

УДК 681.518.3

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ВОСПРИЯТИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ВАЛИДАЦИИ ГРАФИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА СИСТЕМЫ САМОЛЕТОВОЖДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Евгений Сергеевич НЕРЕТИН, к.т.н.

E-mail: evgeny.neretin@ic.irkut.com,

Никита Денисович СИЛИН

E-mail: NDSilin@mail.ru,

Оксана Дмитриевна БЕРСУЦКАЯ

E-mail: obersutskaya@mail.ru

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

В статье предложено описание разработанного человеко-машинного интерфейса системы самолетовождения для перспективных гражданских самолетов. Проанализированы направления развития, существующие решения, а также требования нормативно-технической документации, предъявляемые к данному типу интерфейсов.

Предложен ряд решений, реализующих новые эффективные способы представления графической информации и обеспечивающих интуитивное и надежное взаимодействие с экипажем за счет учета принципов психологического восприятия человеком визуальной информации.

Ключевые слова: человеко-машинный интерфейс, эргономика, принципы отображения графической информации, система электронной индикации, система самолетовождения.

APPLICATION OF VISUAL INFORMATION PSYCHOLOGICAL PERCEPTION PRINCIPLES IN DESIGN AND VALIDATION OF THE GRAPHICAL COMPONENT OF FLIGHT MANAGEMENT SYSTEM HUMAN-MACHINE INTERFACE FOR CIVIL AIRCRAFT

Evgeny S. NERETIN, PhD in Engineering

E-mail: evgeny.neretin@ic.irkut.com,

Nikita D. SILIN

E-mail: NDSilin@mail.ru,

Oxana D. BERSUTSKAYA

E-mail: obersutskaya@mail.ru

Moscow Aviation Institute (National Research University)

The article gives a description of developed human-machine interface for Flight Management System for advanced civil aircraft. The development trends, existing solutions as well as technical standard requirements for this type of interfaces are analyzed.

A number of solutions have been proposed that implement new effective ways of graphical information representation and provide intuitive and reliable interaction with the crew by taking into account the principles of human psychological perception of visual information.

Keywords: *human-machine interface, ergonomics, graphical information representation principals, electronic display system, flight management system.*

Введение

За более чем полувековую историю эволюции авионики пассажирских самолетов появилось множество различных архитектурных решений, технологий и концепций организации кабины экипажа. Появление архитектуры интегрированной модульной авионики (ИМА) [1, 2], концепции «стеклянной» кабины, а затем и «темной» кабины, привели к широкому распространению экранных индикаторов, с появлением каждого нового самолета занимающих все большую часть рабочего поля экипажа.

Сегодня на первый план создания философии кабины выходят задачи по удобному, надежному и эффективному представлению большого количества графической информации, необходимой экипажу для своевременного и безошибочного принятия решений по управлению воздушным судном. Постоянно растущие требования по учету человеческого фактора при анализе функциональных опасностей предполагают необходимость тщательной проработки человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) всей кабины и, в особенности, ЧМИ системы индикации [3].

Наиболее актуальная на сегодняшний день концепция «темной» кабины предполагает необходимость привлечения внимания экипажа только к наиболее значимым в текущей оперативной обстановке элементам, находящимся в поле зрения, без отвлечения на вторичную информацию.

Увеличение количества, размеров и разрешения цифровых экранов в кабине экипажа не могло не повлиять на необходимость переосмысления и перестройки всего ЧМИ кабины и, в особенности, наиболее функционально нагруженной его части — ЧМИ системы самолетовождения [4] (от англ. Flight Management System — далее FMS).

Основными задачами FMS являются:

- определение текущих координат местоположения самолета по сводным данным от различных бортовых навигационных датчиков;
- расчет горизонтальной и вертикальной траектории полета по заданному плану полета, а также оперативное изменение этого плана [5];
- формирование и передача управляющих команд в систему автоматического управления (САУ) для выполнения автоматического самолетовождения по заданному плану полета.

Для обеспечения формирования траектории FMS взаимодействует с аэронавигационной базой данных, содержащей данные об аэродромах,

их взлетно-посадочных полосах и процедурах инструментального полета, навигационных пунктах маршрута, наземных радиосредствах, воздушных трассах и другой аэронавигационной информации. На современных пассажирских самолетах автоматическое самолетовождение [6, 7, 8] может производиться на всех этапах полета от взлета до захода на посадку. С помощью ЧМИ FMS экипаж контролирует аэронавигационную обстановку, а также выполнение полета с автоматическим управлением и, при необходимости, корректирует маршрут [9, 10].

Ввиду распространения архитектуры ИМА и широкоформатных индикаторов, а также роста функционала системы FMS, перед разработчиками системы остро встал вопрос о создании принципиально нового ЧМИ FMS, реализующего новые эффективные способы представления информации, основанные на психологических принципах восприятия визуальной информации человеком, и обеспечивающего интуитивное и надежное взаимодействие с экипажем.

Постановка задачи

Цель работы — создание прототипа ЧМИ системы самолетовождения, основанного на ключевых принципах психологического восприятия визуальной информации, а также требованиях к организации ЧМИ кабины самолета для отечественных перспективных гражданских самолетов транспортной категории.

Задачи работы:

- анализ существующих решений в части ЧМИ FMS [11];
- анализ требований нормативно-технической документации, предъявляемых к ЧМИ FMS [12, 13, 14, 15, 16, 17];
- анализ психологических принципов восприятия визуальной информации [18, 19];
- разработка архитектуры и логики функционирования ЧМИ FMS;
- разработка кадров ЧМИ FMS с применением среды проектирования SCAD Solutions for ARINC 661 [17].

Анализ существующих современных типов ЧМИ и их особенности

Основными разработчиками FMS на сегодняшний день являются: Honeywell, Rockwell Collins, General Electric, Thales, СМС Electronics [11] за рубежом, а также ПАО «МИЭА» и ПАО «Корпорация Иркут» в России.

Традиционная архитектура системы FMS представляет собой отдельный конструктивно-съемный блок (КСБ) (Multipurpose Control and Display Unit – MCDU), обладающий собственным вычислителем, программным обеспечением и ЧМИ, состоящим из строчного экрана небольшого размера и алфавитно-цифровой клавиатуры. ЧМИ FMS в такой реализации имеет лишь несколько строк для отображения информации с текстом в трех-четырех возможных цветах и, как правило, двух размерах прописных букв. Описанная традиционная архитектура приводит к большой степени сходности ЧМИ FMS различных производителей, и опытный летчик способен в считанные минуты разобраться в большей части функционала незнакомого ему MCDU. Пример внешнего вида MCDU, используемого на самолете Sukhoi Superjet 100, являющимся отдельным КСБ со встроенным вычислителем, представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Общий вид традиционного MCDU, являющимся отдельным КСБ со встроенным вычислителем

Однако на последних поколениях гражданских самолетов все большее распространение получает другая реализация системы FMS. Программное обеспечение зачастую реализуется как программное приложение центрального вычислителя авионики, а кадры ЧМИ FMS индицируются на экранах расположенных, как правило, в верхней части центрального пьедестала кабины.

Существенное увеличение размера экранов системы индикации привело к возможности и необходимости полной перекомпоновки ЧМИ FMS. Первыми авиакомпаниями, на которых было внедрено подобное решение, стали Airbus A380, A350 и Boeing 787. Так, например, при разработке нового ЧМИ корпорация Boeing для своего самолета Boeing 787 сохранила максимальную схожесть с ЧМИ традиционной архитектуры FMS. Общий вид обновленного ЧМИ с применением широкоформатного дисплея на самолете Boeing 787 представлен на рисунке 2.

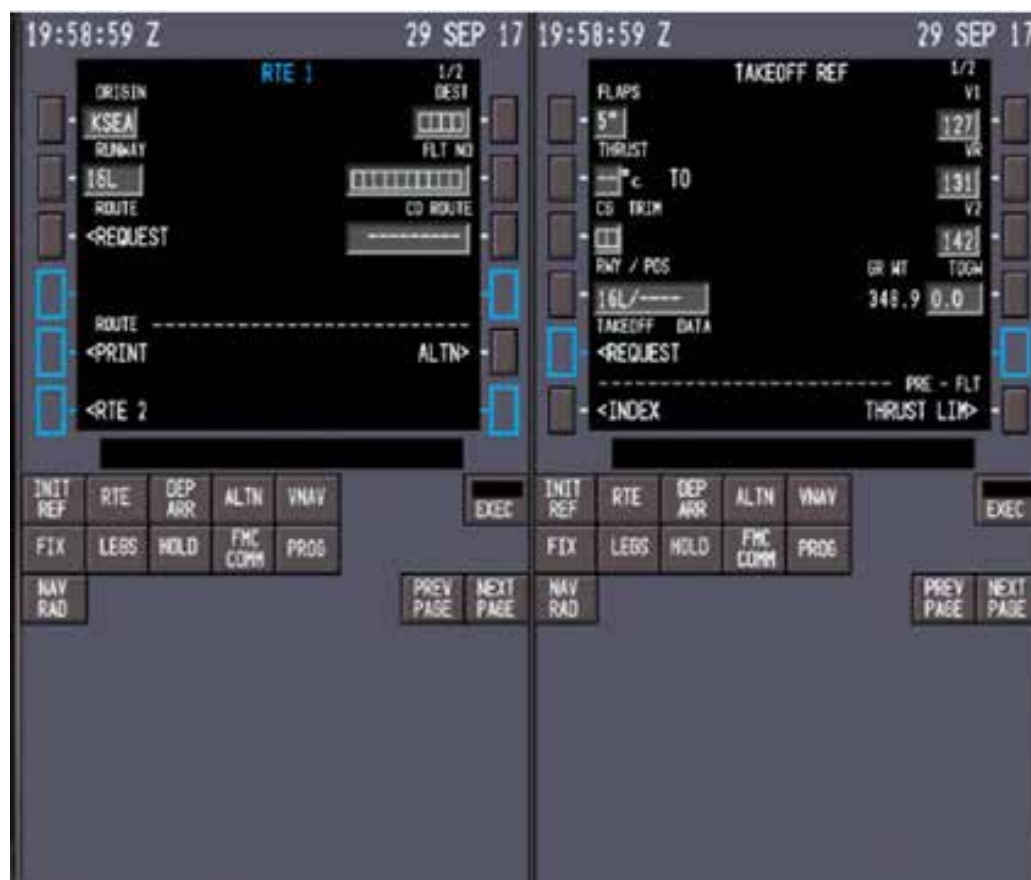


Рис. 2. Общий вид обновленного ЧМИ с применением широкоформатного дисплея на самолете Boeing 787

В то же время Airbus подошли к вопросу переработки ЧМИ FMS более глубоко. Пример кадра ЧМИ FMS самолета Airbus A380 с применением стандарта ARINC 661 представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Общий вид кадра ЧМИ FMS самолета A380 с применением стандарта ARINC 661

Однако такие крупные производители самолетов, как Airbus и Boeing, вынуждены принимать компромиссные решения между инновационными и консервативными идеями, т. к. радикальные изменения приводят к нежелательным с точки зрения авиакомпаний затратам на дорогостоящее переучивание экипажей и увеличивают риск совершения ошибок у летчиков, долгое время проработавших с системой FMS традиционной архитектуры.

Ввиду необходимости фундаментальной проработки философии кабины нового типа для перспективных отечественных авиалайнеров и существенного наращивания функциональности FMS совместно с повышением степени ответственности этой системы за безопасность полета, актуальной задачей является учет ключевых

принципов психологического восприятия визуальной информации при разработке принципиально нового ЧМИ FMS, реализующего новые способы представления графической информации и обеспечивающего интуитивное и надежное взаимодействие с экипажем.

Анализ требований, предъявляемых в стандартах к ЧМИ

Для упрощения взаимодействия экипажа с системой FMS ЧМИ должен отвечать ряду эргономических требований по расположению информации на информационном кадре, а также способам взаимодействия экипажа с элементами кадра. Основными требованиями к информационно-управляющему полю кабины пилота, которым необходимо соответствовать всем перспективным самолетам для получения зарубежного сертификата типа, являются требования пункта 25.1302 документа EASA «Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes» (CS-25) [12], приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Требования пункта CS-25.1302

№ пункта	Текст требования
CS-25.1302	Установленные системы и оборудование, используемые летным экипажем
	Данный параграф относится к установленному оборудованию, предназначенному для использования при эксплуатации самолета членами летного экипажа со своих обычных рабочих кресел в пилотской кабине. Необходимо показать, что установленное оборудование (отдельно или в сочетании с другим, такого же рода оборудованием) спроектировано так, чтобы квалифицированные члены экипажа, прошедшие подготовку по его использованию, могли безопасно выполнять свои задачи, связанные с его предназначенными функциями, с соблюдением следующих требований:
CS-25.1302 (a)	В кабине должны быть установлены органы управления, позволяющие выполнять эти задачи, и должна обеспечиваться информация, необходимая для выполнения этих задач
CS-25.1302 (b)	Органы управления и информация в пилотской кабине, предназначенные для использования летным экипажем, должны:
CS-25.1302 (b)(1)	Представляться в четкой и недвусмысленной форме, обладать разрешением и точностью, необходимыми для выполнения данной задачи
CS-25.1302 (b)(2)	Быть доступными и использоваться летным экипажем таким способом, который согласуется со срочностью, частотой и длительностью выполняемых им задач

№ пункта	Текст требования
CS-25.1302 (b)(3)	Позволять летному экипажу понимать (если такое понимание необходимо для безопасной эксплуатации) последствия для самолета или его систем в результате действий летного экипажа
CS-25.1302 (c)	Поведение установленного оборудования, влияющее на эксплуатацию, должно быть:
CS-25.1302 (c)(1)	Предсказуемым и недвусмысленным и
CS-25.1302 (c)(2)	Рассчитано так, чтобы летный экипаж мог вмешиваться таким способом, который подходит для данной задачи
CS-25.1302 (d)	Насколько это практически возможно, установленное оборудование должно позволять экипажу справляться с ошибками, которые можно обоснованно ожидать в эксплуатации, возникающими при различного рода взаимодействии с оборудованием при допущении, что летный экипаж действует добросовестно. Данный пункт (d) не относится к ошибкам из-за недостаточной квалификации при ручном управлении самолетом

При разработке программного обеспечения ЧМИ FMS необходимо следовать требованиям документа КТ-178С «Квалификационные требования. Часть 178С [13, 14]. Требования к программному обеспечению бортовой аппаратуры и систем при сертификации авиационной техники» (аналог зарубежных стандартов RTCA DO-178С / ED-12С).

Оценка функциональных опасностей системы FMS выполняется на основе требований документа FAA AC 20-138D «Airworthiness Approval of Positioning and Navigation Systems» [16], а также в соответствии с рекомендациями Р4754А «Руководство по разработке воздушных судов гражданской авиации и систем» [15].

Анализ психологических принципов восприятия визуальной информации

подавляющее большинство современных комплексов бортового оборудования обладает графическими пользовательскими интерфейсами, с которыми летчики взаимодействуют при выполнении поставленных задач. Следовательно, успех выполнения задач напрямую зависит от эффективного отображения всех визуальных элементов интерфейса. Важнейшим подходом решения данной проблемы является учет человеческого фактора, а именно учет психологических аспектов зрительного восприятия человеком информации, направленный на цельное и быстрое получение необходимой графической информации с помощью интерфейса.

Учет принципов психологического восприятия визуальной информации является особо важным процессом, поскольку при взаимодействии с интерфейсом операторы получают около 80% информации через органы зрения [20].

Зачастую разработчики ЧМИ рассматривают функциональные возможности системы отдельно от ее графического пользовательского интерфейса и практически не рассматривают элементы взаимодействия пользователя и системы. Однако операторы, как правило, не разделяют функциональность и пользовательский интерфейс, то есть удовлетворенность от взаимодействия с программным продуктом формируется в зависимости от работы с ЧМИ. Из этого следует, что качественное и надежное представление информации является ключевым условием при разработке человеко-машинного интерфейса и его дальнейшей валидации.

Основными направлениями психологии, изучающими восприятие визуальной информации человеком, являются гештальтпсихология и когнитивная психология. Указанные направления содержат в себе набор принципов, которые описывают восприятие человеком визуальных объектов. Применяя перечисленные далее принципы отображения графической информации, можно достичь наиболее интуитивно понятного и эффективного человеко-машинного взаимодействия [18, 19].

Принципы Гештальт-теории

Идеи гештальт-подхода наиболее полно были сформулированы в работах М. Вертгаймера (Wertheimer, 1923), К. Коффки (Koffka, 1935) и Келера (Köhler, 1947), в которых было показано, что воспринимаемый мир организован по следующим ключевым принципам [18]:

— Принцип близости — визуальные элементы, расположенные близко друг к другу, воспринимаются более связанными, чем те, что находятся на некотором расстоянии.

— Принцип схожести — визуальные элементы с похожими визуальными характеристиками воспринимаются более связанными, чем те, которые выглядят по-разному.

— Принцип общей зоны — визуальные элементы, расположенные в пределах одной области, воспринимаются как группа.

— Принцип продолжения — визуальные элементы, выстроенные по прямой или плавно изогнутой линии, воспринимаются более взаимосвязанными, чем те, что расположены случайно или по ломаной линии.

Принципы теории когнитивного восприятия

Актуальность изучения проблемы «когнитивного дизайна» подтверждается многочисленными исследованиями ведущих ученых мира, которые рассматривают отдельные аспекты восприятия информации на примере разных учебных дисциплин. Наибольшее научное освещение данная теория получила в зарубежных работах — В. Виссера, Р. Майера, Р. Морено, А. Паивио, К. Шейтера, Д. Летнера, К. Леопольда, Э. Самфлета, а также в трудах отечественных ученых — Л. В. Зайцевой, С. А. Рыбкина, И. Б. Афанасьевой, Б. М. Величковского, А. А. Зенкина, И. Н. Коваленко, Н. Н. Манько.

Педагог-психолог Ричард Майер выделяет несколько принципов дизайна и называет их — «когнитивная теория мультимедиа обучения». Полный объем исследований в этой области представлен в Кембриджском Справочнике под редакцией Ричарда Э. Майера [19].

Основные принципы когнитивного дизайна, примененного в системе отображения информации с учетом умственных нагрузок, изложенные Р. Майером, уже более 10 лет являются основой для многих мировых исследований. Все принципы поделены Майером на 3 области:

- 1) сокращение посторонней когнитивной нагрузки;
- 2) управление важными процессами;
- 3) содействие производительным процессам [19]:

— Принцип сигнализации — человек-оператор воспринимает визуальную информацию лучше, когда добавлены сигналы или элементы организации, которые подчеркивают важные визуальные элементы.

— Принцип пространственного примыкания — человек-оператор воспринимает визуальную информацию лучше, когда соответствующая инфографика и текст расположены близко друг к другу, а не далеко на интерфейсе. Когда инфографика и текст расположены далеко друг от друга, возникает дополнительная нагрузка на рабочую память и снижается производительность понимания.

— Принцип временного примыкания — человек-оператор воспринимает визуальную информацию лучше, когда соответствующая инфографика и текст представлены одновременно, а не последовательно.

— Принцип предварительной подготовки — человек-оператор воспринимает визуальную информацию более эффективно, когда он предварительно знает основные термины и их определения. Операторы будут перегружены под влиянием графического интерфейса, на котором используется много новых терминов.

Применение принципов визуального восприятия информации при разработке информационного кадра FMS

Резюмируя высказанное, можно выделить следующие основные принципы, которые необходимо учитывать при разработке ЧМИ:

- принцип близости;
- принцип схожести;
- принцип общей зоны;
- принцип продолжения;
- принцип сигнализации;
- принцип пространственного примыкания;
- принцип временного примыкания;
- принцип предварительной подготовки.

На рисунке 4 представлен эскиз информационного кадра FMS, разработанный с учетом перечисленных принципов.

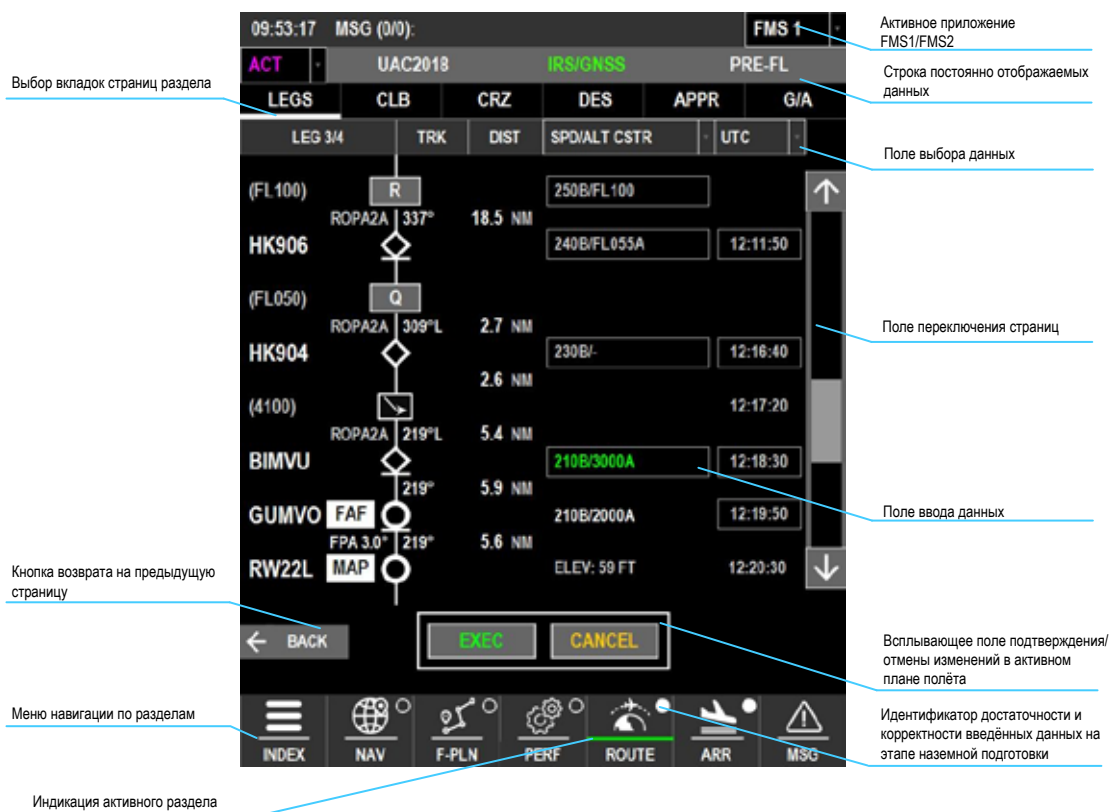


Рис. 4. Эскиз информационного кадра FMS

В соответствии с принципом схожести при разработке основного кадра ЧМИ FMS был строго определен стиль отображения визуальных элементов (цветовая кодировка, геометрические параметры элементов и т. д.).

Для достижения принципа общей зоны и близости были строго определены зоны расположения данных, обеспечивающие связанность групп элементов, однотипную организацию и регулярность расположения информации.

На информационном кадре ЧМИ FMS должны постоянно присутствовать следующие элементы:

1) Данные, отображаемые постоянно:

- номер рейса;
- текущий навигационный режим;
- текущая фаза полета FMS;
- время UTC.

2) Меню навигации по основным разделам FMS и подменю страниц раздела.

3) Название текущей страницы и раздела.

4) Идентификатор активного приложения FMS 1 или FMS 2.

5) Идентификация работы с активным/вторичным планом полета.

6) Поле для индикации предупреждающих, консультативных и сервисных сообщений FMS.

Остальные элементы должны располагаться в зоне страницы FMS. Зональное распределение информации на кадре ЧМИ FMS представлено на рисунке 5 (стр. 25).

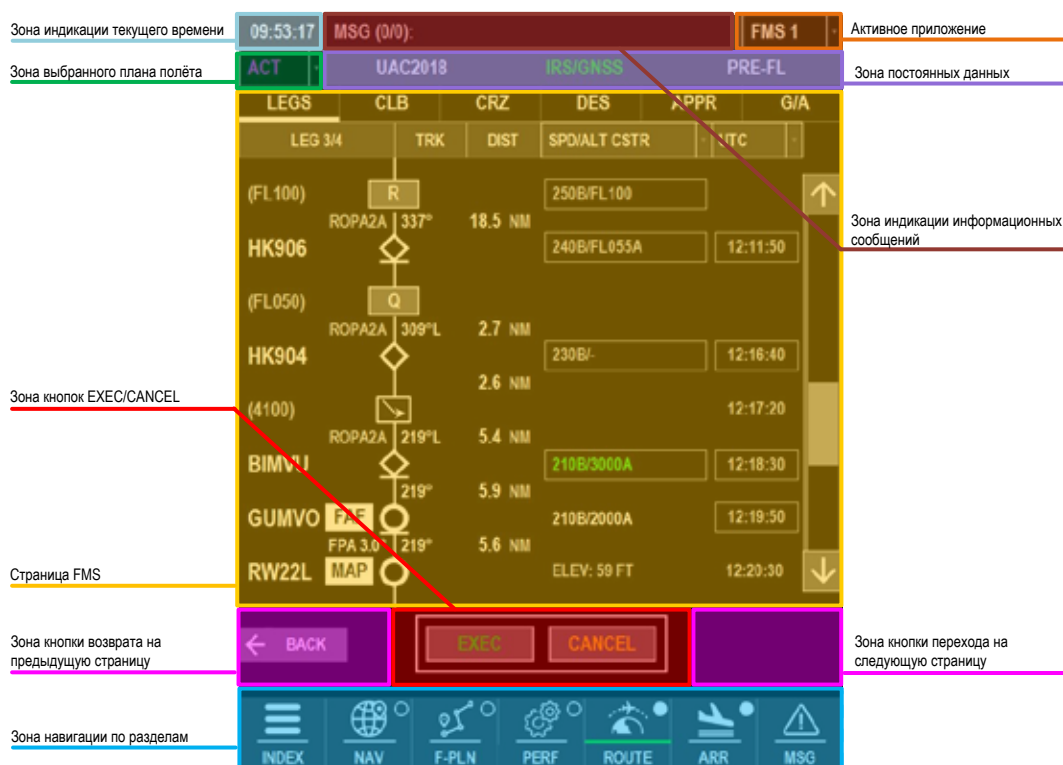


Рис. 5. Зональное распределение информации на кадре FMS

Навигация по разделам

Для обеспечения быстрого и интуитивно понятного перехода с какой-либо страницы кадра на любую другую используется двухуровневая структура навигации с применением инфографики. Инфографика и ее описание соответствует основным (стандартным) изображением и терминам, применяемых при разработке систем индикации, тем самым удовлетворяя принципу предварительной подготовки. Отображение инфографики и текста к ней соответствует принципам пространственного и временного примыкания за счет одновременного отображения и близкого расположения друг к другу.

Двухуровневая структура обеспечивает переход между всеми страницами за не более чем два действия.

Первый уровень — основное меню навигации по разделам, элементы которого расположены на одной горизонтальной прямой, визуально продолжая друг друга в соответствии с принципом продолжения.

Второй уровень — вкладки внутри раздела, расположенные на одной горизонтальной или вертикальной прямой, также визуально продолжая друг друга в соответствии с принципом продолжения.

Диаграмма перехода по страницам разделов кадра FMS представлена на рисунке 6.



Рис. 6. Диаграмма перехода по страницам кадра ЧМИ FMS

Процедура предполетной подготовки

Для наиболее эффективного проведения процедуры предполетной подготовки (сокращения времени, затрачиваемого на данную процедуру) внедрены следующие решения:

– кнопки перехода на логически следующую за текущей страницу, которые обеспечивают последовательный проход по визуально одной прямой по обязательным для заполнения страницам для формирования плана полета на этапе предполетной подготовки;

– идентификаторы достаточности и корректности введенных данных, которые отражают корректность и наличие информации в обязательных полях ввода соответствующего раздела. При использовании идентификаторов, визуально осведомляющих пилотов о наличии ошибки в данных, достигается выполнение принципа сигнализации.

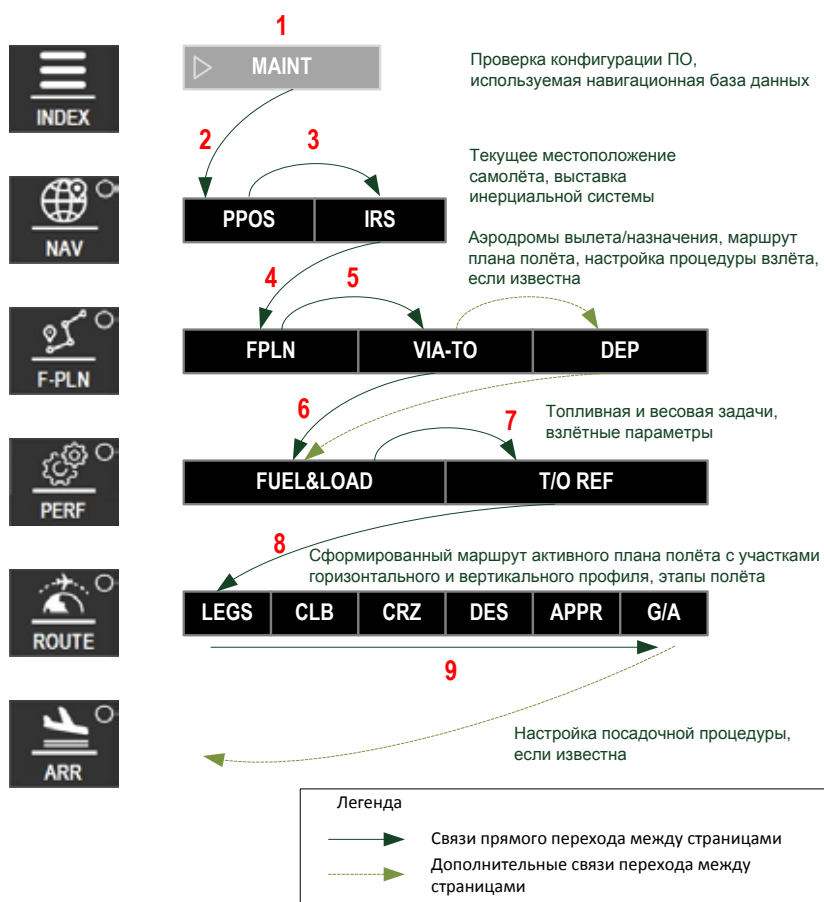




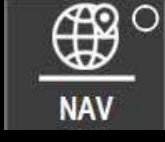

Рис. 7. Схема перехода между разделами кадра ЧМИ FMS на этапе наземной подготовки

ЧМИ FMS организован таким образом, чтобы задача подготовки к полету решалась сквозным прохождением через страницы FMS в режиме мастера настройки. Режим мастера настройки обеспечивает быстрый последовательный доступ и редактирование исходных данных, минимально необходимых для начала формирования плана полета в FMS. Схема сквозного прохождения по разделам кадра ЧМИ FMS представлена на рисунке 7 (стр. 27).

В режиме мастера настройки при вызове какой-либо страницы фокус ввода автоматически перемещается на первое поле ввода или выбора данных на этой странице, указывая пилоту необходимый элемент для заполнения или редактирования. После заполнения каждого поля ввода или выбора данных обеспечивается переход к следующему полю ввода или выбора данных по заранее определенному пути перехода.

После заполнения всех основных данных подготовки плана полета в каждом разделе производится проверка введенных данных на корректность. Разделы, для которых введено достаточное количество необходимых и корректных данных, должны визуально выделяться. Для этого реализована цветовая кодировка в зоне меню навигации по разделам, представленная в таблице 2.

Таблица 2. Цветовая кодировка достаточной наполненности разделов ЧМИ FMS необходимыми данными

Раздел меню	Описание индикационных визуальных подсказок
	Текущий выбранный раздел FMS
	В правом верхнем углу: маркер достаточного заполнения раздела минимально необходимыми данными (индицируется только на этапе наземной подготовки)
	В правом верхнем углу: маркер недостаточности и корректности введенных данных в указанном разделе (индицируется только на этапе наземной подготовки)
	При возникновении предупреждающих сообщений — маркер раздела, на который экипажу рекомендуется перейти для устранения причины возникновения сообщения

Процедуры взаимодействия с полями ввода информации

Упрощение процедуры ввода информации достигается путем внедрения следующих решений:

– введения цветовой кодировки [21] для различия информации по следующим признакам:

- поле обязательно или необязательно для ввода информации;
- величина в поле рассчитана автоматически FMS или введена пилотом вручную.

– введения масок ввода (визуальная сигнализация-подсказка формата ввода — там, где это возможно);

– проверка введенного значения на принадлежность физическому диапазону величины.

Для обеспечения визуального различия информации для полей ввода данных используются различные форматы полей ввода данных, представленные в таблице 3.



Таблица 3. Элементы поля ввода данных

Элемент поля ввода данных	Описание	Внешний вид
Фон поля	Фон поля ввода может иметь следующие цвета: – черный: данные внутри поля ввода необязательны для заполнения на этапе предполетной подготовки, так как не оказывают влияния на построение горизонтальной или вертикальной траектории плана полета;	
	– серый: данные внутри поля ввода обязательны для заполнения на этапе предполетной подготовки, так как необходимы для построения горизонтальной или вертикальной траектории плана полета	
Значение параметра	Значение параметра индицируется шрифтом белого цвета нормального размера: значение рассчитано автоматически, либо получено из базы политик авиакомпании, либо является значением по умолчанию, либо получено из навигационной базы данных	

Элемент поля ввода данных	Описание	Внешний вид
Значение параметра	Значение параметра индицируется шрифтом зеленого цвета нормального размера: значение введено вручную	
	Значение параметра индицируется шрифтом синего цвета нормального размера: значение получено по каналу Datalink	
	Значение параметра индицируется шрифтом янтарного цвета нормального размера: значение параметра приводит к нарушению нормального выполнения заданного плана полета	
Единицы измерения	Единицы измерения для безразмерных величин или очевидных параметров из контекста поля не индицируются	
	Единица измерения индицируется шрифтом серого цвета малого размера	

При заполнении полей ввода обеспечивается индикация формата вводимых данных. В случае вводе данных экипажем вручную, введенная величина проверяется на физический диапазон и корректность формата с соответствующей индикацией экипажу. Элементы индикации ошибочного ввода данных представлены в таблице 4.

Таблица 4. Элементы индикации ошибочного ввода данных

Внешний вид элемента	Значение элемента
	Недопустимый формат ввода данных, либо недостаточная заполненность формата маски ввода
	Формат ввода данных корректный, но не входит в ограничение диапазона возможного ввода

Пример внешнего вида поля ввода данных с предопределенной маской представлен на рисунке 8.



Рис. 8. Внешний вид поля ввода данных с предопределенной маской

Применение принципов психологического восприятия визуальной информации при валидации графического интерфейса

Анализ работ в области обеспечения эффективности представления графической информации [22, 23, 24, 25] показал, что качественный графический интерфейс должен соответствовать следующим принципам, которые в свою очередь должны найти отражение в требованиях к нему:

1) Минимальная информационная загруженность — использование элементов интерфейса, которые требуют минимальное количество элементарных операций.

2) Простота и визуальная привлекательность.

3) Удобство для пользователя в части направленности на область выполняемых им задач.

4) Структурность — элементы интерфейса должны быть сгруппированы по общему признаку и располагаться с учетом времени доступа к ним (их зрительного поиска и активации).

5) Доступность — на поиск необходимой команды пользователю требуется затрачивать минимальное количество времени.

6) Стандартность — применение при проектировании интерфейса типовых элементов.

7) Визуальные подсказки — наиболее важная информация должна выделена.

8) Однозначность — понимание интерфейса должно быть однозначным, это способствует самообучению пользователей и минимизирует их произвольные ошибки.

Суммируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что для разработки или валидации графического интерфейса необходимо учитывать в комплексе ряд особенностей пользователей и соблюдать баланс между такими характеристиками как: эргономичность, дизайн, понятность, гибкость и др. Также нельзя обойтись без понимания принципов и законов психологии, по которым работает внимание человека.

Для достижения целей полноты покрытия пользовательского интерфейса необходимо в результате выполнения всех тестовых примеров задействовать каждый интерфейсный элемент хотя бы один раз во всех доступных режимах. Для определения соответствия всего комплекса графических элементов на разработанном человеко-машинном интерфейсе всем описанным принципам психологического восприятия визуальной информации необходимо дать количественную оценку.

Определение соответствия происходит по следующему алгоритму:

1) Если условие принципа удовлетворяется, то графическому элементу присваивается 1. В противном случае 0.

2) Описание внешнего вида интерфейса двумерным массивом:

$$GH = \begin{bmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1y} & \cdots & w_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{x1} & \cdots & w_{xy} & \cdots & w_{xn} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{m1} & \cdots & w_{my} & \cdots & w_{mn} \end{bmatrix},$$

где x — номер оцениваемого визуального элемента интерфейса ($x = 1, \dots, m$);

y — номер критерия ($y = 1, \dots, n$);

m — общее количество оцениваемых визуальных элементов интерфейса;

n — общее число критериев.

3) Ввод количественной меры применения каждого принципа:

$$U, \dots, Q = \frac{1}{m} \sum_{x=1}^m w_{x1}.$$

4) Ввод критерия Ω , учитывающий количественные меры:

$$\Omega = \frac{\sum P}{n},$$

где $\sum P$ — сумма количественных мер.

5) Ввод коэффициентов $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8$, учитывающих важность или приоритет критерия в общем восприятии (определяются экспертным путем). После подстановки:

$$\Omega = \frac{k_1 \sum_{x=1}^m w_{x1} + k_2 \sum_{x=1}^m w_{x2} + k_3 \sum_{x=1}^m w_{x3} + k_4 \sum_{x=1}^m w_{x4} + k_5 \sum_{x=1}^m w_{x5}}{n \cdot m} + \frac{k_6 \sum_{x=1}^m w_{x6} + k_7 \sum_{x=1}^m w_{x7} + k_8 \sum_{x=1}^m w_{x8}}{n \cdot m}.$$

6) Рассчитать значение критерия Ω по формуле в пункте 5 при условии равнозначности всех восьми принципов:

$$k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = k_5 = k_6 = k_7 = k_8 = 0,125.$$

7) Формула расчета критерия Ω приобретает простой вид:

$$\Omega = \frac{1}{8nm} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n w_{xy}.$$

Полученные результаты позволяют определить соответствие каждого графического элемента человеко-машинного интерфейса принципам восприятия визуальной информации.

При использовании предложенного алгоритма с комплексом критериев восприятия визуальной информации при валидации графической информации на человеко-машинном интерфейсе достигается более точная оценка, позволяющая повысить качество требований к отображению графической информации с уменьшением возможности человеческой ошибки и повышением безопасности полетов.

Заключение

В статье предложено описание разработанного человеко-машинного интерфейса системы самолетовождения для перспективных гражданских самолетов. Описаны направления развития, существующие решения, а также требования нормативно-технической документации, предъявляемые к данному типу интерфейсов.

Предложен ряд решений, реализующий новые способы представления информации и обеспечивающего интуитивное и надежное взаимодействие с экипажем.

Внедрение предлагаемых решений позволяет снизить:

- время подготовки самолета к вылету;
- сроки обучения экипажа для работы с системой;
- нагрузку на экипаж на всех этапах полета.

Предлагаемый интерфейс применим ко всей линейке отечественных самолетов:

- дальнемагистральный — CR929;
- среднемагистральный — MC-21;
- ближнемагистральный — SSJ-NEW.

Предлагаемый интерфейс применим ко всей линейке современных отечественных самолетов.

Литература

1. Лебедев Г. Н., Михайлин Д. А., Неретин Е. С., Лунев Е. М., Курмаков Д. В. Современные подходы к проектированию систем управления беспилотными летательными аппаратами. – М.: Изд-во МАИ, 2015. – 132 с.
2. Поляков В. Б., Неретин Е. С., Иванов А. С., Будков А. С., Дяченко С. А., Дудкин С. О. Архитектура перспективных комплексов управления бортовым оборудованием – Труды МАИ, 2018. №100. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=93459>. (24.09.18).
3. Federal Aviation Administration. «The National Plan for Aviation Human Factors». Washington, D.C.
4. Черный М. А. Самолетовождение: учебное пособие для школ гражданской авиации. – М.: Изд-во «Транспорт», 1973. – 368 с.
5. ARINC Specification 702A «Advanced flight management computer system», December 15, 2014.
6. Ramasamy S., Sabatini R., Gardi A., Liu Y. Novel flight management system for real-time 4-dimensional trajectory based operations – AIAA Guidance, Navigation, and Control conference, 2014. – pp. 1–16.

7. *Timar S., Hunter G., Post J.* Assessing the benefits of NextGen performance based navigation (PBN) – Air Traffic Management Research and Development Seminar, 2014. – pp. 1–9.
8. *Mazzotta D.* Guidance navigation and control techniques for 4D trajectory optimization satisfying waypoint and no-fly zone constraints – PEGASUS-AIAA Conference, 2016. – pp. 190–200.
9. *Лунев Е. М., Неретин Е. С., Будков А. С.* Разработка и исследование модели траекторного управления самолетом при полете по маршрутам четырехмерной зональной навигации. Труды МАИ, 2017. №95. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=63034>. (24.09.18).
10. *Лунев Е. М., Неретин Е. С., Будков А. С.* Проведение тестирования разработанных алгоритмов траекторного управления на стенде поискового моделирования. Труды МАИ, 2018. №98. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=90385> (21.09.2018).
11. Flight management systems on commercial aircraft-past, present and future. URL: <http://www.e-ope.ee/download/eunirepository/file/1458/course.zip/FMSarticlebyairbus.pdf> ().
12. EASA «Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes» (CS-25), Amendment 12, 13 July 2012. – 885 p.
13. Квалификационные требования КТ-178С «Требования к программному обеспечению бортовой аппаратуры и систем при сертификации авиационной техники», Авиарегистр МАК, 22.11.2016 г.
14. RTCA/DO-178C «Software considerations in airborne systems equipment certification», USA, Washington, 13 December 2011. – 144 p.
15. Руководство Р-4754А по разработке воздушных судов гражданской авиации и систем. – М.: АР МАК, 2016. – 131 с.

16. FAA AC 20-138D «Airworthiness Approval of Positioning and Navigation Systems», 28 March, 2014.
17. ARINC Specification 661-5 «Cockpit display system interfaces to user systems», 1 July, 2013. – 563 p.
18. *Гингер С.* Гештальт-терапия контакта, 1999.
19. *Mayer R. E.* Multimedia Learning. New-York: Cambridge University Press, 2009.
20. *Голуб Б. А.* Основы общей дидактики. Учеб. пособие для студ. Педвузов. – М.: Туманит, изд. центр ВЛАДОС, 1999. – 96 с.
21. *Silin N., Ivanov A.* «Development of Guideliance on the use of Color Solution for Electronic Indication Systems when Designing Human-Machine Interface of Civil Aircraft Objects». Springer Nature: Lecture Notes in Mechanical Engineering. «Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation», 20 October 2022. – pp. 145–155.
22. *Головач В.* «Дизайн Пользовательского Интерфейса». – М.: 2001. – 147 с. – издание в формате PDF. – С. 80–84.
23. *Горячкин Б. С.* «Эргономическое обеспечение АСОИУ: Научные материалы МГТУ им. Н.Э. Баумана». – М.
24. *Мандел Т.* «Разработка пользовательского интерфейса». – М.: ДМК Пресс, 2001. – 416 с. ISBN 5-94074-069-3. – С. 5–18.
25. *Торрес Р. Дж.* «Практическое руководство по проектированию и разработке пользовательского интерфейса»: Пер. с англ. – М.: Вильяме, 2002. / Электронный ресурс.