

На правах рукописи



Степнова Елена Ивановна

**АДАПТИВНЫЙ ПИЛОТАЖНО-
НАВИГАЦИОННЫЙ ИНДИКАТОР БОРТОВОЙ
ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

Специальность: 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной
техники и систем управления

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ульяновск – 2022

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет».

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Измерительно-вычислительные комплексы» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»,
Киселев Сергей Константинович

Официальные оппоненты:

Михеев Михаил Юрьевич,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», кафедра «Информационные технологии и системы», зав. кафедрой

Неретин Евгений Сергеевич,
кандидат технических наук, доцент,
Филиал ПАО «Корпорация «Иркут» «Центр комплексирования», заместитель начальника отдела систем самолетовождения

Ведущая организация – **ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации имени главного маршала авиации Б.П. Бугаева», г. Ульяновск**

Защита состоится «28» сентября 2022 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д212.277.04 при ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» по адресу: 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32 (ауд. 211, Главный корпус).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет». Диссертация и автореферат размещены на сайте <http://www.ulstu.ru/>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



А.М. Наместников

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Постоянное совершенствование авиационной техники с заменой технически устаревшего парка воздушных судов (ВС) на современные типы сопровождается увеличением количества контролируемых показателей на протяжении всего полетного времени, сокращением числа членов экипажа ВС, а также увеличением количества полетов.

Пилот считывает показания различных элементов системы отображения информации (СОИ) с различной частотой в зависимости от динамичности визуализируемой ими информации и выполняемой пилотажной задачи, «при этом уменьшение доли внимания к тому или иному прибору часто диктуется отсутствием времени, а не уменьшением потребности в информации».

Динамичность взаимодействия пилота с ВС требует от пилота такой организации его зрительной деятельности, при которой он способен оперативно получить с СОИ необходимую информацию, воспринять и переработать ее для своевременного и грамотного принятия решения.

В настоящее время современные разработки бортового оборудования позволяют автоматизировать процесс пилотирования ВС, что значительно позволяет снизить нагрузку на пилота. Однако, применение автоматизированной системы может привести к излишней уверенности членов экипажа и чрезмерному доверию к технике. Автоматизированная система должна применяться только для того, чтобы освободить пилота от рутинной умственной работы, связанной с вычислениями, но никак не освобождать пилота от управления самолетом и контроля за пилотажной обстановкой. Полностью исключить пилота из эргатической системы «Человек – ВС» невозможно, поскольку необходим постоянный контроль над процессом пилотирования и при особых ситуациях именно за пилотом всегда остается управление ВС.

На всех этапах полета пилоты непрерывно взаимодействуют с пилотажно-навигационным индикатором, на котором отображены скоростные параметры, высотные параметры, навигационные данные, параметры состояния топливной системы, сигнальная информация, параметры состояния самолета и др.

При автоматическом пилотировании ВС пилоты систематически контролируют положение самолета по пилотажно-командному прибору, по пилотажно-навигационным приборам, вариометрам, высотомерам, указателям скорости, авиагоризонту и индикатору курсовых углов. При этом зрительная нагрузка не уменьшается.

На сегодняшний день, на рабочем месте пилота не представляется возможным провести объективную оценку сенсорных нагрузок. Методика, изложенная в Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» и в проекте приказа Минтруда России «Об утверждении особенностей проведения специальной оценки условий труда на рабочих местах членов

летных и кабинных экипажей воздушных судов гражданской авиации» (далее – проект приказа Минтруда России) не реализуема для данной категории работников.

Реальные значения (уровни) сенсорных нагрузок значительно превышают не только максимальные значения, установленные Руководством Р 2.2.2006-05 и проектом приказа Минтруда России, но и уровни сенсорных нагрузок в сравнении с другими, схожими по характеру трудового процесса профессиональными группами, достигая превышения по некоторым показателям в 7,5 раз.

Существующие методики не описывают порядок проведения и оценки сенсорных нагрузок, не учитывают специфические особенности трудового процесса пилотов, а количественные критерии сенсорных нагрузок не отражают реальных уровней, которым подвергаются работники, что подтверждает невозможность использования этих методик для объективной оценки условий труда.

Таким образом, исследование возможности снижения зрительной нагрузки пилотов на всех этапах полета воздушного судна на сегодняшний день является актуальным, способствует обеспечению безопасности полетов.

Снижение зрительной нагрузки пилотов возможно через адаптивное формирование состава и отображение пилотажно-навигационной информации на экране многофункционального индикатора. Сокращение состава отображаемой информации снижает зрительную нагрузку, у пилота появляется резерв времени для оценки пилотажной обстановки, правильного и надежного восприятия информации, ее переработки и принятия решения.

Перспективность адаптивного формирования визуального интерфейса «Человек – ВС» отмечается в работах Солдаткина В.М., Макарова Н.Н., Жаринова И.О., Кучерявого А.А. и др.

Целью диссертационной работы является снижение зрительной нагрузки пилотов посредством адаптивного функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации, что способствует повышению безопасности полета.

В соответствии с поставленной целью в работе **решены следующие задачи:**

- проведен анализ зрительной нагрузки пилота по отображаемой и сигнализируемой пилотажно-навигационной информации летательного аппарата;

- определены пилотажные параметры, повышающие зрительную нагрузку пилота, при этом не влияющие на успешное выполнение плана полета на различных этапах;

- предложен принцип адаптивного функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации на всех этапах полета воздушного судна;

- разработана математическая модель обработки данных для адаптивного функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации;

- проведена оценка зрительной нагрузки пилотов при адаптивном отображении и сигнализации пилотажной информации на экране многофункционального индикатора.

Объектом исследования в диссертационной работе является процесс логической обработки пилотажно-навигационной информации для адаптивного функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации.

Предметом исследования являются средства адаптации (алгоритмы, модель) функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации.

Методы исследований. В ходе выполнения исследований использовались методы анализа информации, математического и логического моделирования, сравнения и классификации данных.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Результаты анализа отображаемой и сигнализируемой на экране многофункционального индикатора пилотажно-навигационной информации и действий экипажа, показывают, что часть постоянно отображаемых и сигнализируемых параметров не участвуют в управлении вниманием командира воздушного судна и второго пилота на различных этапах полета, что приводит к необоснованному повышению их зрительной нагрузки.

2. Принцип адаптивного функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации, заключающийся в автоматическом определении этапа полета на основе логики работы воздушного судна и изменении состава отображаемой и сигнализируемой информации с целью снижения зрительной нагрузки экипажа без потери качества восприятия полетной обстановки.

3. Математическая модель обработки данных для адаптации состава пилотажно-навигационных параметров, отображаемых и сигнализируемых на экране многофункционального индикатора, основанная на бинарном отношении множества этапов полета и условий полета.

4. Результаты сравнительной оценки зрительной нагрузки пилотов при различных режимах отображения и сигнализации пилотажно-навигационной информации, которые подтверждают эффективность адаптивного функционирования индикатора.

Научная новизна работы заключается в том, что:

- принцип функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации, отличается адаптивным изменением на основе логики работы воздушного судна состава отображаемой и сигнализируемой информации;

- математическая модель обработки данных в адаптивном индикаторе, построена на специальном целевом бинарном соотношении множества этапов полета и условий полета;

- алгоритм автоматического определения этапа полета отличается тем, что позволяет определять этап полета на основе информации о следующих параметрах: наличие/отсутствие сигнала «шасси обжато», положение топливного крана, скорость, положение рычага управления двигателем, высота.

Теоретическая значимость полученных результатов:

- принцип адаптивного функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации, отличающийся изменением состава отображаемой и сигнализируемой информации на основе логики работы воздушного судна может быть использован при проектировании перспективных систем индикации, таких как система индикации на лобовом стекле, нашлемной системы индикации, где индикация должна быть ограничена основными параметрами, чтобы как можно меньше заслонять пилоту поле зрения;

- алгоритм автоматического определения этапа полета, реализованный в адаптивном индикаторе, может быть использован для настройки графического пользовательского интерфейса управления бортовыми системами управления;

- разработанная математическая модель обработки данных, основанная на бинарном отношении множества этапов полета и условий полета, позволяет определять и адаптировать состав информации для отображения и сигнализации работы других бортовых систем, таких как система управления общесамолетным оборудованием, бортовая система контроля данных и др.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что полученные в ней результаты позволяют:

- снизить зрительную нагрузку пилотов по пилотажно-навигационной информации на всех этапах полета ВС;

- повысить безопасность полета за счет появления у пилота резерва времени на обработку дополнительной пилотажной информации и оценку полетной обстановки.

Внедрение результатов.

Полученные научные и практические результаты внедрены в АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения» при разработке систем отображения информации.

Личный вклад автора заключается в определении и постановке задач диссертационного исследования, проведении анализа зрительной нагрузки пилота по отображаемой и сигнализируемой пилотажно-навигационной информации летательного аппарата на каждом этапе полета, разработке принципа адаптивного функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации, апробации результатов в виде научных докладов и научных публикаций в научных изданиях.

Достоверность результатов. Достоверность проведенных теоретических исследований обеспечивается математическим обоснованием разработанного принципа адаптивного формирования состава пилотажно-навигационных параметров на экране многофункционального индикатора ВС.

Апробация результатов. Результаты выполненных исследований докладывались на:

- 48-й – 53-й научно-технических конференциях «Вузовская наука в современных условиях» (г. Ульяновск, УлГТУ, 2014 – 2019 г.г.); 6-й Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых «Информатика и вычислительная техника» ИВТ – 2014 (г. Ульяновск, УлГТУ, 2014); Пятом Ульяновском молодежном инновационном

форуме. Конкурсе научно-технического творчества молодежи (НТТМ) (г. Ульяновск, УлГТУ, 2016); Юбилейной VI Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки» (г. Воронеж, ВУНЦ ВВС «ВВА», 2019); XXV Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь», посвященной 160-летию со дня рождения А.С. Попова (г. Воронеж, АО «Концерн «Созвездие», 2019); XXIV Туполевских чтениях (школа молодых ученых): Международной молодёжной научной конференции (г. Казань, КНИТУ – КАИ, 2019).

Публикация результатов. Основные результаты диссертации опубликованы в 16 работах автора: 3 статьи в рецензируемых журналах, утвержденных ВАК РФ для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, 1 статья в журнале, индексируемом в SCOPUS, 3 статьи размещены в системе Российского индекса научного цитирования Научной электронной библиотеки (РИНЦ), 9 работ в сборниках трудов международных конференций и других рецензируемых изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложений. Диссертация содержит 220 страниц текста, 75 рисунков, 19 таблиц, библиографию из 83 наименований и 4 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна результатов работы и положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ режимов полета летательного аппарата (ЛА). Выделены основные задачи, выполняемые пилотами в процессе управления воздушным судном. Проанализированы факторы, влияющие на каждый этап полета ВС, и описаны методы и средства обеспечения безопасности функционирования бортовой эргатической системы управления (БЭСУ) и предотвращения критических режимов. Рассмотрен подход к совершенствованию интерфейса «Человек – ВС» с использованием информативных функций безопасности функционирования БЭСУ.

Для анализа влияния «человеческого фактора» в авиационной аварийности гражданской авиации использована модель SHELL: S – SOFTWARE (правила, руководства, символы и т. д.) – процедуры; H – HARDWARE (машина) – объект; L – LIVESWARE (человек) – субъект; E – ENVIRONMENT (ситуация, в которой должны функционировать остальные составляющие системы L – H – S) – окружающая среда. Модель описывает взаимодействие компонентов системы «Человек – Машина – Среда» и в приложении к авиации позволяет раскрыть особенности взаимодействия между пилотами, пилота с ВС, пилота с процедурами управления ВС и пилота с окружающей средой.

Приведенная статистика авиационных происшествий и анализ факторов, повлиявших на них, показывают, что немаловажную роль в возникновении происшествий играют эргономические (неоднозначные реакции на показания приборов) и психофизиологические (незаметные для восприятия признаки возникновения особой ситуации, мешающий фон для восприятия значимой информации, высокая потребная скорость реакции, недоступная человеку-оператору) факторы. Эти факторы непосредственно связаны с надежностью восприятия информации пилотом. Проблема заключается в том, что количество информации, передаваемой по интерфейсу «Человек – ВС», постоянно растет, а возможности пилота ограничены. На взаимодействие человека с машиной (L – H) влияет замедленная реакция, ограниченная память, ограниченная пропускная способность у человека. За счет натренированности, улучшения условий деятельности можно увеличить пропускную способность членов экипажа. Но затем наступает перенасыщение, следствием которого являются утомление, ошибки, задержка реакции. Поэтому в большом числе случаев причиной авиационных происшествий оказываются ошибки пилота, вызванные переизбытком информации и дефицитом времени на обработку пилотажной ситуации и оценку полетной обстановки.

Вероятность ошибок членов экипажа возрастает при возникновении в полете особых ситуаций, которые подразделяются на катастрофические, аварийные, сложные и усложненные условия полета. Информирование экипажа о приближении ВС к особым ситуациям и, тем более, о факте возникновения такой ситуации, крайне важно для своевременного изменения управления и обеспечения регламентированного уровня безопасности полета. Для этого используются информативные функции безопасности (опасности) функционирования БЭСУ, позволяющие оценивать изменения уровня безопасности полета при воздействии на элементы эргатической системы различных неблагоприятных факторов, идентифицировать уровень безопасности текущего режима полета и степень опасности возникающих нештатных ситуаций.

Информативные функции безопасности функционирования БЭСУ могут быть как частные $\Phi_{ав}^{x_i} = f(x_i)$, определяющие текущий уровень безопасности полета при изменении одного критического параметра x_i , так и интегральные $\Phi_{ав}(x_1, x_2, \dots, x_n)$, определяющие изменение уровня безопасности режима полета в целом (1):

$$\Phi_{ав}(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \Phi_{ав}^{x_i}) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - f(x_i)] \sim P_{ав}(x_1, \dots, x_n), \quad (1)$$

где $P_{ав}(x_1, \dots, x_n)$ – вероятностный показатель безопасности полета при воздействии n критических параметров x_1, x_2, \dots, x_n .

Строятся информативные функции безопасности функционирования по значениям вероятностных показателей опасности режима полета $P_{ав}(x_1, \dots, x_n)$ и критических параметров x_i и на границах особых ситуаций, где связь между ними однозначно определена.

Использование информативных функций безопасности позволяет перестраивать интерфейс «Человек – ВС» в зависимости от складывающейся

ситуации. Эта перестройка касается объема предоставляемой экипажу информации, способов ее представления и уровня автоматизации функций.

Таким образом, использование информативных функций безопасности обеспечивает информационную поддержку экипажа – они помогают определять текущий уровень безопасности полета, идентифицировать вид возникающей особой ситуации, прогнозировать ее развитие, формировать своевременные команды – «подсказки» экипажу и управляющие сигналы, позволяющие корректировать алгоритмы штурвального или автоматического управления воздушным судном, режимы работы элементов общесамолетных систем и бортового интегрированного комплекса оборудования по эффективному парированию последствий нарушений функционирования БЭСУ. При правильном учете человеческого фактора использование информативных функций безопасности функционирования позволяет освободить экипаж от выполнения определенных действий и, таким образом, понизить рабочую нагрузку на тех этапах полета, когда она достигает пределов эксплуатационной приемлемости. Аналогичный подход может быть использован при адаптации визуального интерфейса «Человек – ВС», реализуемого СОИ ЛА.

Во второй главе проводится анализ особенностей функционирования на различных этапах выполнения полета и в различных ситуациях визуального интерфейса «Человек – ВС», реализуемого комплексно-пилотажным индикатором.

Информационный формат комплексно-пилотажного индикатора является одним из самых сложных и насыщенных на приборной доске ВС. Индикатор отображает данные о пространственном положении ВС – текущий крен, тангаж, курс, высотнo-скоростные параметры, местоположение, режимы работы САУ, окружающую воздушную обстановку от TCAS (Traffic Collision Avoidance System – система предупреждения столкновения самолётов в воздухе), аварийную и предупреждающую сигнализацию, отклонение от линии захода на посадку и т.д.

Не все параметры, представленные на формате, в равной степени участвуют в управлении вниманием экипажа воздушного судна на разных этапах полета.

Для определения параметров, важных для управления полетом ВС на каждом этапе, проведен анализ алгоритмов управления вниманием в процессе выполнения полета и распределения действий пилотов (командира ВС и второго пилота). Это позволило провести классификацию всех отображаемых пилотажно-навигационных параметров, выводимых на индикацию, с точки зрения их важности управления вниманием экипажа на различных этапах полета воздушного судна. При анализе учитывались различные режимы выполнения полета – режим автоматического пилотирования, режим директорного управления при заходе на посадку и т.д.

Результаты классификации показали, что число важных параметров на этапах различно и они часто относятся к разным группам физических

параметров движения самолета. Так, например, при взлете в процессе разбега необходимо контролировать направление и скорость движения самолета вдоль осевой линии взлетно-посадочной полосы (ВВП), непосредственно при отрыве передней стойки от ВВП и переходе к первоначальному набору высоты – внимание направляется на получение информации о перегрузке и изменении тангажа, после отрыва особое значение приобретает контроль показаний указателя углов атаки и т.д.

Проведенное исследование особенностей функционирования визуального интерфейса «Человек – ВС» показало, что для уменьшения зрительной нагрузки членов экипажа необходимо и возможно сократить поток информации до необходимого минимума – экипаж должен получать информацию о параметрах полета, которые важны на текущем этапе полета. Остальные параметры могут отображаться по запросу пилота и выключаться, если они не нужны, без потери качества восприятия полетной обстановки.

В третьей главе разработан и описан принцип адаптивного функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации.

Принцип адаптивного функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации, заключаются в том, что должно проводиться изменение состава отображаемой и сигнализируемой информации с учетом логики и складывающихся условий работы воздушного судна на текущем этапе полета.

Для реализации адаптивного функционирования индикатора разработан алгоритм автоматического определения этапа полета ВС, таблица 1, заключающийся в определении этапа полета ВС в зависимости от положения опор шасси, топливных кранов, рулей управления двигателями, высоты и скорости полета.

Таблица 1 – Алгоритм определения этапов полета ВС

Наименование этапа	Условия определения этапа полета
Руление	[Хотя бы одна пара опор шасси обжата] И [Краны топливные перекрывные (пожарные) открыты] И НЕ [Стояночный тормоз включен] И ([Скорость путевая ≤ 50])
Разбег до скорости принятия решения (V_1)	[Хотя бы одна пара опор шасси обжата] И [Краны топливные перекрывные (пожарный) открыты] И [РУДы во взлетном положении] И ($50 < \text{Скорость путевая} < V_1$)
Разбег от V_1 до отрыва	[Хотя бы одна пара опор шасси обжата] И [Краны топливные перекрывные (пожарные) открыты] И [РУДы во взлетном положении] И ([Скорость путевая $\geq V_1$])
Взлет ($PВ \leq 250$ м)	[Хотя бы одна пара опор шасси не обжата] И ([РУДы во взлетном положении]) И ([Радиовысота $PВ \leq 250$])
Набор ($PВ = 250 \div 450$ м)	[Хотя бы одна пара опор шасси не обжата] И ([РУДы в промежуточном положении] И ($250 < \text{Радиовысота } PВ \leq 450$])
Полет по маршруту	[Хотя бы одна пара опор шасси не обжата] И ([Радиовысота $PВ > 450$] ИЛИ [Высота барометрическая $СВС > 450$])
Посадка до высоты принятия решения ($PВ = 450 \div 60$ м)	[Хотя бы одна пара опор шасси не обжата] И [Сигнал интегральный «Посадка»] И (НЕ [РУДы во взлетном положении]) И ($60 \leq \text{Радиовысота } PВ \leq 450$)

Окончание таблицы 1

Наименование этапа	Условия определения этапа полета
Посадка после высоты принятия решения (РВ < 60 м)	[Хотя бы одна пара опор шасси не обжата] И [Сигнал интегральный «Посадка»] И ([Радиовысота РВ < 60])
Пробег	[Хотя бы одна пара опор шасси обжата] И (НЕ [РУДы в промежуточном положении]) И ([Скорость путевая > 50])
Заруливание	[Хотя бы одна пара опор шасси обжата] И ([Краны топливные перекрывные (пожарные) ДВ открыты]) И НЕ [Стояночный тормоз включен] И ([Скорость путевая ≤ 50])

Представлен вид отображения информации на каждом этапе полета при адаптивном способе формирования состава пилотажно-навигационных параметров и при отображении информации без адаптации при нормальных условиях, при условии наличия нажатых кнопок, при приближении к максимально допустимым значениям, при приближении к максимально допустимым значениям и при условии наличия нажатых кнопок.

Изменение состава пилотажно-навигационной информации, выводимой на экран многофункционального индикатора в зависимости от различных условий, представлено на примере этапа взлета ВС на рисунке 1.

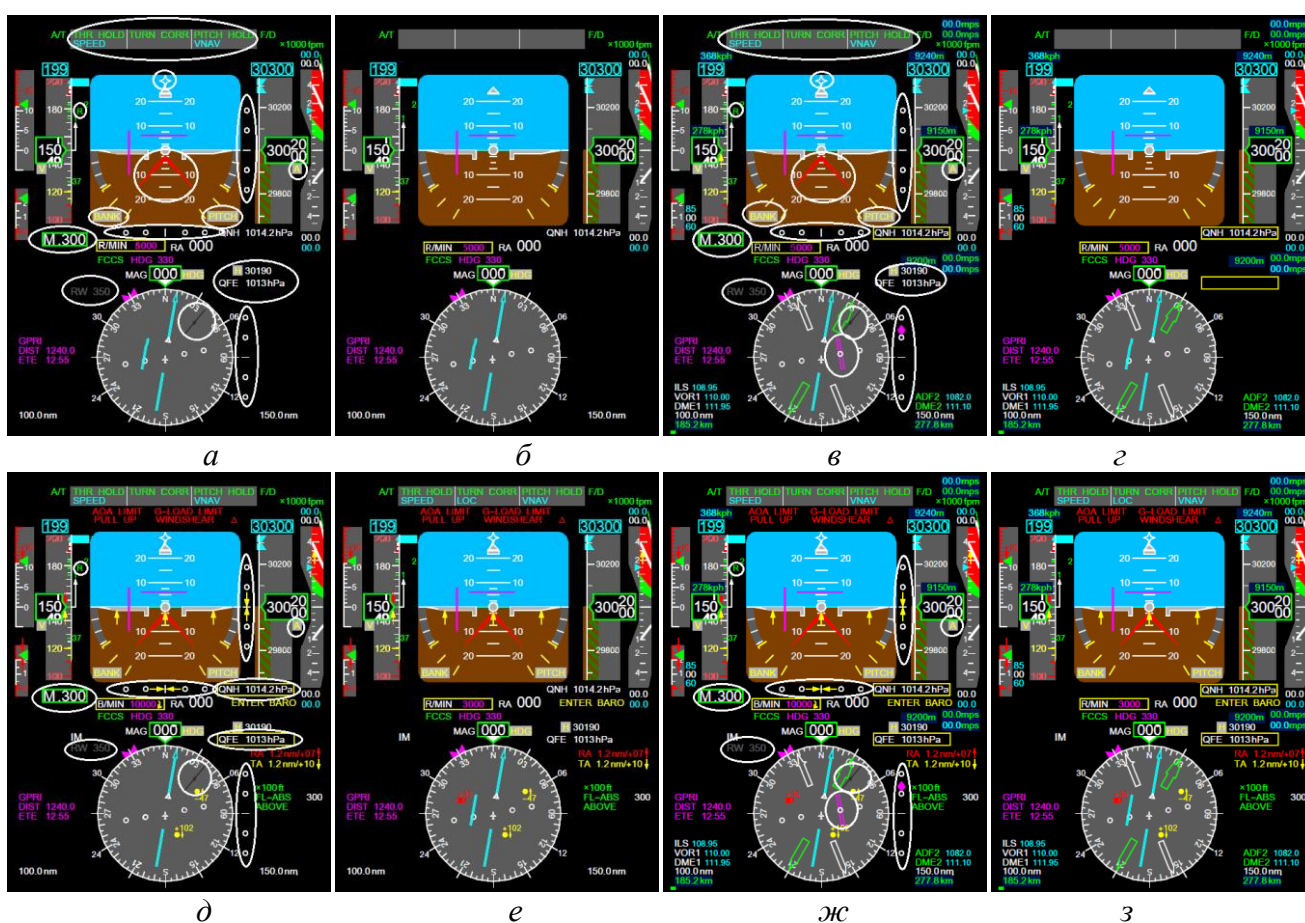


Рисунок 1 — Состав пилотажно-навигационной информации, выводимой на экран многофункционального индикатора в зависимости от различных условий, на этапе взлета ВС

Информация, отображаемая без адаптации при нормальных условиях, приведена на рисунке 1а, при адаптивном способе формирования состава пилотажно-навигационных параметров при нормальных условиях – на рисунке 1б, отображаемая без адаптации при условии наличия нажатых кнопок – на рисунке 1в, отображаемая при адаптивном способе формирования состава пилотажно-навигационных параметров при условии наличия нажатых кнопок – на рисунке 1г, отображаемая без адаптации при приближении к максимально допустимым значениям – на рисунке 1д, отображаемая при адаптивном способе формирования состава пилотажно-навигационных параметров при приближении к максимально допустимым значениям – на рисунке 1е, отображаемая без адаптации при одновременной реализации условий приближения к максимально допустимым значениям и наличии нажатых кнопок – на рисунке 1ж, отображаемая при адаптивном способе формирования состава пилотажно-навигационных параметров при одновременной реализации условий приближения к максимально допустимым значениям и наличии нажатых кнопок – на рисунке 1з. Информация, не выводимая на экран многофункционального индикатора при адаптивном способе отображения, обведена.

Алгоритм адаптивного формирования состава и передачи на индикацию пилотажно-навигационной информации представлен через отношения множеств: множества этапов полета (2) и множества условий полета (3).

$$M_9 = \{\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_i / \mathcal{E}_1 \in M_9, \mathcal{E}_2 \in M_9, \dots, \mathcal{E}_i \in M_9\}, \quad (2)$$

где M_9 – множество этапов полета;

$\mathcal{E}_1, \dots, \mathcal{E}_i$ – этапы полета ВС.

$$M_y = \{M_{y1}, M_{y2}, M_{y3}, \dots, M_{yj} / M_{y1} \in M_y, M_{y2} \in M_y, \dots, M_{yj} \in M_y\}, \quad (3)$$

где M_y – множество условий полета;

M_{y1}, \dots, M_{yj} – подмножества условий полета ВС.

Подмножества условий полета представляют собой группы элементов (этапа полета $\mathcal{E}_1, \dots, \mathcal{E}_i$, наличие нормальных условий отображения C_1 , условия наличия нажатых кнопок C_2 , наличие условий приближения к предельным значениям C_3 , отсутствие условий наличия нажатых кнопок $\overline{C_2}$, отсутствие условий приближения к предельным значениям $\overline{C_3}$) принадлежащих множества M_{y1}, \dots, M_{yj} и имеют следующий вид (4):

$$\begin{aligned} M_{y1} &= \{\mathcal{E}_1, C_1, \overline{C_2}, \overline{C_3} / \mathcal{E}_1 \in M_{y1}, C_1 \in M_{y1}, \overline{C_2} \in M_{y1}, \overline{C_3} \in M_{y1}\}, \\ M_{y2} &= \{\mathcal{E}_1, C_1, C_2, \overline{C_3} / \mathcal{E}_1 \in M_{y2}, C_1 \in M_{y2}, C_2 \in M_{y2}, \overline{C_3} \in M_{y2}\}, \\ M_{y3} &= \{\mathcal{E}_1, C_1, \overline{C_2}, C_3 / \mathcal{E}_1 \in M_{y3}, C_1 \in M_{y3}, \overline{C_2} \in M_{y3}, C_3 \in M_{y3}\}, \\ M_{y4} &= \{\mathcal{E}_1, C_1, C_2, C_3 / \mathcal{E}_1 \in M_{y4}, C_1 \in M_{y4}, C_2 \in M_{y4}, C_3 \in M_{y4}\}, \\ M_{y5} &= \{\mathcal{E}_2, C_1, \overline{C_2}, \overline{C_3} / \mathcal{E}_2 \in M_{y5}, C_1 \in M_{y5}, \overline{C_2} \in M_{y5}, \overline{C_3} \in M_{y5}\}, \\ &\dots \\ M_{yj} &= \{\mathcal{E}_i, C_1, C_2, C_3 / \mathcal{E}_i \in M_{yj}, C_1 \in M_{yj}, C_2 \in M_{yj}, C_3 \in M_{yj}\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Комбинации элементов $C_1, C_2, C_3, \overline{C_2}, \overline{C_3}$ на этапах полета $\mathcal{E}_1, \dots, \mathcal{E}_i$, принадлежащие множествам M_{y1}, \dots, M_{yj} , представляют собой набор элементов пилотажных параметров выводимых на индикацию (5):

$$\begin{aligned} Y_1 &= \mathcal{E}_1 \cap C_1 \cap \overline{C_2} \cap \overline{C_3} = \Pi_1 \cap \Pi_2 \cap \Pi_3 \cap \dots \cap \Pi_l, \\ Y_2 &= \mathcal{E}_1 \cap C_1 \cap C_2 \cap \overline{C_3} = \Pi_1 \cap \Pi_2 \cap \Pi_3 \cap \dots \cap \Pi_m, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\dots$$

$$Y_k = \mathcal{E}_i \cap C_1 \cap C_2 \cap C_3 = \Pi_1 \cap \Pi_2 \cap \Pi_3 \cap \dots \cap \Pi_n,$$

где Y_1, \dots, Y_k – условия отображения пилотажных параметров;

$\Pi_1, \dots, \Pi_i; \Pi_1, \dots, \Pi_m; \Pi_1, \dots, \Pi_n$ – элементы пилотажных параметров, выводимых на индикацию;

\cap – логическое «И».

Бинарное отношение множеств представляет собой декартово произведение множества M_x и M_y (6) и имеет вид согласно (7):

$$M = \{(\mathcal{E}_i, Y_k) / \mathcal{E}_i \in M_x, Y_k \in M_y\}. \quad (6)$$

$$R = \{(\mathcal{E}_1, Y_1) (\mathcal{E}_1, Y_2) (\mathcal{E}_1, Y_3) (\mathcal{E}_1, Y_4) (\mathcal{E}_2, Y_5) \dots (\mathcal{E}_i, Y_k)\}, \quad (7)$$

где R – бинарное отношение.

Операции на множествах графически представлены в работе в виде кругов Эйлера-Венна, когда множествам сопоставляются замкнутые фигуры на плоскости, взаимное расположение которых определяет результат операции.

Графическое представление отношения множества этапов полета к множеству условий полета на этапе разбега представлено с помощью диаграмм Эйлера-Венна на рисунке 2.

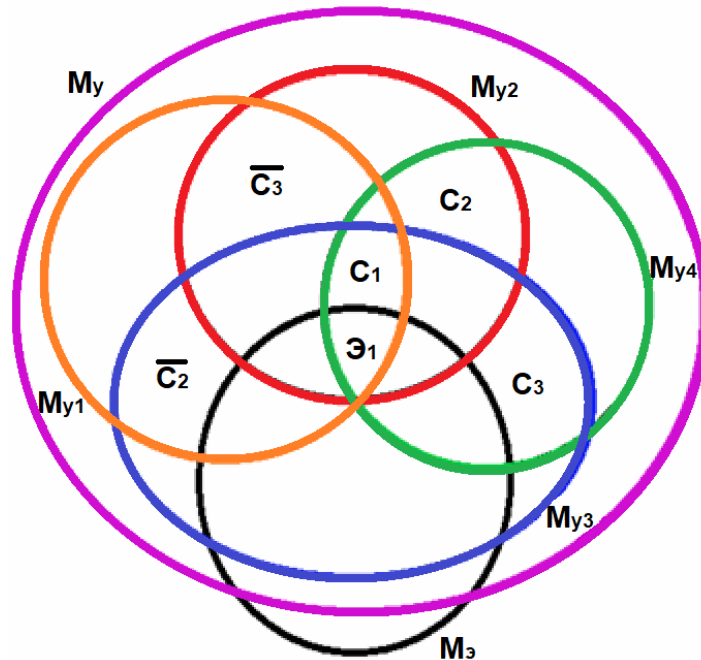


Рисунок 2 – Отношение множеств на этапе руления

Аналогичные диаграммы Эйлера-Венна построены для всех остальных этапов полета.

Логика адаптивного способа отображения и сигнализации пилотажной информации представлена в (8):

$O = (\mathcal{E}_1 \cap Y_1) \cup (\mathcal{E}_1 \cap Y_2) \cup (\mathcal{E}_1 \cap Y_3) \cup (\mathcal{E}_1 \cap Y_4) \cup (\mathcal{E}_2 \cap Y_5) \cup \dots \cup (\mathcal{E}_i \cap Y_k)$, (8)
 где O – отображение и сигнализация пилотажной информации;

\cap – Логическое «И»;

\cup – логическое «ИЛИ».

Логическую реализацию адаптивного способа отображения и сигнализации информации можно представить в виде блок-схемы алгоритма, рисунок 3. Схема дает наглядное представление об алгоритме обработки пилотажно-навигационной информации при адаптивном способе формирования состава и передачи на индикацию пилотажно-навигационной информации, показывает зависимость информации, выводимой на индикацию комплексно-пилотажного индикатора, от этапа полета ВС и условий, влияющих на ее формирование (наличие нажатых кнопок и приближение отдельных параметров к предельным значениям).

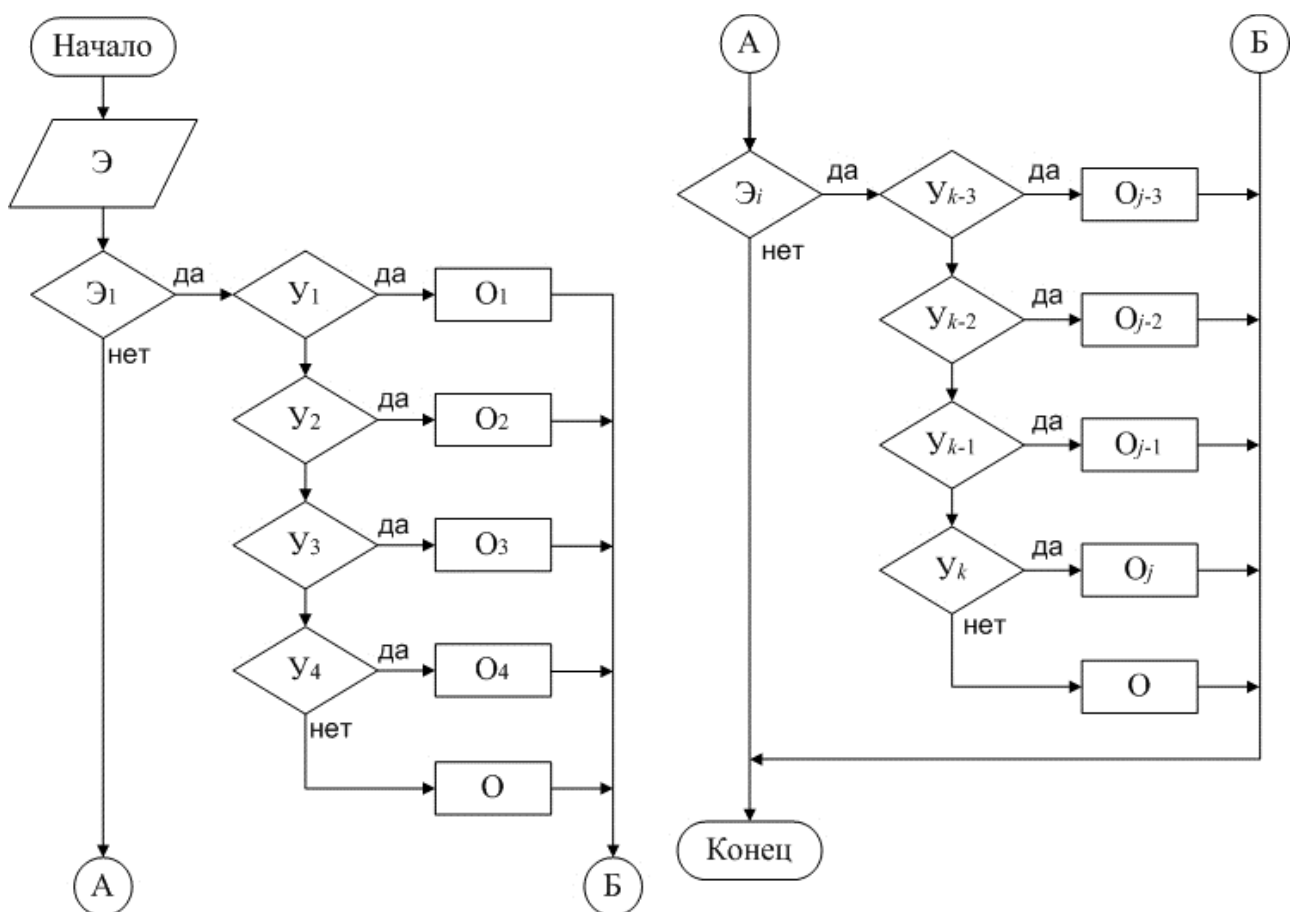


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма адаптивного способа отображения и сигнализации пилотажной информации

Также для безопасности полета для каждого параметра введены границы, при превышении которых параметры будут сигнализировать пилоту о превышении, или, если на данном этапе полета параметр не отображался, то при приближении этого параметра к предельно-допустимому значению, шкала будет выведена на индикацию.

В четвертой главе сравниваются оценки зрительной нагрузки пилотов при различных режимах отображения и сигнализации пилотажно-навигационной информации.

Относительная зрительная нагрузка пилота определялась по формуле (9):

$$\lambda = T_{\phi} \sum_{i=1}^N f_i, \quad (9)$$

где λ – относительная зрительная нагрузка пилота;

T_{ϕ} – среднее время снятия пилотом показания с индикатора;

f_i – минимально необходимая частота наблюдения i -го пилотажного параметра (ПП) ($i = 1, \dots, N$).

Проведена оценка зрительной нагрузки пилотов при полном выводе на индикацию всего состава пилотажно-навигационной информации и при адаптивном под этапы полета способе формирования информации. Оценка включала расчет зрительной нагрузки пилота при нормальных условиях, при наличии нажатых кнопок, при приближении к допустимым значениям и при наличии нажатых кнопок и приближении к допустимым значениям.

Так, например, сравнительные результаты расчета зрительной нагрузки пилотов при нормальных условиях представлены в таблице 2 и на рисунке 4. Для приведенных данных среднее время снятия пилотом показания с индикатора $T_{\phi} = 0,4$ с.

Т а б л и ц а 2 – Расчет зрительной нагрузки пилотов при нормальных условиях ($T_{\phi} = 0,4$ с)

Условия отображения	Этап полета	Обычное функционирование индикатора		Адаптивное функционирование индикатора	
		Общая частота наблюдения ПП, Гц	Нагрузка	Общая частота наблюдения ПП, Гц	Нагрузка
Нормальные условия	Руление	3,054	1,222	0,302	0,121
	Разбег до скорости V1	3,098	1,239	0,757	0,303
	Разбег от V1 до отрыва	3,098	1,239	2,123	0,849
	Взлет	3,119	1,247	2,433	0,973
	Набор	3,089	1,236	2,261	0,904
	Маршрут	3,093	1,237	1,677	0,671
	Посадка до ВПР	3,191	1,276	2,546	1,019
	Посадка после ВПР	3,191	1,276	2,377	0,951
	Пробег	2,978	1,191	1,070	0,428
Заруливание	2,978	1,191	0,302	0,121	

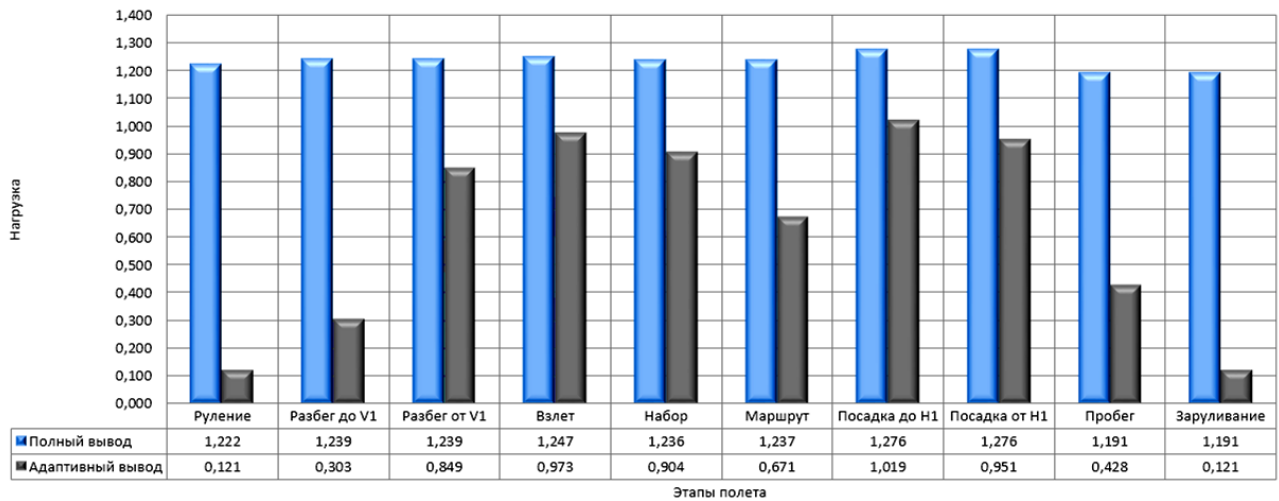


Рисунок 4 – Оценка зрительной нагрузки пилотов при нормальных условиях при $T_{\phi} = 0,4$ с, где V1 – скорость принятия решения, H1 – высота принятия решения

Из данных таблицы 2 и рисунка 4 следует, что при адаптивном способе формирования состава отображаемой пилотажно-навигационной информации на этапе руления зрительная нагрузка снизилась на 90 %, на этапе разбега до скорости принятия решения – на 76 %, на этапе разбега после скорости принятия решения – на 31 %, на этапе взлета – на 22 %, на этапе набора высоты – на 27 %, на этапе полета по маршруту – на 46 %, на этапе посадки до высоты принятия решения – на 20 %, на этапе посадки после высоты принятия решения – на 26 %, на этапе пробега – на 64 %, на этапе заруливания – на 90 %.

Для других режимов при адаптивном функционировании индикатора пилотажно-навигационной информации при различных условиях полета также достигается снижение зрительной нагрузки:

- при нормальных условиях ($T_{\phi} = 0,35$ с) на этапе руления – на 90 %, на этапе разбега до скорости принятия решения – на 76 %, на этапе разбега после скорости принятия решения – на 31 %, на этапе взлета – на 22 %, на этапе набора высоты – на 27 %, на этапе полета по маршруту – на 46 %, на этапе посадки до высоты принятия решения – на 20 %, на этапе посадки после высоты принятия решения – на 26 %, на этапе пробега – на 64 %, на этапе заруливания – на 90 %.

- при наличии нажатых кнопок ($T_{\phi} = 0,4$ с) на этапе руления – на 91 %, на этапе разбега до скорости принятия решения – на 68 %, на этапе разбега после скорости принятия решения – на 28 %, на этапе взлета – на 20 %, на этапе набора высоты – на 26 %, на этапе полета по маршруту – на 42 %, на этапе посадки до высоты принятия решения – на 16 %, на этапе посадки после высоты принятия решения – на 21 %, на этапе пробега – на 69 %, на этапе заруливания – на 91 %.

- при наличии нажатых кнопок ($T_{\phi} = 0,35$ с) на этапе руления – на 91 %, на этапе разбега до скорости принятия решения – на 68 %, на этапе разбега после скорости принятия решения – на 28 %, на этапе взлета – на 20 %, на этапе набора высоты – на 26 %, на этапе полета по маршруту – на 42 %, на этапе посадки до высоты принятия решения – на 16 %, на этапе посадки после

высоты принятия решения – на 21 %, на этапе пробега – на 69 %, на этапе заруливания – на 91 %.

- при приближении к максимально допустимым значениям ($T_{\phi} = 0,4$ с) на этапе руления – на 92 %, на этапе разбега до скорости принятия решения – на 65 %, на этапе разбега после скорости принятия решения – на 16 %, на этапе взлета – на 5 %, на этапе набора высоты – на 5 %, на этапе полета по маршруту – на 17 %, на этапе посадки до высоты принятия решения – на 6 %, на этапе посадки после высоты принятия решения – на 10 %, на этапе пробега – на 66 %, на этапе заруливания – на 92 %.

- при приближении к максимально допустимым значениям ($T_{\phi} = 0,35$ с) на этапе руления – на 92 %, на этапе разбега до скорости принятия решения – на 65 %, на этапе разбега после скорости принятия решения – на 16 %, на этапе взлета – на 5 %, на этапе набора высоты – на 5 %, на этапе полета по маршруту – на 17 %, на этапе посадки до высоты принятия решения – на 6 %, на этапе посадки после высоты принятия решения – на 10 %, на этапе пробега – на 66 %, на этапе заруливания – на 92 %.

- при наличии нажатых кнопок и приближении к максимально допустимым значениям ($T_{\phi} = 0,4$ с) на этапе руления – на 92 %, на этапе разбега до скорости принятия решения – на 60 %, на этапе разбега после скорости принятия решения – на 16 %, на этапе взлета – на 6 %, на этапе набора высоты – на 8 %, на этапе полета по маршруту – на 16 %, на этапе посадки до высоты принятия решения – на 5 %, на этапе посадки после высоты принятия решения – на 8 %, на этапе пробега – на 70 %, на этапе заруливания – на 92 %.

- при наличии нажатых кнопок и приближении к максимально допустимым значениям ($T_{\phi} = 0,35$ с) на этапе руления – на 92 %, на этапе разбега до скорости принятия решения – на 60 %, на этапе разбега после скорости принятия решения – на 16 %, на этапе взлета – на 6 %, на этапе набора высоты – на 8 %, на этапе полета по маршруту – на 16 %, на этапе посадки до высоты принятия решения – на 5 %, на этапе посадки после высоты принятия решения – на 8 %, на этапе пробега – на 70 %, на этапе заруливания – на 92 %.

По результатам расчетов видно, что на некоторых этапах полета значения зрительной нагрузки больше 1, что свидетельствует о превышении предельно допустимой нагрузки и отсутствии времени у пилота на обработку информации. Однако, по сравнению с результатами расчета зрительной нагрузкой при отображении и сигнализации всей пилотажной информации, при адаптивном способе отображения зрительная нагрузка пилотов снизилась до 8 %. Превышение параметров допустимо на ответственных этапах полета ВС, для полной концентрации внимания пилота.

Для того, чтобы пилот мог получить всю информацию для более полной оценки авиационной обстановки предложено отображать и сигнализировать пилотажную информацию, не отображаемую на основном кадре, путем активации дополнительной кнопки.

Таким образом, проведенные исследования показали, что внедрение адаптивного пилотажно-навигационного индикатора позволит снизить зрительную нагрузку пилотов и тем самым повысит безопасность полетов.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Совмещенный комплексно-пилотажный индикатор является сложным элементом эргатической системы управления ЛА, так как до 80 % информации о полете пилот воздушного судна получает по визуальному каналу. Состав параметров и объем информации, характеризующие полетную ситуацию на каждом этапе полета, отличаются.

2. Анализ действий пилотов при управлении воздушным судном, распределения обязанностей командира воздушного судна и второго пилота и зрительной нагрузки пилотов по отображаемой пилотажно-навигационной информации летательного аппарата, показал, что на индикаторе постоянно присутствуют параметры, повышающие зрительную нагрузку, но не влияющие на успешное выполнение полета летательного аппарата.

3. Анализ отображаемой на экране многофункционального индикатора пилотажно-навигационной информации и действий экипажа, показал, что часть постоянно отображаемых параметров не участвуют в управлении вниманием экипажа воздушного судна на разных этапах полета, что приводит к необоснованному повышению зрительной нагрузки командира воздушного судна и второго пилота. Для уменьшения зрительной нагрузки членов экипажа необходимо сократить поток информации до необходимого минимума. Экипаж должен получать информацию о параметрах полета, которые важны на текущем этапе полета.

4. Определен алгоритм определения этапов полета воздушного судна, для наложения ограничений на выведение на индикацию пилотажно-навигационной информации.

5. Предложен принцип адаптивного функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации, заключающийся в автоматическом определении этапа полета на основе логики работы воздушного судна и изменении состава отображаемой и сигнализируемой информации с целью снижения зрительной нагрузки экипажа без потери качества восприятия полетной обстановки.

6. Для реализации адаптивного функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации, предложен алгоритм автоматического определения этапа полета на основе логики работы воздушного судна по таким параметрам как: наличие/отсутствие сигнала «шасси обжато», положение топливного крана, скорость, положение рычага управления двигателем, высота.

7. Разработана математическая модель обработки данных для адаптивного функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации.

8. Логика адаптивного формирования состава и передачи на индикацию пилотажно-навигационной информации наглядно представлена с помощью кругов Эйлера-Венна.

9. Проведен расчет зрительной нагрузки пилотов на всех этапах полета воздушного судна при нормальных условиях, при условии наличия нажатых кнопок для выведения информации на индикацию, при условии приближения параметров к максимально допустимым значениям, и при условии наличия нажатых кнопок и приближении параметров к максимально допустимым значениям. Расчет зрительной нагрузки пилотов производился с учетом оптимального времени снятия пилотом показаний 0,35 – 0,4 с.

10. Согласно проведенным расчетам при адаптивном функционировании индикатора пилотажно-навигационной информации при различных условиях полета достигается снижение зрительной нагрузки: на этапе руления на (90 – 92) %, на этапе разбега до скорости принятия решения – на (60 – 76) %, на этапе разбега после скорости принятия решения – на (16 – 31) %, на этапе взлета – на (5 – 22) %, на этапе набора высоты – на (5 – 27) %, на этапе полета по маршруту – на (16 – 46) %, на этапе посадки до высоты принятия решения – на (5 – 20) %, на этапе посадки после высоты принятия решения – на (8 – 26) %, на этапе пробега – на (64 – 70) %, на этапе заруливания – на (90 – 92) %.

11. Результаты расчетов показали, что на некоторых этапах полета значения зрительной нагрузки превышают значение равное единице, что свидетельствует о превышении предельно допустимой нагрузки и отсутствии времени у пилота на обработку информации. По сравнению с результатами расчета зрительной нагрузки при полном отображении информации, при адаптивном функционировании индикатора пилотажно-навигационной информации нагрузка пилотов в среднем снизилась до 8 %.

Превышение параметров допустимо на ответственных этапах полета ВС, для полной концентрации внимания пилота.

12. Результаты расчетов показали, что благодаря адаптации отображения и сигнализации под этапы полета ВС зрительная нагрузка пилотов сокращается, что дает пилоту дополнительное время для оценки полетной ситуации и принятия решений. Это подтверждает эффективность применения разработанного принципа функционирования индикатора пилотажно-навигационной информации, реализация которого позволяет снизить зрительную нагрузку пилотов на всех этапах полета воздушного судна и тем самым способствует повышению безопасности полета.

Разработанный принцип адаптивного функционирования индикатора на основе логики работы воздушного судна может быть использован при проектировании перспективных систем индикации, таких как система индикации на лобовом стекле, наплемной системы индикации, где индикация должна быть ограничена основными параметрами, чтобы как можно меньше заслонять пилоту поле зрения.

Разработанные средства поддержки адаптации могут быть использованы для настройки графического пользовательского интерфейса управления

другими бортовыми системами управления такими, как система управления общесамолетным оборудованием, бортовая система контроля данных и др.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, утвержденных ВАК РФ для публикации основных научных результатов диссертации:

1. Степнова Е.И., Киселев С.К. Адаптация отображения пилотажно-навигационной информации на экране многофункционального индикатора приборной доски воздушного судна // Изв. вузов. Авиационная техника. – 2020. – № 3. – С. 149-154.

2. Степнова Е.И., Киселев С.К. Адаптация отображения пилотажно-навигационной информации в системе электронной индикации воздушного судна // Автоматизация процессов управления. – 2020. – Т.61. – № 3. – С. 13-20.

3. Степнова Е.И., Киселев С.К. Адаптивный интерфейс бортовой информационно-управляющей системы летательного аппарата // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2020. – Т.16. – № 2. – С. 105-111.

Статьи в журналах, индексируемых в SCOPUS:

4. Stepnova E.I., Kiselev S.K. Adaptation of display of pilot and navigation information on the screen of multi-function indicator of an aircraft's instrument panel // Russian Aeronautics. – 2020. – Т. 63. – № 3. – С. 531-537.

Работы, опубликованные в сборниках статей и научных трудов международных и всероссийских конференций:

5. Степнова Е.И., Киселев С.К. Исследование возможности снижения зрительной нагрузки пилотов воздушного судна / Е.И. Степнова, С.К. Киселев // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, 7 – 8 ноября 2019 года: Материалы конференции. Сборник докладов. – В 6 т.; Т. 2. – Казань: изд-во ИП Сагиева А.Р., 2019. – С. 533 – 537.

6. Степнова Е.И., Киселев С.К. Способ отображения пилотажной информации на экране пилотажно-навигационного индикатора летательного аппарата на этапе посадки / Е.И. Степнова, С.К. Киселев // Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж). Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки [текст]: Сб. науч. ст. по материалам докл. V Международный НПК «АВИАТОР»: Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2019. – С. 326-329.

7. Степнова Е.И., Киселев С.К. Адаптивная обработка пилотажно-навигационной информации / Е.И. Степнова, С.К. Киселев // Радиолокация, навигация, связь: сб. тр. XXV Международной науч.-техн. конф.: / Воронежский государственный университет; АО «Концерн «Созвездие». – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2019. – Т.6. – С. 150-155.

8. Степнова Е.И. Эргономические требования к многофункциональным индикаторам / Е.И. Степнова // Информатика и вычислительная техника: сб. науч. тр. 6-й Всероссийской науч.-техн. конф. аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ 2014/ под общ. ред. В.М. Негоды. – Ульяновск: УлГТУ, 2014. – С. 416-417.

9. Степнова Е.И., Киселев С.К. Оценка зрительной загрузки пилота по пилотажно-навигационной информации на этапе посадки воздушного судна / Е.И.Степнова, С.К. Киселев // Вестник Ульяновского государственного технического университета (Вестник УлГТУ): науч. теор. журнал. – № 83. – 2018. – С. 44-47.

10. Степнова, Е.И. Оценка соответствия предоставляемой пилотажной информации в системе электронной индикации приборной доски летательного аппарата эргономическим требованиям / Е.И. Степнова, С.К. Киселев // Пятый Ульяновский молодежный инновационный форум. Конкурс научно-технического творчества молодежи (НТТМ). Электронное издание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ify.ulstu.ru>, Ульяновск, 2016 г., свободный. Яз. рус.

Публикации в других изданиях:

11. Степнова Е.И. Эргономические требования к многофункциональным индикаторам / Е.И. Степнова // Вузовская наука в современных условиях: сб. матер. 48-й науч.-техн. конф. в. 3 ч. Ч 2. – Ульяновск: УлГТУ, 2014. – С. 80–83.

12. Степнова Е.И. Система отображения информации. Эргономические требования к предоставлению информации / Е.И. Степнова // Вузовская наука в современных условиях: сб. матер. 49-й науч.-техн. конф. в. 3 ч. Ч 2. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – С. 97-100.

13. Степнова Е.И. Оценка предоставляемой информации на приборной доске ЛА эргономическим требованиям/ Е.И. Степнова // Вузовская наука в современных условиях: сб. матер. 50-й науч.-техн. конф. в. 3 ч. Ч 2. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. – С. 81-84.

14. Степнова Е.И. Оценка соответствия предоставляемой пилотажной информации на приборной доске летательного аппарата эргономическим требованиям/ Е.И. Степнова // Вузовская наука в современных условиях: сб. матер. 51-й науч.-техн. конф. в.3 ч. Ч 2. – Ульяновск: УлГТУ, 2017. – С. 100-102.

15. Степнова Е.И., Киселев С.К. Адаптивное представление пилотажной информации на экране многофункционального индикатора / Е.И. Степнова, С.К. Киселев // Вузовская наука в современных условиях: сб. матер. 52-й науч.-техн. конф. в. 3 ч. Ч 2. – Ульяновск: УлГТУ, 2018. – С. 66-69.

16. Степнова Е.И., Киселев С.К. Способ обработки и индикации пилотажно-навигационной информации на приборной доске летательного аппарата / Е.И. Степнова, С.К. Киселев // Вузовская наука в современных условиях: сб. матер. 53-й науч.-техн. конф. в. 3 ч. Ч 2. – Ульяновск: УлГТУ, 2019. – С. 51-53.

Степнова Елена Ивановна

Адаптивный пилотажно-навигационный индикатор бортовой эргатической системы управления летательного аппарата

Автореферат

Подписано в печать 11.07.2022. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 1,40.

Тираж 100 экз. Заказ 000

ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, Северный Венец, 32