

Модель пилота как средство валидации перспективной кабины и бортового оборудования воздушного судна

И.И. Грешников, Л.С. Куравский, С.Д. Логачев, И.А. Махортов

Аннотация—Учитывая растущую значимость человеческого фактора в качестве причины летных происшествий и активное развитие авиационной техники, данное исследование фокусируется на создании комплексной модели пилота воздушного судна. Данная модель предназначена для валидации перспективных кабин и комплексов бортового оборудования, с учётом психофизиологических и когнитивных аспектов деятельности пилотов. В статье описываются концептуальные основы модели пилота, её структура, включающая психофизиологический модуль и модули имитации и визуализации деятельности пилота. Представлены результаты интеграции модели в стендовую базу, моделирующую кабину и комплекс бортового оборудования перспективного самолёта и предварительной апробации компонентов модели пилота в составе данной стендовой базы. Результаты исследования демонстрируют потенциал модели для использования в качестве средства валидации перспективных решений, внедряемых на борту ВС. Отдельные компоненты модели могут применяться непосредственно на борту воздушного судна, в качестве средств контроля и интеллектуальной поддержки пилота, а также для формирования управляющих команд в системе самолётостроения на сложных режимах полёта.

Ключевые слова—человеко-машинный интерфейс, кабина пилота, комплекс бортового оборудования, модель пилота, валидация.

I. ВВЕДЕНИЕ

Прогресс в авиационной технике и повышение требований к безопасности полетов ставят перед исследователями задачу минимизации человеческого фактора с учётом новых технологических возможностей [1]. Важность данной задачи обусловлена тенденцией к увеличению сложности управления современными воздушными судами, где ключевую роль играет взаимодействие пилота с кабинами оборудования. Разработка модели пилота, которая бы максимально точно отражала деятельность пилота в реальных условиях полета, становится важной составляющей оценки новых решений в области создания кабинных интерфейсов и интеллектуальных функций бортового оборудования, что в свою очередь, способствует увеличению общей без-

опасности полетов.

В существующей литературе рассматриваются различные подходы к моделированию действий пилотов, однако до сих пор не уделялось должного внимания комплексному взгляду на проблему, с учётом когнитивных и психофизиологических аспектов.

Целью данной работы является создание модели пилота, обеспечивающей валидацию перспективной кабины и бортового оборудования воздушного судна. Отдельные компоненты данной модели, могут также применяться для повышения эффективности тренажерных систем и качества подготовки пилотов, сокращая риск человеческих ошибок в условиях повышенной нагрузки. Также некоторые наработки, полученные в ходе данного исследования, могут быть использованы при создании новых интеллектуальных функций кабины и комплекса бортового оборудования самолёта. Задачи исследования включают анализ существующих решений, разработку концепции и отдельных компонентов модели с учетом психофизиологических особенностей пилотов.

В методологическую базу исследования входит разработка математических и компьютерных моделей, имитационное моделирование и анализ результатов экспериментов.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках данного исследования основной акцент сделан на разработке модели пилота, предназначенной для валидации перспективных кабин и бортового оборудования пассажирских воздушных судов. На этапе постановки задачи исследования особое внимание уделялось анализу существующих технологий и методик в области моделирования деятельности пилотов [2-6].

Были поставлены следующие задачи исследования.

- Разработка концепции модели пилота, ориентированной на комплексное воспроизведение его деятельности в контексте взаимодействия с перспективными кабинами и бортовым оборудованием.
- Создание психофизиологического модуля, позволяющего задавать профиль пилота и с учётом текущей летной ситуации выдавать вектор состояния пилота в целях адаптации модели под различные уровни квалификации пилота и его психофизиологические состояния.
- Разработка модуля имитации деятельности пилота, обеспечивающего формирование двух

Статья получена 12 марта 2024
И.И. Грешников: ФАУ ГосНИИАС, Москва (e-mail: vvanes@mail.ru)
Л.С. Куравский: ФГБОУ МГППУ, Москва (e-mail: l.s.kuravsky@gmail.com)
С.Д. Логачев: ФАУ ГосНИИАС, Москва (e-mail: sdlogachev@gmail.com)
И.А. Махортов: ФАУ ГосНИИАС, Москва (e-mail: Inok546@ya.ru)

типов воздействий: непрерывное (связанное с воздействием на управляющие поверхности) и дискретное (связанное с управлением бортовыми системами и индикацией).

- Создание модуля визуализации действий пилота, формирующего на выходе 3D модель пилота в кабине перспективного самолёта в целях более наглядной демонстрации работы модели.
- Интеграция модели пилота в программную среду стенда перспективного самолёта с повышенной степенью интеллектуализации комплекса бортового оборудования (КБО) и кабины. Этот этап предусматривает взаимодействие модели пилота с виртуальной средой, имитирующей условия полёта приближенные к реальным и возможные сценарии летных задач.

Завершающим этапом исследования является отработка компонентов модели пилота, включая проведение тестов и экспериментов для проверки её адекватности и способности воспроизводить реальные летные ситуации.

III. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ПИЛОТА

Концепция модели пилота представлена на рисунке 1. Центральным компонентом модели пилота (№ 5) является блок имитации деятельности пилота (№ 5.1) состоящий из модулей непрерывного (№ 5.1.1) и дискретного (№ 5.1.2) управления. Модуль дискретного управления предназначен для имитации управляющих воздействий на органы управления ВС, такие как кнопки, тумблеры, галетные переключатели и т.п. Работа данного модуля должна быть основана на формализованной базе данных, синтезируемой из руководства лётной эксплуатации (РЛЭ) рассматриваемого ВС (предварительная версия РЛЭ). Модуль непрерывного управления предназначен для имитации управляющих воздействий на органы управления, связанные с оперением и двигателем ВС и не имеющими фиксированных (дискретных) положений, такие как боковая ручка управления, педали, рычаги управления двигателями и т.п. Работа данного модуля должна быть основана на лётных данных, содержащих соответствующую параметрическую информацию (№ 1.2). Возможно применение как нейронных сетей, так и иного математического аппарата.

Блок имитации деятельности формирует вектор управляющих воздействий в стенд перспективного ВС (№ 2). Данный вектор целесообразно транслировать непосредственно в бортовые системы (2.1), связанные с соответствующими органами управления ИУП кабины пилотов (2.2), тем самым как бы подменяя сигналы от них. Таким образом при подключении блока имитации деятельности к стенду перспективного ВС моделируется лётная деятельность пилота. Результаты лётной деятельности выраженной через вектор состояния ВС должны подвергаться объективной оценке в модуле № 1.

Для того чтобы работа блока имитации деятельности соответствовала работе пилота, со всеми присущими ей

особенностями и возможными недостатками, необходимо учитывать психофизиологическое состояние пилота, которое имитируется в психофизиологическом модуле (№ 5.4) и передается в виде вектора состояния в блок имитации деятельности пилота (№ 5.1). Психофизиологический модуль должен учитывать различные аспекты деятельности пилота и позволять проводить моделирование широкого спектра когнитивных и эмоциональных состояний для чего должна быть предусмотрена, в том числе возможность соответствующей настройки, например, через графическую панель ввода данных (№ 5.5):

- уровня подготовки пилота;
- природных особенностей пилота (природные базовые физиологические и когнитивные показатели);
- качества жизнедеятельности пилота вне полёта (текущие базовые физиологические и когнитивные показатели);

Помимо этого, в обязательном порядке должен учитываться уровень функционального стресса в зависимости от условия полёта (5.6).

Очевидно, что для разработки основных узлов модели пилота требуется большой объём подготовительной работы, связанный с:

- созданием баз лётных данных (№ 5.3, 9, 10, 11, 12);
- анализом нормативной документации и формированием особых требований к квалификации летного состава и информационно-управляющему полю (ИУП) кабины в рамках автоматизации и интеллектуализации борта (№ 3, 4, 5.2);
- выявлением и составлением ключевых физиологических и когнитивных показателей (№ 6, 7, 8).

В целом, согласно данной концепции, модель пилота должна представлять собой замкнутую систему с обратной связью, в виде результатов оценки деятельности пилота. Таким образом, изменяя базовые характеристики моделируемого пилота (в особенности заданный уровень его квалификации) и уровень автоматизации КБО и ИУП, можно добиться сбалансированного решения, с одной стороны, обеспечивающего должный уровень безопасности при управлении ВС, с другой стороны, позволяющего использовать более дешёвые и простые технологии при построении ВС, а также снизить психофизиологические требования к пилоту и требования к его квалификации, при условии, что решение требуемых лётных задач обеспечивается пилотом.

Зелёным цветом выделены блоки в части которых были получены наиболее значительные результаты, которые будут представлены далее.

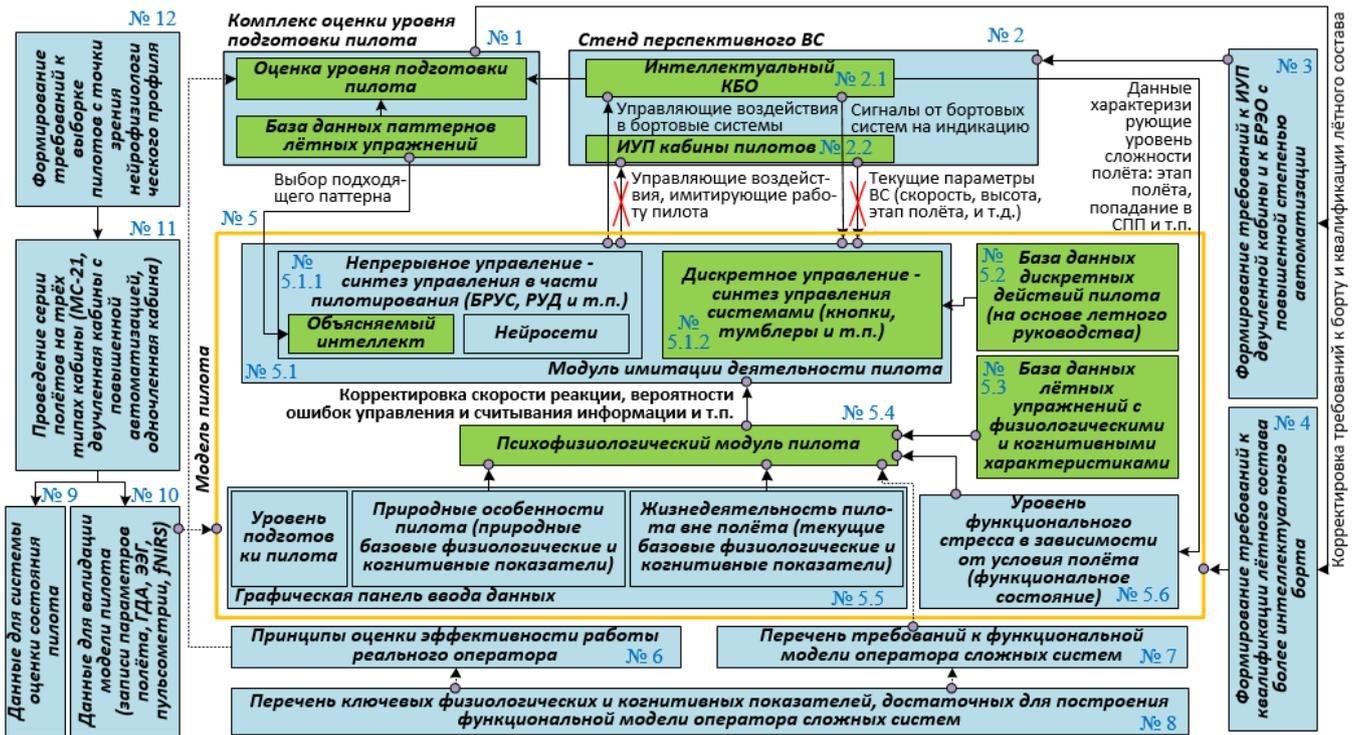


Рис. 1. Концепция модели пилота

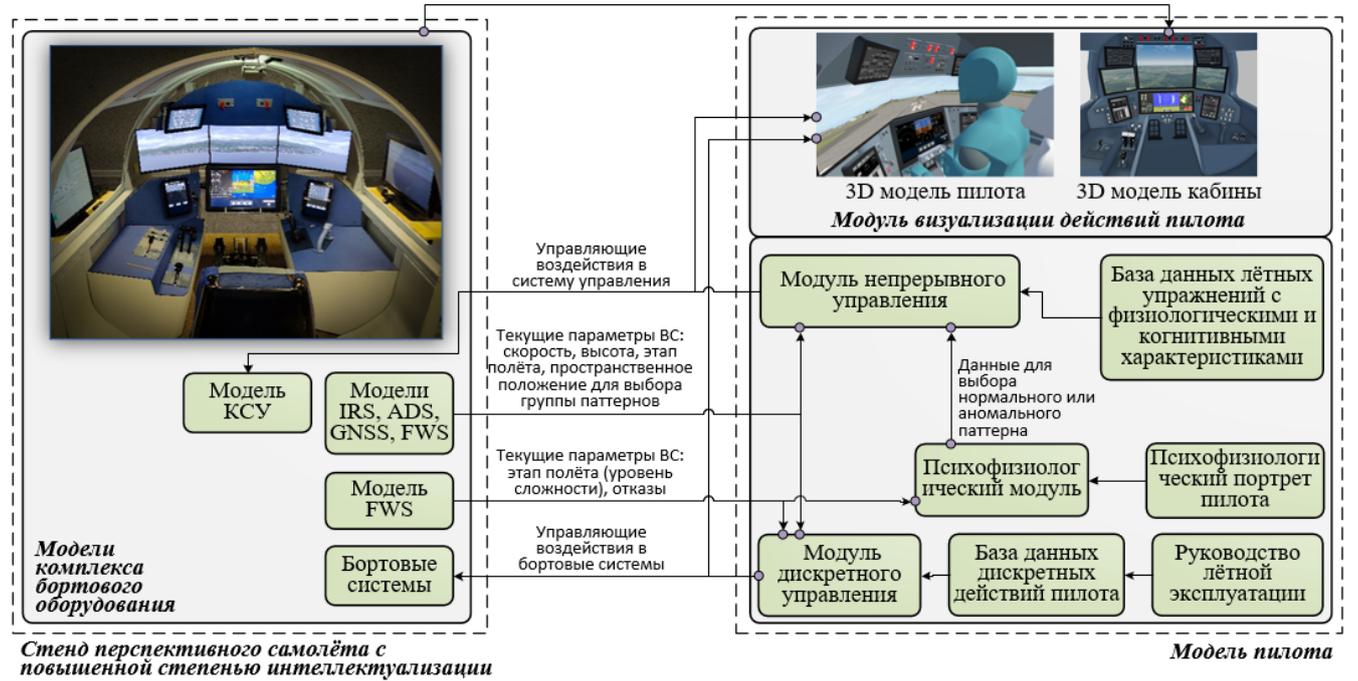


Рис. 2. Схема интеграции разрабатываемых компонентов модели пилота в стенд перспективного самолёта

IV. ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ ПИЛОТА

Психофизиологический модуль пилота предназначен для формирования вектора данных, содержащего параметры психофизиологического состояния пилота, учитывая такие факторы, как стресс, усталость и уровень концентрации внимания. Основой данного модуля является научно-технический задел, полученный в ходе предшествующих исследований, связанных с классификацией функциональных состояний пилота и сопоставлении актуальных параметров его деятельности с заранее собранными и оцененными экспертами данными, полученными на авиационном тренажере [7]. Модуль включает оценку различных функциональных состояний пилота, включая обычное рабочее состояние, состояние мобилизации, психической напряженности, стресса и паники.

Для того чтобы описать состояние пилота, необходимо рассмотреть характеристики таких важных психических процессов, как зрительное и слуховое восприятие, внимание, память, мышление, речь, моторика, мотивация и эмоции. Любые изменения в этих процессах относительно обычного рабочего состояния человека могут привести к тому, что они начнут функционировать с отклонениями, т.е. с дефектами и сбоями. Проявления дефектов могут быть различными: искажениями образов зрительного восприятия, неполным воспроизведением алгоритмов действий, фрагментарным осмыслением и анализом ситуации, неточными и плохо координируемыми движениями и т.д.

Важно рассмотреть различные функциональные состояния психики, которые могут развиваться в процессе выполнения трудовых функций и под влиянием условий их выполнения. Эти состояния принято называть «функциональными состояниями». Можно выделить следующие основные функциональные состояния характерные для лётной деятельности:

- обычное рабочее состояние;
- состояние мобилизации;
- состояние психической напряженности;
- состояние стресса (дистресса);
- состояние паники;
- доминантное состояние.

В Ульяновском институте гражданской авиации были проведены исследования на курсантах, в ходе которых были получены данные, лежащие в основе математического аппарата для оценки состояния пилотов. Результаты, связанные с этими оценками, были получены на основе данных, собранных во время лётных экспериментов и комментариев инструкторов, предоставленных при выполнении курсантами специально подобранных упражнений. Для получения данных использовалось специальное оборудование, выбранное по следующим критериям:

- оборудование не должно мешать пилоту при выполнении его основных функций и не оказывать негативного воздействия на его эмоциональное состояние;
- регистрация должна осуществляться непрерывно и быстро отражать изменения в состоянии пилота;

- регистрируемые показатели должны иметь однозначную и недвусмысленную интерпретацию в рамках рассматриваемой задачи.

Для получения данных использовалось следующее оборудование:

- регистратор показателей глазодвигательной активности;
- браслет для измерения частоты сердечных сокращений и variability сердечного ритма;
- портативный регистратор электроэнцефалографии.

При анализе и классификации паттернов использовались марковские процессы. Проведенные эксперименты с реальными лётными данными, подтвердили приемлемый уровень соответствия результатов моделирования и наблюдений, свидетельствуя об адекватности применяемой модели для изучаемых лётных манёвров.

Для создания более точной модели психофизиологического состояния пилота был разработан подход, позволяющий связать наблюдаемые и латентные параметры, характеризующие психофизиологическое состояние пилота. В соответствии с концепцией обобщённого моделирования структурными уравнениями с дифференциальными связями между параметрами (рис. 3), зависимость между исследуемыми латентными параметрами сети нейронов мозга представляется системой дифференциальных уравнений Уилсона-Коэна [7], где $E(t)$ – скорость активации «возбуждающих» нейронов; $I(t)$ – скорость активации «тормозящих» нейронов; τ – синоптическая задержка; P – внешнее возбуждение; Q – торможение; r – период нечувствительности; $L(x)$ – логистическая функция.

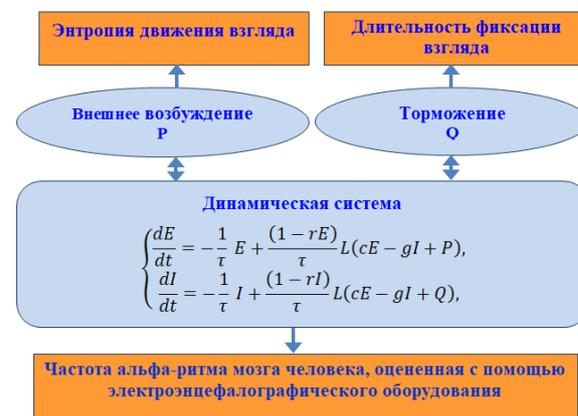


Рис. 3. Связь латентных и наблюдаемых параметров при обобщённом моделировании структурными уравнениями с дифференциальными связями

В ответ на изменения внешнего возбуждения P и торможения Q данная динамическая система испытывает бифуркацию Пуанкаре–Андроннова–Хопфа, возникающую в критической точке, где устойчивое поведение системы превращается в периодическое, или наоборот.

Принимая во внимание экспериментально обоснованную интерпретацию первичных показателей движения взгляда пилотов, исследуемые латентные параметры можно наблюдать косвенно с помощью релевантных характеристик, доступных для измерения, а именно:

относительные изменения энтропии движения взгляда во время перехода пилота от спокойной деятельности к повышенной стрессовой реакции на опасные обстоятельства могут быть использованы для мониторинга внешнего возбуждения P , а относительные изменения длительности фиксации взгляда при аналогичном переходе могут быть использованы для мониторинга торможения Q . Появление бифуркаций для исследуемой динамической системы можно наблюдать непосредственно путем мониторинга частоты альфа-ритма мозга человека, оцениваемых с помощью имеющейся электроэнцефалографической аппаратуры. Таким образом, приведенные выше относительные изменения энтропии движения взгляда и длительности его фиксации, а также частоты альфа-ритма мозга человека можно рассматривать как наблюдаемые параметры, отражающие поведение рассматриваемой динамической системы посредством определенных эмпирических данных.

V. Модуль Имитации Деятельности Пилота

Модуль имитации деятельности пилота предусматривает интеграцию с комплексной системой управления воздушным судном и его бортовыми системами и обеспечивает формирование управляющих команд, максимально приближенных к реальным действиям пилота. Этот процесс включает в себя распознавание типа выполняемого лётного манёвра и последующее извлечение соответствующего паттерна из специализированной базы данных, что позволяет адаптировать управление к текущей лётной ситуации с высокой степенью точности и адекватности. Данный модуль базируется на системе ISFA (The Intelligent System for Flight Analysis) [8][9], разработанной для комплексной оценки уровня подготовки пилота на основе эмпирических данных.

Применение математических моделей деятельности пилотов, разработанных в рамках проекта, позволяет детально анализировать и воспроизводить как целевую, так и сопутствующую деятельность пилота при различных уровнях его профессиональной подготовки и физиологических состояний. В частности, модель целевой деятельности пилотов, основанная на эмпирических данных, идентифицирует каноническую многомерную нестационарную матричную модель движения и управления воздушным судном с дискретным временем, что позволяет с высокой точностью моделировать действия пилота при выполнении типовых лётных манёвров.

Одной из ключевых составляющих модуля является адаптивный синтез управления, основанный на применении паттернов (образцов) поведения воздушного судна, полученных из реальных лётных данных. Этот подход позволяет вычислять параметры управления, которые обеспечивают переход воздушного судна из любого известного возмущённого состояния в состояние, определённое паттерном, на основе идентифицируемой по эмпирическим данным канонической многомерной нестационарной (неавтономной) матричной модели движения и управления ВС с дискретным временем [10][11]:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= \mathbf{A}(k)x(k) + \mathbf{B}(k)g(k), \\ k &= k_0, k_0 + 1, \dots, \quad x(k_0) = x_0, \end{aligned}$$

где параметр k представляет дискретное время (далее называемое временем в основной шкале); $x(k)$ – M -мерный вектор состояния ВС в момент времени k ; $g(k)$ – мерный вектор параметров управления ВС в момент времени k ; $\mathbf{A}(k)$ – зависящая от времени матрица преобразования состояния ВС размера $(M \times M)$; $\mathbf{B}(k)$ – зависящая от времени матрица преобразования управления ВС размера $(M \times S)$; k_0 – начальный момент времени.

Используя накопленные эмпирические данные, модуль имитации деятельности пилота способен в реальном времени адаптироваться к изменениям в лётных условиях, обеспечивая точное воспроизведение действий пилота. Это достигается благодаря сложной системе, включающей в себя как анализ текущего состояния воздушного судна и его сопоставление с базой данных типовых манёвров и соответствующих им паттернов поведения, так и коррекцию управляющих команд с учётом технических ограничений воздушного судна.

Переходя от аспектов непрерывного управления к вопросам дискретного управления в контексте моделирования деятельности пилота, становится особенно актуальным моделирование взаимодействия с дискретными органами управления, такими как нажимные кнопки и переключатели. Это взаимодействие может быть адекватно представлено и проанализировано с использованием теории марковских процессов, предоставляющей мощные инструменты для моделирования решений, принимаемых пилотом в условиях неопределённости и под влиянием различных внешних и внутренних факторов.

Теория марковских процессов предлагает теоретическую базу для понимания и прогнозирования действий пилота при взаимодействии с управляющими механизмами, в том числе с дискретными элементами [12], позволяя воспринимать последовательность действий пилота как серию событий, где каждое следующее действие зависит только от настоящего момента, игнорируя предыдущую историю событий.

В таком подходе дискретное управление рассматривается как последовательность выборов, сделанных пилотом, где каждый выбор влечет за собой специфические изменения в системе управления летательным аппаратом.

VI. ИНТЕГРАЦИЯ МОДЕЛИ ПИЛОТА В СТЕНД ПЕРСПЕКТИВНОГО САМОЛЁТА

Для визуализации работы модели пилота, был разработан специальный модуль, обеспечивающий детализированное и реалистичное отображение процессов, происходящих в кабине пилота. Для разработки использовался игровой движок Unity в котором были реализованы 3D модели пилота и кабины ВС, а также алгоритмы, обеспечивающие анимацию деятельности пилота. Компоненты модели пилота, разработанные в рамках настоящего исследования, были интегрированы в стенд перспективного самолёта в соответствии с функциональной схемой, приведённой на рисунке 2. Согласно данной схеме модуль непрерывного управления, основываясь на базе данных лётных упражнений с физиологическими и когнитивными характеристиками, выдаёт вектор управляющих воздействий в комплексную систему

управления самолёта. Модуль дискретного управления, основываясь на базе данных дискретных действий пилота и руководстве лётной эксплуатации, выдаёт вектор управляющих воздействий в бортовые системы. Оба модуля, также связаны с 3D моделью пилота для визуализации его действий. 3D модель кабины в свою очередь синхронизирована со стендом перспективного самолёта с повышенной степенью интеллектуализации, по сути являясь его цифровым двойником. Для корректной работы психофизиологического модуля и модулей имитации деятельности пилота в них передаются данные о текущих параметрах ВС: скорость, высота, этап полёта, пространственное положение для выбора группы паттернов, отказы и т.п.

Интеграция компонентов модели пилота в стенд перспективного самолёта с повышенной степенью интеллектуализации позволило провести предварительную апробацию данных компонентов, в том числе с участием лётного состава, в результате которого был проведен сравнительный анализ параметров ВС, вычисленных с помощью идентифицированной модели, а также соответствующие им результаты наблюдений (см. рис. 4).

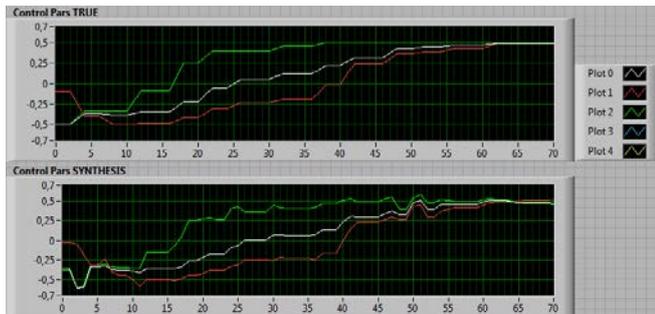


Рис. 4. Графики динамики параметров управления ВС, вычисленных с помощью идентифицируемой модели (нижний график), и соответствующие результаты наблюдений (верхний график)

В части работы психофизиологического модуля достигнут достаточно высокий уровень дифференциации нормального и аномального поведения пилотов при выполнении различных типов лётных упражнений. В частности, этот модуль позволил отличать пилотов, неудовлетворительно выполняющих "трудные" этапы полета и/или имеющих при этом высокий уровень стресса (выборка А), от пилотов, удовлетворительно выполняющих "трудные" этапы полета, имея низкий уровень стресса (выборка Б) – см. рис. 5.



Рис. 5. Выборки А и Б (27 фрагментов полётов), представленные точками в пространстве шкалирования, полученном в результате оценок взаимных расстояний в евклидовой метрике в пространстве вейвлет-коэффициентов (статистика Уилкса: 0,60; $F(2,24)=8,12$; $p<0,002$; правильное распознавание в 81,5% случаев)

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении исследования следует подчеркнуть важность разработки модели пилота, ориентированной на исследование и валидацию перспективных решений в области авиационной техники. Исследование в составе стендовой базы подтвердило, что разработанные компоненты модели пилота эффективно воспроизводят сложные летные сценарии и реакции пилотов. Компоненты модели успешно прошли серию тестов, демонстрируя адекватность и реалистичность в имитируемых лётных сценариях, что свидетельствует о высокой точности данных компонентов при имитации сложных летных ситуаций и способности адаптироваться к динамически меняющимся условиям полета.

Дальнейшее развитие данного направления, позволит создать полноценную модель пилота, которая станет мощным инструментом в руках авиационных специалистов и инструкторов, позволяя проводить исследование, отработку и валидацию перспективных решений.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Л.Е. Механтьева, А.В. Масальгин, А.Н. Лизнев, "Анализ крупнейших авиакатастроф пассажирских самолётов начала XXI века," Прикладные информационные аспекты медицины, т. 20, № 3, с.183, 2017.
- [2] L.S. Kuravsky, G.A. Yuryev, "A novel approach for recognizing abnormal activities of operators of complex technical systems: three non-standard metrics for comparing performance patterns," *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, vol. 11, no. 4, 2020.
- [3] L.S. Kuravsky, G.A. Yuryev, V.I. Zlatomrezhev, N.E. Yuryeva, "Assessing the Aircraft Crew Actions with the Aid of a Human Factor Risk Model," *Experimental Psychology (Russia)*, vol. 13, no. 2, pp. 153-181, 2020. DOI: 10.17759/exppsy.2020130211.
- [4] С.В. Клаучек, "Психофизиологическое моделирование профессионального стресса человека-оператора," В *Научное наследие академика П.К. Анохина и его развитие в трудах Волгоградских ученых : Материалы областной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика П.К. Анохина*, Волгоград, 26–27 февраля 1998 года. Том 1. – Волгоград: Волгоградская медицинская академия, 1998, с. 52-53.
- [5] В.М. Натальин, "Моделирование управляющих действий пилота в условиях особых ситуаций," *Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации*, № 138, с. 205-209, 2009.
- [6] Е.П. Ильин, *Психофизиология человека*. СПб.: Питер, 2005.
- [7] L.S. Kuravsky, G.A. Yuryev, I.I. Greshnikov et al., "Assessing the Pilot Condition According to Video Oculography Data and Parameters of Brain Alpha Rhythms by Modeling the Neural Activity," *Experimental Psychology (Russia)*, vol. 15, no. 2, pp. 194-212, 2022. DOI 10.17759/exppsy.2022150214.
- [8] Л.С. Куравский, Г.А. Юрьев, В.И. Златомрежев, Н.Е. Юрьева, "Оценка действий экипажа воздушного судна на основе модели рисков человеческого фактора," *Экспериментальная психология*, т. 13, № 2, с. 153-181. DOI 10.17759/exppsy.2020130211.
- [9] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021668683 Российская Федерация. "The Intelligent System for Flight Analysis v. 3.3" (ISFA v. 3.3) : № 2021668197 : заявл. 17.11.2021 : опубли. 18.11.2021 / Л. С. Куравский, Н. Е. Юрьева, Г. А. Юрьев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-исследовательский институт авиационных систем".
- [10] В.Н. Афанасьев, В.Б. Колмановский, В.Р. Носов, *Математическая теория систем управления*. М.: Высшая школа, 2003.
- [11] L.S. Kuravsky, I.I. Greshnikov, G.A. Yuryev, V.I. Zlatomrezhev, "Synthesis of Civil Aircraft Control Using Empirical Data and Quantum Filtering," *Lobachevskii J. Math.*, vol. 44, no. 6, pp. 2079–2100, 2023.
- [12] L.S. Kuravsky, P.A. Marmalyuk, G.A. Yuryev, O.B. Belyaeva, O.Yu. Prokopieva, "Mathematical Foundations of Flight Crew Diagnostics Based on Videoculography Data," *Applied Mathematical Sciences*,

vol. 10, no. 30, pp. 1449—1466, 2016. DOI:
10.12988/ams.2016.6122.

Pilot model as a means of validation of advanced crew cockpit and on-board equipment set

I.I. Greshnikov, L.S. Kuravsky, S.D. Logachev, I.A. Makhortov

Abstract—Given the growing importance of the human factor as the cause of flight accidents and the active development of aviation technology, this study focuses on creating an aircraft pilot integrated model. This model is designed to validate advanced crew cockpits and on-board equipment sets, taking into account the psychophysiological and cognitive aspects of pilots' activities. The article describes the conceptual foundations of the pilot model, its structure, including a psychophysiological module and modules for simulating and visualizing pilot activity. The results of the model integration into the prototyping bench, modeling the crew cockpit and the complex of on-board equipment of an advanced aircraft and preliminary testing of the pilot model components as part of this prototyping bench are presented. The results of the researching demonstrate the potential of the model to be used as a means of validating promising solutions implemented on board aircraft. Individual components of the model can be used directly on board the aircraft, as a means of control and intellectual support for the pilot, as well as for forming control commands into the navigation system in difficult flight modes.

Keywords—human-machine interface, crew cockpit, on-board equipment set, pilot model, validation.

REFERENCES

- [1] L.E. Mehantieva, A.V. Masalytin., A.N. Lisnev, "Analysis of the largest passenger aircraft crashes of the beginning of the XXI century, *Applied information aspects of medicine*, vol. 20, no. 3, p.183, 2017. [In Rus]
- [2] L.S. Kuravsky, G.A. Yuryev, "A novel approach for recognizing abnormal activities of operators of complex technical systems: three non-standard metrics for comparing performance patterns," *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, vol. 11, no. 4, 2020.
- [3] L.S. Kuravsky, G.A. Yuryev, V.I. Zlatomrezhev, N.E. Yuryeva, "Assessing the Aircraft Crew Actions with the Aid of a Human Factor Risk Model," *Experimental Psychology (Russia)*, vol. 13, no. 2, pp. 153-181, 2020. DOI: 10.17759/exppsy.2020130211.
- [4] S. V. Klaucek, "Psychophysiological modeling of professional stress of a human operator," In *Scientific heritage of academician P.K. Anokhin and its development in the works of Volgograd scientists*, Materials of the regional scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of academician P.K. Anokhin, Volgograd, February 26-27, 1998. Vol. 1, Volgograd: Volgograd Medical Academy, 1998, pp. 52-53. [In Rus]
- [5] V.M. Natalyin, "Modeling of pilot control actions in special situations" *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*, no. 138, pp. 205-209, 2009. [In Rus]
- [6] E.P. Ilyin, *Human psychophysiology*. St. Petersburg: Peter, 2005. [In Rus]
- [7] L.S. Kuravsky, G.A. Yuryev, I.I. Greshnikov et al., "Assessing the Pilot Condition According to Video Oculography Data and Parameters of Brain Alpha Rhythms by Modeling the Neural Activity," *Experimental Psychology (Russia)*, vol. 15, no. 2, pp. 194-212, 2022. DOI: 10.17759/exppsy.2022150214. [In Rus]
- [8] L.S. Kuravsky, G.A. Yuryev, V.I. Zlatomrezhev, N.E. Yuryeva, "Assessment of the actions of the aircraft crew based on the human factor risk model," *Experimental psychology*, vol. 13, no. 2, pp. 153-181, 2020. DOI: 10.17759/exppsy.2020130211. [In Rus]
- [9] Certificate of state registration of the computer program No. 2021668683 Russian Federation. "The Intelligent System for Flight Analysis v. 3.3" (ISFA v. 3.3) : No. 2021668197 : application 17.11.2021 : publ. 18.11.2021 / L. S. Kuravsky, N. E. Yuriev, G. A. Yuriev [et al.] ; applicant Federal State Unitary Enterprise Scientific Research Institute of Aviation Systems.. [In Rus]
- [10] V.N. Afanasyev, V.B. Kolmanovsky, V.R. Nosov, *Mathematical theory of control systems*. M., Higher School, 2003. [In Rus]
- [11] L.S. Kuravsky, I.I. Greshnikov, G.A. Yuryev, V.I. Zlatomrezhev, "Synthesis of Civil Aircraft Control Using Empirical Data and Quantum Filtering," *Lobachevskii J. Math.*, vol. 44, no. 6, pp. 2079–2100, 2023
- [12] L.S. Kuravsky, P.A. Marmalyuk, G.A. Yuryev, O.B. Belyaeva, O.Yu. Prokopieva, "Mathematical Foundations of Flight Crew Diagnostics Based on Videoculography Data," *Applied Mathematical Sciences*, vol. 10, no. 30, pp. 1449—1466, 2016. DOI: 10.12988/ams.2016.6122.

About of Authors

- I.I. Greshnikov**, State Research Institute of Aviation Systems (GosNIIAS), Moscow, head of laboratory, (e-mail: vvanes@mail.ru)
L.S. Kuravsky, MGPPU, Moscow, dean of the faculty (e-mail: l.s.kuravsky@gmail.com)
S.D. Logachev, State Research Institute of Aviation Systems (GosNIIAS), Moscow, engineer (e-mail: sdlogachev@gmail.com)
I.A. Makhortov, State Research Institute of Aviation Systems (GosNIIAS), Moscow, junior research assistant (e-mail: Inok546@ya.ru)