демонстрационный пример сравнительной оценки трех альтернатив ГИ с применением МУС по критериям «Управляемость» (К1) и «Визуальная простота» (К2) (критерии имеют тренд на максимум). Шаг перебора равен «0.25». Для обхода всех оценочных случаев требуется провести 5 сценариев.

Таблица 1 – Демонстрационный пример сравнительной оценки

Критерий оценки	ALT _{ГИ1}		ALT _{ГИ2}		ALT _{ГИ3}	
	К1	К2	К1	К2	К1	К2
Вычисленное значение ($w_k(u)$)	3,42	0,35	2,34	0,18	3,89	0,29
Нормированное значение ($w_k(u)_{stand}$)	0,69	1	0	0	1	0,64
Сценарий 1						
Весовые коэффициенты линейной свертки (a^k)	0	1	0	1	0	1
Значение оценочной функции ($f(u)$)	1		0		0,64	
Результат сравнения	<i>Выигрыш</i>		Проигрыш		Проигрыш	
Сценарий 2						
Весовые коэффициенты линейной свертки (a^k)	0,25	0,75	0,25	0,75	0,25	0,75
Значение оценочной функции ($f(u)$)	0,9225		0		0,73	
Результат сравнения	<i>Выигрыш</i>		Проигрыш		Проигрыш	
Сценарий 3						
Весовые коэффициенты линейной свертки (a^k)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Значение оценочной функции ($f(u)$)	0,845		0		0,82	
Результат сравнения	<i>Выигрыш</i>		Проигрыш		Проигрыш	
Сценарий 4						
Весовые коэффициенты линейной свертки (a^k)	0,75	0,25	0,75	0,25	0,75	0,25
Значение оценочной функции ($f(u)$)	0,7675		0		0,91	
Результат сравнения	Проигрыш		Проигрыш		<i>Выигрыш</i>	
Сценарий 5						
Весовые коэффициенты линейной свертки (a^k)	1	0	1	0	1	0
Значение оценочной функции ($f(u)$)	0,69		0		1	
Результат сравнения	Проигрыш		Проигрыш		<i>Выигрыш</i>	

Результаты сравнительной оценки: альтернатива «ALT_{ГИ1}» лидирует по количеству (частоте) выигрышей $RG_{ГИ1} = 0,6$ (три победы из пяти сценариев), на втором месте альтернатива «ALT_{ГИ3}» $RG_{ГИ3} = 0,4$ (две победы из пяти сценариев), на третьем месте альтернатива «ALT_{ГИ2}» $RG_{ГИ2} = 0$ (ноль побед из пяти сценариев). Как было указано ранее, выигрыш в каждом сценарии сравнительной оценки определяется на основе значений оценочной функции.

Для реализации разработанных алгоритмов создано ПО на платформе «Microsoft Visual Studio» с использованием языка программирования C++, позволяющее моделировать работу СППР. ПО имеет интуитивно понятный графический интерфейс (рисунок 6) для человеко-машинного взаимодействия, не требующий от оператора компетенций в области программирования.

На шаге 1 оператор загружает в СППР сравниваемые альтернативы в виде ФО. На шаге 2 задаются условия проведения сравнительной оценки (шаг перебора весовых коэффициентов линейной свертки в диапазоне $[0, 1]$ и условия нормирования оценочных критериев – минимизация или максимизация). По запросу оператора может быть выполнена проверка на наличие «доминирующей» и «доминируемых» альтернатив. Если данные альтернативы обнаружены, то формируются итоги поиска в виде отчетов (рисунок 7, 8), на основе которых оператор может принять решение о завершении сравнительной оценки или выбрать определенное множество альтернатив для дальнейшего анализа.

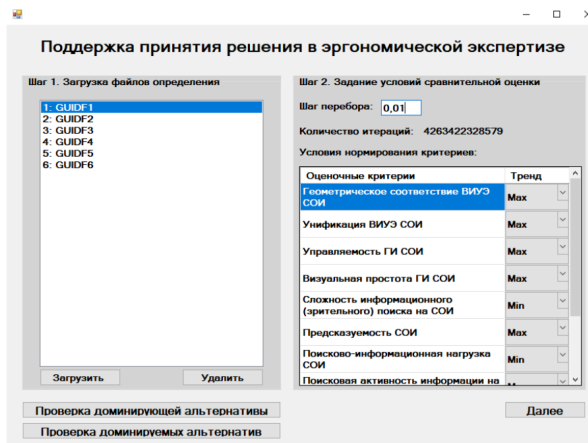


Рисунок 6. Начальный экран СППР

Доминирующая альтернатива								
	Геометрическое соответствие ВИУЭ СОИ	Унификация ВИУЭ СОИ	Управляемость ГИ СОИ	Поисковая активность информации на СОИ	Сложность информационного (зрительного) поиска на СОИ	Когнитивная нагрузка ВИУЭ СОИ	Сигнализируемость ВИУЭ СОИ	Поисковая активность информации на СОИ
** 1: GUIDF1	88,1	0,05	0,99	305,4	204	0,9	0,9647	305,4

Buttons: Выгрузить отчет в PDF, На главную

Рисунок 7. Результаты поиска «Доминирующей» альтернативы

Доминируемые альтернативы								
	Геометрическое соответствие ВИУЭ СОИ	Унификация ВИУЭ СОИ	Управляемость ГИ СОИ	Поисковая активность информации на СОИ	Сложность информационного (зрительного) поиска на СОИ	Когнитивная нагрузка ВИУЭ СОИ	Сигнализируемость ВИУЭ СОИ	Поисковая активность информации на СОИ
** 1: GUIDF1	88,1	0,05	0,99	305,4	204	0,9	0,9647	305,4

Buttons: Выгрузить отчет в PDF, На главную

Options: Использовать все множество альтернатив, Использовать "Парето-оптимальное" множество

Рисунок 8. Результаты поиска «Доминируемой» альтернативы

На рисунках 9 и 10 представлена графическая реализация задания уверенных суждений первого и второго типа. Текущий шаг не является обязательным по условиям МУС и может быть пропущен.

Шаг 3. Ввод уверенных суждений			
Тип 1. Приоритет критериев оценки		Тип 2. Приоритет альтернативных вариантов	
Добавить	Критерий 1	Приоритет	Критерий 2
Удалить	1 Унификация ВИУЭ СОИ	Важнее чем	Предсказуемость СОИ
	2 Поисковая активность информации на СОИ	Менее важен чем	Когнитивная нагрузка ВИУЭ СОИ

Buttons: Назад, Далее

Рисунок 9. Установка уверенных суждений 1 типа

Шаг 3. Ввод уверенных суждений			
Тип 1. Приоритет критериев оценки		Тип 2. Приоритет альтернативных вариантов	
Добавить	Альтернатива 1	Приоритет	Альтернатива 2
Удалить	1 2: GUIDF2	Важнее чем	4: GUIDF4

Buttons: Назад, Далее

Рисунок 10. Установка уверенных суждений 2 типа

Графическая реализация отображения результатов сравнительной оценки представлена на рисунках 11 и 12.



Рисунок 11. «Мягкий рейтинг»

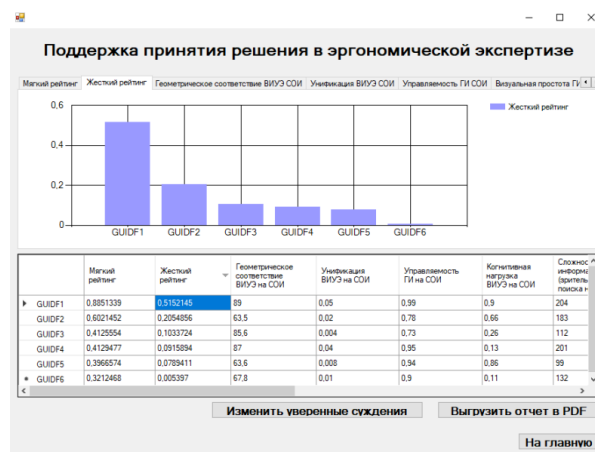


Рисунок 12. «Жесткий рейтинг»

Результаты оценки могут измениться, если ЛПР примет решение ввести уверенные суждения. Случаи, не соответствующие введенным суждениям, будут исключены из сравнительной оценки. Таким образом, вводя свои предпочтения, ЛПР может корректировать результаты сравнения до тех пор, пока не будут исчерпаны возможности дальнейшего уменьшения неопределенности за счет этих суждений. В случае неудовлетворенности итоговой альтернативой, ЛПР может вернуться к этапу ввода суждений и изменить свой выбор.

В четвертой главе проведена оценка эффективности предложенного решения на шести альтернативах статической ГИ вычислительной системы самолетовождения (ВСС), разработанных в соответствии с документами и стандартами «P-25-11A», «KT-178C», «P-330», «ARINC 661». Разработка осуществлялась на программном комплексе «ANSYS SCADe» с применением модельно-ориентированный подхода, в соответствии с которым, программные аспекты системы заменяются их абстрактным представлением (моделью).

Условия сравнительной оценки устанавливались следующие:

- 1) Шаг перебора – 0.01.
- 2) Максимизировались критерии: «Геометрическое соответствие», «Унификация», «Управляемость», «Визуальная простота», «Предсказуемость», «Сигнализируемость».
- 3) Минимизировались критерии: «Сложность информационного (зрительного) поиска», «Поисково-информационная нагрузка», «Поисковая активность информации», «Когнитивная нагрузка».
- 4) Уверенные суждение не задавались.

Итоги оценки с применением СППР: 1 место – «GUIDF1», 2 место – «GUIDF2», 3 место – «GUIDF3», 4 место – «GUIDF4», 5 место – «GUIDF5», 6 место – «GUIDF6».

Для оценки эффективности предложенного решения проводилась эргономическая экспертиза, целью которой являлось определение лучшей из ранее спроектированных альтернатив с помощью метода парных сравнений, основанного на анкетировании экспертов.

Стоит отметить, что в авиационной промышленности в процессах разработки статической ГИ все изменения координируются и согласовываются с летными экспертами, поскольку неэффективный вариант исполнения может негативно влиять на человеко-машинное взаимодействие и, соответственно, на безопасность полета. Следовательно, сформировав экспертную группу из высококвалифицированных специалистов, проведя эргономическую экспертизу и сопоставив ее результаты с работой СППР, можно сделать вывод об эффективности предложенного решения. Получив одинаковые результаты можно считать, что оно является эффективным способом повышения уровня безопасности полета, так как позволяет моделировать мнение летных экспертов (его результаты соответствуют экспертным оценкам, которые на практике являются решающими), значительно ускоряет принятие решений благодаря сокращению времени на получение ЭО, повышает надежность и снижает погрешность итоговых результатов путем уменьшения субъективного влияния.

Для создания экспертной группы применялись критерии отбора, направленные на включение представителей большинства профессиональных групп, вовлеченных в разработку ГИ бортовых систем на всех стадиях их жизненного цикла. Таким образом, в состав экспертной группы были включены два линейных пилота различных авиакомпаний, два пилота-испытателя, один пилот-инструктор, три эксперта в области эргономической оценки ИУП кабины экипажа, один инженер по разработке ГИ, один инженер по верификации СОИ.

Эксперты выполняли одинаковые тестовые сценарии (85 сценариев) на различных вариантах отображения ГИ ВСС, загруженных на имитационные стенды комплексов бортового оборудования (КБО) и попарно их оценивали (для снижения вероятности возникновения неточностей при оценке предлагается оценить за раз две различные альтернативы). Во время экспертизы имитировался полет ВС с этапами взлета, крейсерского полета и посадки. Примеры сценариев: «Выполнить предполетную подготовку ВС (задание первоначальных характеристик ВС, план полета, данные для ТВЗ)», «В процессе имитации полета при получении команды от диспетчера экстренно осуществить формирование зоны ожидания на ближайшую точку плана полета».

Особое внимание было уделено исследованию ключевых показателей безопасности полета ВС при человеко-машинном взаимодействии – временных затрат и числа ошибочных действий пилотов при выполнении задания, полученных в ходе испытаний при условиях, требующих экстренных действий экипажа в части манипуляций статической ГИ на наиболее нагруженном этапе полета – посадка ВС. Суммарное количество посадок ВС – 150 этапов.

Стоит отметить, что предложенные альтернативы разрабатывались таким образом, чтобы пути выполнения идентичных тестовых сценариев различались. Различия заключались в способах взаимодействия со статическими элементами, их численностью и расположением, наличием подсказок для оператора и т. д.

По результатам каждой экспертизы участники формировали оценки предпочтения двух альтернативных вариантов a_i и a_j по одному из возможных исходов «1» при условии $a_i > a_j$, «0» при условии $a_i < a_j$. Итогом выставления оценок является матрица парных сравнений $W = \{w_{ij}, i, j = 1, \dots, n; i \neq j\}$.

Далее определялась степень предпочтительности каждой альтернативы $r_i, i = 1, \dots, n$ по формуле (6). По итогу обобщения ЭО строится суммарная матрица парных сравнений W^Σ с элементами $\{w_{ij}^\Sigma, i, j = 1, \dots, n; i \neq j\}$. Данные элементы определяются по формуле (7).

$$r_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad (6)$$

$$w_{ij}^\Sigma = \sum_{m=1}^N w_{ij}^m \quad (7)$$

В процессе экспертизы для определения согласованности экспертных мнений вычислялись коэффициенты конкордации по формуле (8), где m –

$$w = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)} \quad (8)$$

число экспертов, n – число объектов экспертизы, S – сумма квадратов рангов. Все $w > 0.7$, что свидетельствует о высокой степени согласованности.

Итоги экспертизы: 1 место – «GUIDF1», 2 место – «GUIDF2», 3 место – «GUIDF3», 4 место – «GUIDF4», 5 место – «GUIDF6», 6 место – «GUIDF5».

Анализ результатов работы СППР и экспертной группы показал, что итоги совпадают в определении наилучшей альтернативы «GUIDF1», а расходятся в ранжировании альтернатив «GUIDF5» и «GUIDF6». Несмотря на это, требуемое время на оценку с применением СППР составило ~12 минут, тогда как экспертиза заняла суммарно более 100 часов работ на множестве стендах КБО.

Исследование временных затрат и количества ошибочных действий пилотов при взаимодействии со статической ГИ в процессе посадки ВС показало, что при взаимодействии с альтернативой «GUIDF1» временные затраты на выполнение команд от диспетчера по сравнению со следующей расположившейся альтернативой «GUIDF2» сократились на 54%, 55%, 48%, 60%, 70%, 56% и количество ошибочных действий на 50%, 60%, 63%, 39%, 56%, 48% (по шести выборочным сценариям). Интервью с экспертами подтвердили наибольшую субъективную удовлетворенность в альтернативе «GUIDF1».

Сокращение количества ошибочных действий пилотов и времени на выполнение полетного задания при взаимодействии со статической ГИ повышает уровень безопасности полета за счет уменьшения риска возникновения аварийных ситуаций по причине моторных ошибок, повышения готовности пилотов к внештатным ситуациям, снижения информационной нагрузки на экипаж, что также скажется на точности пилотирования ВС.

Применение предложенного решения по сравнению с наиболее часто используемым в авиационной практике экспертным методом позволило значительно сократить временные ресурсы на эргономическую оценку и выявление оптимального решения. Общее время на указанные задачи уменьшилось более чем на 90%, за счет отсутствия необходимости

формирования экспертной группы, анкетирования, сбора и обработки ЭО. Стоит учитывать, что на результаты экспертизы могут влиять психофизиологические способности экспертов, такие как усталость и стресс. Данные особенности не распространяются на разработанную СППР, обеспечивая высокую точность и качество вычислений. Помимо этого, предложенное решение позволило сократить количество ЛПР до одного оператора СППР.

Таким образом, предложенное решение является эффективным способом повышения уровня безопасности полетов путем выявления наилучшей альтернативы статической ГИ по результатам эргономической оценки, так как:

1. выявило аналогичную альтернативу, которой отдали предпочтения летные эксперты, чьи мнения на практике являются итоговыми при разработке ГИ, позволяющую сократить временные затраты и количество ошибочных действий у пилотов при взаимодействии со статической ГИ;

2. повысило скорость принятия решение, сократив время, затрачиваемое на все этапы получения ЭО;

3. повысило надежность итоговых результатов сравнительной оценки и снизило их погрешность за счет уменьшения субъективного влияния на них.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ниже приведены основные результаты и выводы диссертационной работы:

1. Проведен анализ современных бортовых СОИ и предъявляемых к ним эргономических требований.

2. Проанализированы современные подходы, методы и средства эргономической оценки статической ГИ бортовых систем.

3. Разработана архитектура СППР, обеспечивающая автоматизированную комплексную эргономическую оценку статической ГИ бортовых систем и поддержку принятия решения ЛПР по определению наилучшего варианта и приоритизации всего множества альтернатив.

4. По результатам сравнительного анализа существующих критериев эргономической оценки выявлены формализованные показатели для комплексной оценки эффективности статической ГИ; предложены критерии оценки унификации визуальных свойств и учета психологических принципов при проектировании ГИ.

5. Разработано методическое и алгоритмическое обеспечение комплексной эргономической оценки эффективности статической ГИ по независимым направлениям: визуальные и пространственно-временные характеристики, учет психологических принципов при проектировании ГИ, описаны их функции.

6. Проведен сравнительный обзор часто применяемых методов поддержки принятия решения. По результатам обзора предложен метод уверенных суждений в качестве основного для поддержки принятия решения.

7. Разработано методическое и алгоритмическое обеспечение поддержки принятия решения для задач сравнительной оценки в части определения

наилучшей альтернативы и приоритизации существующего множества альтернатив.

8. Разработаны алгоритмы, реализующие шаги модулей предложенной СППР.

9. Разработано ПО, реализующее разработанные алгоритмы и позволяющее моделировать работу СППР.

10. Проведено тестирование разработанной СППР на 6 альтернативах статической ГИ, подтвердившее ее адекватность и работоспособность.

11. Проведена оценка эффективности предложенного решения, по результатам которой выявлено, что данное решение определило альтернативу статической ГИ, позволяющую сократить временные затраты и количество ошибочных действий у пилотов при взаимодействии с ГИ в процессе выполнения полетного задания, а также сократить временные затраты сравнительную оценку, увеличить точность и уменьшить погрешность результатов за счет снижения субъективного влияния на них.

12. Результаты диссертационной работы внедрены в работу филиала ПАО «Яковлев» – Центр комплексирования по проекту «Разработка комплекса бортового радиоэлектронного оборудования самолета МС-21», ООО «Д С «БАРС» по проекту «Разработка комплекса бортового оборудования для среднемагистрального самолета SJ-100» и в учебный процесс кафедры 703 «Системное проектирование авиакomплексов» Института № 7 «Робототехнические и интеллектуальные системы» МАИ, что подтверждается соответствующими актами о внедрении.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*В рецензируемых научных журналах и изданиях, входящих
в Перечень Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации*

1. Неретин, Е. С. Применение принципов психологического восприятия визуальной информации при проектировании и валидации графической составляющей человеко-машинного интерфейса системы самолетовождения объектов гражданской авиационной техники [Текст] / **Силин Н. Д.**, Берсуцкая О. Д. // Журнал «Навигация и управление летательными аппаратами». – М.: МИЭА, 2023. – № 40.

2. **Силин, Н. Д.** Подход к решению задачи многокритериального выбора графической составляющей человеко-машинных интерфейсов для перспективного комплекса бортового оборудования [Текст] // Журнал «Навигация и управление летательными аппаратами». – М.: МИЭА, 2024. – № 45.

3. **Силин, Н. Д.** Подход к проведению эргономической оценки в части графических свойств визуальных информационно-управляющих элементов в

составе системы отображения информации бортового оборудования [Текст] // Журнал «Навигация и управление летательными аппаратами». – М.: МИЭА, 2024. – № 46.

В научных изданиях, включенных в международные системы цитирования Scopus, Web of Science

4. **Silin, N.** Development of the Perspective Aircraft Cockpit Indication System Simulator [Text] / Ivanov A. // In: Gorbachev, O.A., Gao, X., Li, B. (eds) Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3788-0_12

5. **Silin, N.** Development of Guidelines on the Use of Color Solution for Electronic Indication Systems When Designing Human–Machine Interface of Civil Aircraft Objects [Text] / Ivanov A. // In: Gorbachev, O.A., Gao, X., Li, B. (eds) Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3788-0_13

В других изданиях

6. **Силин, Н. Д.** Оценка эффективности эргономики человеко-машинного интерфейса объектов авиационной техники по критерию цветовой унификации [Текст] // Сборник тезисов работ международной молодежной научной конференции XLVII Гагаринские чтения 2021. – М.: Издательство «Перо», 2021. С. 737-738.

7. **Силин, Н. Д.** Оптимизация цветового оформления систем электронной индикации человеко-машинного интерфейса для гражданских самолетов транспортной категории [Текст] // 20-я Международная конференция «Авиация и космонавтика», 2021. – М.: Издательство «Перо», 2021. С. 394–396.

8. **Силин, Н. Д.** Оценка использования цветового решения при проектировании человеко-машинного интерфейса объектов гражданской авиационной техники [Текст] / Иванов А.С. // 13-й Всероссийский конкурс «Молодежь и будущее авиации и космонавтики. Сборник аннотаций конкурсных работ. – М.: Издательство «Перо», 2021. – С. 156-157.

9. Иванов, А. С., Имитационный комплекс системы индикации перспективного гражданского самолета для ранней валидации эргономических решений, внешнего вида и логики индикации [Текст] / **Силин Н. Д.**, Воронцов Т. П. // 13-й Всероссийский конкурс «Молодежь и будущее авиации и космонавтики – 2021». 13-й Всероссийский конкурс «Молодежь и будущее авиации и космонавтики». Сборник аннотаций конкурсных работ. – М.: Издательство «Перо», 2021. – С. 145.

10. Иванов, А. С. Разработка имитационного комплекса системы индикации перспективного гражданского самолета [Текст] / **Силин Н. Д.** // Сборник трудов X Международной научно-практической конференции

«Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации». Том 1. Издательство: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2021. – С. 125 – 135.

11. **Силин, Н. Д.** Разработка рекомендаций по использованию цветового оформления для систем электронной индикации при проектировании человеко-машинного интерфейса объектов гражданской авиационной техники [Текст] / Иванов А. С. // Сборник трудов X Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации». Том 1. Издательство: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2021. С. 213 – 220.

12. **Силин, Н. Д.** Разработка человеко-машинного интерфейса комплекса бортового оборудования перспективных объектов авиационной техники в соответствии с принципами Гештальт-теории [Текст] // Сборник тезисов работ международной молодежной научной конференции XLVII Гагаринские чтения, 2022. С. 413 – 415.

13. **Силин, Н. Д.** Учет психологических аспектов зрительного восприятия при разработке системы самолетовождения гражданских воздушных судов [Текст] / Берсуцкая О.Д., Неретин Е.С. // Сборник трудов XI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации». Том 1. Издательство: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2022. – С. 194 – 198.

14. **Силин, Н. Д.** Возможные методы предотвращения и обнаружения ошибок проектирования систем индикации в части представления графической информации [Текст] / Берсуцкая О.Д. // Сборник аннотаций конкурсных работ XIV Всероссийский межотраслевой молодежный конкурс научно-технических работ и проектов «Молодежь и будущее авиации и космонавтики». – М.: Издательство «Перо», 2022 – С. 149.

15. **Силин, Н. Д.** Необходимые пути развития методологий обнаружения ошибок проектирования при создании систем индикации [Текст] / Берсуцкая О.Д. // 21-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». – М.: Издательство «Перо», 2022. – С. 369-370.

16. **Силин, Н. Д.** Разработка методики управления информационным полем кабины гражданского самолета [Текст] / Иванов А. С., Неретин Е. С. // XI Национальная научно-техническая конференция «Союз машиностроителей России», 2022. – С. 31 – 35.