



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ
АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)
(МГТУ ГА)

Кронштадтский б-р, д. 20, Москва, 125993
Тел. (499) 459-07-07, факс (499) 457-12-01
e-mail: info@mstuca.aero

Проректору по научной работе
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)» МАИ

д.т.н., проф. Равиковичу Ю.А.

125993, г. Москва, Волоколамское ш. д.4

№

На № 604-10-363 от 24.08.2022

О направлении отзыва ведущей
организации

Уважаемый Юрий Александрович!

Направляю Вам отзыв ведущей организации на кандидатскую диссертацию Грешникова Ивана Игоревича на тему «Моделирование элементов информационно-управляющего поля кабины и действий экипажа воздушного судна на универсальном стенде прототипирования», представленную в диссертационный совет 24.2.327.03 на базе ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по научной специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки)».

Приложение:

1. Отзыв ведущей организации

на 7 листах, 2 экз.

Проректор по НР и И

В.В. Воробьев

С уважением

Мерзликин И.Н.
84994590442

Отдел документационного
обеспечения МАИ

16 09 2022

«Утверждаю»

Проректор по научной работе и инновациям
ФГБОУ ВО «Московский государственный
технический университет гражданской
авиации» (МГТУ ГА)

д.т.н., профессор

Воробьев В.В.

12.09.22



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Московский государственный
технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА)

на диссертационную работу Грешникова Ивана Игоревича
«Моделирование элементов информационно-управляющего поля
кабины и действий экипажа воздушного судна на универсальном
стенде прототипирования», представленную на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности

1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ (технические науки)».

Вопросы оптимизация информационно-управляющего поля (ИУП) и
оценки уровня подготовки лётного состава, рассматриваемые в данной работе,
напрямую связаны с безопасностью полёта воздушных судов (ВС), тем самым
определяя актуальность исследования. Несмотря на значительный объём
исследований в данных областях, следует отметить, что современные тренды в
зарубежных и российских исследованиях направлены в сторону сокращения
лётного экипажа до одного человека, что предъявляет новые более жёсткие
требования к эргономическим показателям ИУП кабины, а также определяет
новый перечень обязанностей для единственного оставшегося члена экипажа,
что требует новых подходов к обучению и соответственно предъявляет
повышенные требования к оценке уровня подготовки пилота.

Основой целью диссертационной работы Грешникова И.И. является
повышение безопасности полётов ВС для достижения которой диссертанту
потребовалось решить ряд задач исследовательского и прикладного характера.

Прежде всего, И.И. Грешникову удалось разработать новые методы
анализа уровня подготовки пилотов, основанные на использовании
эмпирической базы данных паттернов лётных упражнений, состоящей из
параметров бортовых систем и глазодвигательной активности (ГДА).
Преимущества данных методов перед существующими состоят:

Отдел документационного
обеспечения МАИ

16.09.22

– в снятии проблемы точной синхронизации начала сравниваемых фрагментов полётов, не позволявшей ранее выполнять оценки в автоматическом режиме;

– в возможности выявления причин аномально выполненных упражнений, используя содержательную интерпретацию относительных вкладов лётных параметров, которыми обусловлены отличия оцениваемого фрагмента полёта от эталонного, в соответствующую общую оценку различий в заданной метрике;

– в допустимости использования для построения оценок малых выборок лётных манёвров;

– в наличии вероятностных критериев для отбора аномально выполненных фрагментов полётов, построенных на основе дискриминантного анализа;

– в возможности решать задачи в реальном времени.

В диссертации также представлен метод объективной оценки и оптимизации ИУП, основанный на определении оптимального взаимного расположения элементов индикации с применением средств видеоокулографии. Преимуществом данного метода является возможность не просто получить численную оценку эргономического качества ИУП, но и произвести его оптимизацию в реальном времени, что раньше достигалось только с помощью экспертных оценок. При этом использование неинвазивных технических средств объективной оценки позволяет исключить влияние на результат «эмоционального» фактора.

По сравнению с субъективными подходами, опирающимися на экспертные оценки, преимущество предлагаемого решения состоит в возможности получения количественных численных оценок эргономического качества элементов ИУП и оптимизации элементов ИУП в автоматическом режиме.

Кроме того, в рамках диссертационного исследования разработаны комплексы программ моделирования ИУП, эргономической оценки и анализа уровня подготовки пилотов, основанные на разработанных методах и проведена интеграция данных программ в универсальный стенд прототипирования (УСП) кабины пилотов.

Решение обозначенных задач позволило И.И. Грешникову получить ряд новых научных результатов, представленных в диссертации. К ним относятся:

1. Математическая модель, представляющая полёт ВС в пространстве вейвлет-коэффициентов, вычисленных по репрезентативным параметрам, и математическая модель, представляющая ГДА пилотов в метрике правдоподобия траекторий движения взора, которые обеспечивают оценку уровня подготовки экипажа на УСП и имеют следующие особенности:

– вместо непосредственного представления исследуемых процессов временными рядами используется их представление вейвлет-коэффициентами, что сняло проблему синхронизации сопоставляемых процессов, существенно тормозившую работы в данном направлении;

– основной формой представления анализируемых данных являются матрицы взаимных расстояний исследуемых процессов в различных метриках;

– в зависимости от типа задачи применяются три вновь разработанные метрики для сравнения исследуемых фрагментов полётов;

– фрагменты полётов в пространстве шкалирования представляются и распределяются по типам путём применения многомерного шкалирования к матрицам взаимных расстояний и последующего кластерного анализа;

– относительные вклады параметров в элементы матриц взаимных расстояний между фрагментами полётов оцениваются с целью выявления аномально выполненных манёвров и определения параметров, динамика которых свидетельствует об ошибках пилотов.

2. Численный метод определения взаимного расположения элементов индикации, согласованного с эталонным распределением частот пребывания в зонах фиксации взора, путём оптимизации матрицы вероятностей переходов между ними, особенностями которого являются:

– применение марковских процессов для описания распределения внимания по зонам индикации;

– оптимизация на основе сравнения стационарных распределений матриц вероятностей перехода между зонами индикации;

– применение итерационной численной процедуры для поиска минимального значения расхождения между распределениями, используя статистику хи-квадрат;

– применение многомерного шкалирования для графического представления расстояний между зонами индикации, вычисляемых с помощью соответствующих матриц вероятностей переходов.

3. Комплексы программ моделирования ИУП, эргономической оценки и анализа уровня подготовки пилотов, установленные на УСП ГосНИИАС, позволяющие обеспечить:

– возможность объективной оценки уровня подготовки пилота;

– высокую степень автоматизации эргономической оценки с возможностью проведения оценки «от и до», в том числе инженерам, не имеющим опыта в данной области;

– возможность моделирования перспективных функций ИУП кабины пилотов;

– высокую производительность и масштабируемость ПО за счёт использования современных подходов.

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы (110 наименований). Общий объём работы составляет 134 страницы, включая таблицы и рисунки.

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, дана общая характеристика работы.

В первой главе приведён анализ современных критериев и методов эргономической оценки и анализ исследований в области оценки состояния и уровня подготовки пилотов. Сделаны выводы о важности задачи оптимизации ИУП кабины, обусловленной необходимостью снижения нагрузки на экипаж и,

как следствие, повышения безопасности полёта. Также отмечена необходимость создания надёжных средств, позволяющих оценивать уровень подготовки пилотов и, при необходимости, отстранять от управления ВС, возложив данные функции на автоматику, что особенно важно в контексте перехода к одночленному экипажу.

Во второй главе представлены математические модели полёта ВС и ГДА пилотов, обеспечивающие оценку уровня их подготовки. Уровень подготовки пилота определяется на основе интегральных сравнений исследуемых фрагментов полёта с сопоставимыми фрагментами (паттернами) из специализированной базы данных, которые характеризуют выполнение лётных упражнений экипажами с различным уровнем подготовки. Паттерны представляют характерные фрагменты полётов с помощью наборов временных рядов, которые содержат значения параметров, определяющих движение и состояние систем ВС. На исследуемый фрагмент полёта переносятся характеристики паттерна, ближайшего в заданной метрике. Определение ближайшего паттерна сопровождается распознаванием аномального пилотирования и параметров полёта, характеризующих ошибки экипажа. Аномальность фрагментов полёта выявляется через принадлежность к заданным кластерам паттернов. При этом выявляются параметры, ответственные за принадлежность к определённым кластерам, а также за различия между паттернами.

Действия, реализуемые пилотами с разным профессиональным качеством выполнения, а также фрагменты полётов разных типов отделяются друг от друга в достаточной степени в многомерном пространстве шкалирования, сформированном с помощью специальной процедуры в подобранных метриках.

Необходимый результат достигается применением сложной комбинации процедур анализа случайных процессов и многомерного статистического анализа. «Интеллект» средств распознавания содержится в эмпирических данных, представленных паттернами, и может гибко изменяться по мере их накопления. Эмпирические данные включают комбинированную информацию о динамике полёта и управлении ВС, распределении визуального внимания пилотов, а также экспертные оценки результатов выполнения лётных упражнений.

Используя результаты применения метода главных компонент, многомерного шкалирования и кластерного анализа параметров полёта и траекторий движения глаз пилотов, формируются кластеры фрагментов полётов различных типов и качества исполнения, которые используются для классификации манёвров в пространстве шкалирования и выявления некорректных действий экипажа.

Итоговые заключения о принадлежности к целевым кластерам, связанным с типами упражнений и качеством пилотирования, строятся на основе вычисления вероятностного профиля, что обеспечивается средствами дискриминантного анализа. Для содержательного анализа причин некорректного выполнения манёвров детализируются относительные вклады параметров полёта

в элементы матриц взаимных расстояний между фрагментами полётов в заданной метрике, что позволяет определять параметры, характеризующие ошибки пилота с целью выявления их причин.

В третьей главе представлен метод определения взаимного расположения элементов индикации.

Расположение зон индикации обуславливается следующими опытными фактами:

- высокой частотой взаимных переходов между элементами индикации;
- близостью зон индикации;
- распределением времени пребывания в зонах индикации;
- соотношением частот взаимных переходов между парами элементов индикации.

Перемещения взора характеризуются последовательностями просмотренных зон индикации, которые интерпретируются как последовательности состояний. Для моделирования динамики перемещений взора по зонам индикации используются цепи Маркова, в которых указанным зонам соответствуют определённые состояния, образующие полную систему. Пребывание в состоянии определяется нахождением взора в соответствующей ему зоне индикации.

На основе оптимизированного расположения зон индикации производится синтез варианта компоновки пилотажного кадра для сложного пространственного положения с учётом требований эстетики и нормативных документов. В этих целях производится расстановка и видоизменение зон индикации в соответствии с выходными параметрами оптимизации.

В четвёртой главе представлены комплексы программ моделирования ИУП, эргономической оценки и анализа уровня подготовки пилотов, установленные на УСП:

- для анализа уровня подготовки пилотов;
- для проведения комплексной эргономической оценки на базе УСП и анализа результатов данной оценки;
- для моделирования и оценки:
 - ИУП на базе сенсорных дисплеев, в том числе оценки перспективной индикации системы самолётовождения, кадров управления системами ВС, штатных и аварийных чек-листов с применением авиационного стандарта ARINC 661, адаптированных к сенсорному управлению;
 - перспективной пилотажно-навигационной индикации;
 - резервного контура управления индикацией, конфигурацией и бортовыми системами, в том числе на основе кноппеля, взгляда и голоса.

Достоверность результатов работы подтверждается сопоставлением результатов вычислительных экспериментов и данных эмпирических исследований, включая проверку гипотез по статистическим критериям

согласия, а также проведёнными оценками разработанных методов и ПО лётными экспертами ФГУП «ГосНИИГА» и ФГУП «ПИЦ».

Научная новизна работы состоит в создании математических моделей, представляющих полёт ВС в пространстве вейвлет-коэффициентов и в разработке численного метода определения взаимного расположения элементов индикации. Также предложены концепции комплексов программ моделирования ИУП, эргономической оценки и анализа уровня подготовки пилотов.

Практическая значимость работы состоит в том, что её результаты позволяют использовать разработанные методы, математический аппарат и комплексы программ для анализа уровня подготовки пилотов и для проведения эргономической оценки ИУП кабины ВС и любого другого ИУП. Разработанные комплексы программ могут быть применены в составе стендов прототипирования ИУП, при этом часть программных компонентов может быть использована в составе бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) самолёта с минимальными доработками.

Область исследования диссертации соответствует паспорту научной специальности 1.2.2 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Автореферат диссертации соответствует её содержанию и позволяет получить о ней достаточно полное представление.

Материалы диссертации прошли серьёзную апробацию, доложены на многочисленных российских и международных конференциях (11 тезисов и научных статей), опубликованы в 8 статьях в научных журналах (из них 3 – в журналах ВАК, 4 – в журналах Scopus, 1 – в журнале WoS).

Рекомендации по использованию. Результаты диссертационной работы могут быть использованы при проектировании новых ВС, при подготовке пилотов. Также разработанные программные комплексы могут быть применены в составе стендов прототипирования ИУП.

Общие замечания и пожелания. По содержанию диссертации можно высказать следующие замечания и пожелания.

1. Оформление диссертации частично не соответствует ГОСТ Р 7.0.11-2011 Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. В частности - некоторые формулы не пронумерованы, периодически встречаются заголовки в конце листов.

2. При анализе негативного воздействия на экипаж ВС отсутствует описание дистресса и его последствий. Именно дистресс и его последствия, а не стресс является наиболее опасным состоянием для людей. Стресс же в некоторых случаях можно считать положительным фактором воздействия в виду «мобилизации» внутренних резервов организма и повышения работоспособности вследствие этого воздействия.

3. В тексте диссертации при описании работы разрабатываемых моделей используется цветовая навигация, как например при оценке уровня подготовки пилотов на основе анализа параметров полета и данных ГДА, однако сами схемы приведены в тексте в черно-белом исполнении, что заметно

усложняет понимание текста для читателя. Помимо этого, часть фрагментов индикаций, графически отображаемых на приборной панели кабины ВС, разнятся с их описанием, приведенным в тексте диссертации.

4. Метод экспертной (субъективной) оценки на основе вероятностного подхода метода парных сравнений, предлагаемый автором имеет ряд ограничений/особенностей которые автор предлагает учитывать каждый раз при проведении эргономических оценок. Возникает вопрос о работоспособности и применимости предлагаемого метода при проведении эргономической оценки на подвижных стендах, где перечисленные автором ограничения будут отсутствовать или сведены к минимуму.

Следует подчеркнуть, что указанные замечания не снижают качества результатов проведённых исследований, общую высокую оценку их новизны и практической значимости.

Заключение. Диссертация Грешникова Ивана Игоревича на тему «Моделирование элементов информационно-управляющего поля кабины и действий экипажа воздушного судна на универсальном стенде прототипирования» является самостоятельной завершённой научно-квалификационной работой на актуальную тему, содержащей новые научные результаты, полученные с применением классических методов математического моделирования. Работа соответствует паспорту специальности 1.2.2 — «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (технические науки). Диссертация отвечает всем требованиям положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Грешников Иван Игоревич, заслуживает присуждения учёной степени **кандидата технических наук по специальности 1.2.2 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук».**

Диссертация и отзыв рассмотрены и обсуждены на заседании кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА протокол №1 от 01 сентября 2022 года.

доц., докт. техн. наук, профессор

Феоктистова Оксана Геннадьевна

доц., канд. техн. наук, доцент

Мерзликин Игорь Николаевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА), кафедра безопасности полетов и жизнедеятельности, Москва, Кронштадтский бульвар 20, bpigd@mail.ru; (499)459-04-42

С отзывом ознакомлен 30.09.22