

Конкурс «Авиастроитель года» по итогам 2024 года.

Номинация: «За создание новой технологии».

Конкурсная работа

**«Технологии проектирования информационно-управляющего поля
и проведения эргономической оценки на комплексах моделирования»**

Введение

Разработка информационно-управляющего поля (далее – ИУП) кабины экипажа воздушного судна (далее – ВС) является сложной исследовательской задачей, решение которой требует формирования соответствующей материально-технической и научно-методологической базы, а также привлечения высококвалифицированных специалистов. Эта задача предполагает интеграцию современных инженерных решений, основанных на междисциплинарном подходе, объединяющем достижения в области аэрокосмической техники, информатики, эргономики и психологии труда.

Комплекс средств и инструментов для разработки, испытаний и эргономической оценки в сочетании с методологическими основами образуют технологии проектирования ИУП. Эффективное использование данных технологий обеспечивает значительное улучшение эргономических характеристик кабины экипажа ВС, что способствует снижению утомляемости пилотов и повышению безопасности полетов. Кроме того, внедрение инновационных решений способствует оптимизации рабочих процессов и увеличению производительности труда летного состава.

Таким образом, комплексное применение научных и технологических достижений при разработке ИУП становится ключевым элементом в создании современного и конкурентоспособного авиационного оборудования.

Назначение технологий

Технологии предназначены для разработки, моделирования и оценки ИУП разрабатываемых кабин и модернизации существующих ВС, а также проведения исследований в области человеко-машинного взаимодействия.

Назначение технологий:

1. Системная разработка и отработка ИУП кабин перспективных ВС на высоком научном уровне.
2. Модернизация ИУП существующих ВС и обоснование выбора технических решений.

3. Проведение исследований человеко-машинного взаимодействия, в том числе с использованием объективных показателей: эффективности выполнения задачи, функционального состояния пилота в процессе выполнения задач с использованием обработки психофизиологических показателей.

4. Использование в качестве технического средства обучения для первоначальной подготовки летного состава.

5. Разработка программного обеспечения (далее – ПО) бортовой индикации в формате, пригодном для передачи разработчику дисплея, с целью обеспечения бесшовного жизненного цикла ПО – от комплекса моделирования до самолета и тренажера.

Решаемые задачи

Разработанные технологии предназначены для решения следующих задач:

1. Разработка и исследование ИУП кабин разрабатываемых и существующих ВС, в том числе:

– разработка ИУП кабин существующих и модернизируемых ВС на основе системных методов проектирования;

– исследование новых видов кабин (кабина с одним пилотом, кабина сверхзвукового гражданского самолета);

– проведение предварительного анализа эргономических свойств ИУП кабины экипажа;

– отработка логики выдачи предупреждающих и уведомляющих сообщений экипажу в комплексе с пультами, системой экранной индикации и аудиосистемой;

– выбор наилучшего варианта интерфейса из нескольких, предложенных заказчиком;

– отработка логики реконфигурации информации на экранах системы экранной индикации;

2. Проведение исследований в области перспективных технологий человеко-машинного взаимодействия (синтезированного и улучшенного видения, дополненной реальности, мультимодального взаимодействия и др.);

3. Обработка летной документации (в т.ч. руководства по летной эксплуатации ВС для нормальных и аварийных процедур на всех этапах полета);

4. Построение технических средств обучения экипажей на базе комплексов моделирования для обучения летного и технического экипажей самолета.

Методология проектирования ИУП включает 3 этапа работ (Рисунок 1):

- анализ исходных данных и формирование требований к ИУП;
- разработка и тестирование комплексов моделирования;
- проведение исследовательских испытаний.

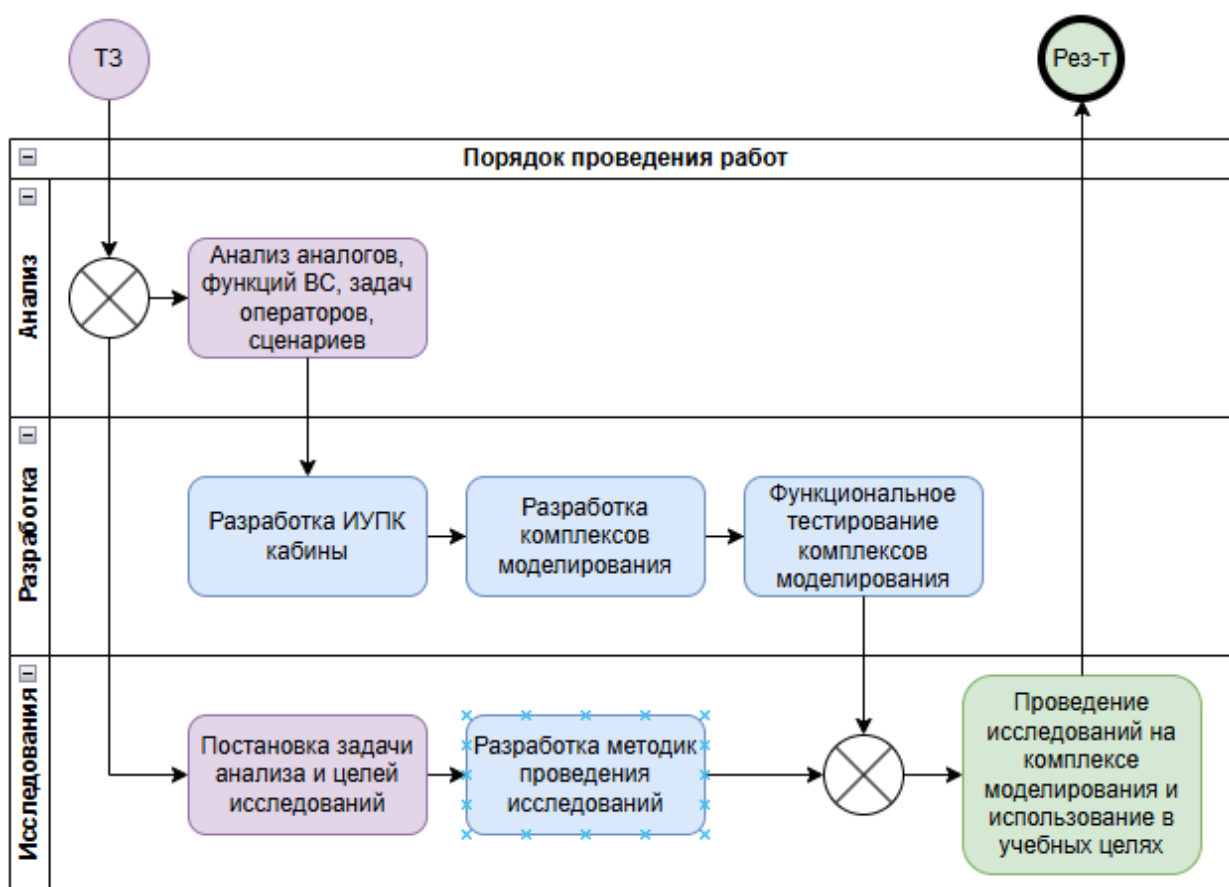


Рисунок 1. Этапы проведения работ

Методология системного проектирования человеко-машинного взаимодействия представлена в Приложении 2.

Методология обеспечивает структурированный подход к проектированию, учитывающий, как технические аспекты, так и особенности восприятия и взаимодействия человека с системой. Применение данной методологии способствует повышению качества проектирования кабин ВС за счет

систематической оценки и оптимизации эргономических характеристик, что позволяет снизить когнитивную нагрузку на пилота, улучшить уровень ситуационной осведомленности и, как следствие, повысить уровень безопасности полетов.

Технология исследовательских испытаний базируется на применении программно-аппаратного комплекса (далее – ПАК) эргономических оценок ИУП кабины пилотов, интегрированного в комплекс моделирования ИУП, и комплекта методик исследовательских испытаний.

Не менее важной составляющей технологий проектирования ИУП являются применяемые технические средства. Поскольку проектирование ИУП и его оценка является комплексным процессом, состоящим из нескольких этапов, полный цикл данного процесса подразумевает использование нескольких технических средств (комплексов моделирования), которые представлены в Приложении 2.

Заключение

Благодаря применению современных решений и научных методов были созданы инструменты и методология, значительно повышающие качество проектирования человеко-машинных интерфейсов и позволяющие оперативно моделировать и отрабатывать разнообразные варианты компоновки элементов ИУП и кабин перспективных ВС.

Разработанные технологии проектирования ИУП и проведения эргономической оценки были успешно применены при разработке новейшего российского самолета SJ-100. Отдельные компоненты технологий, представленных в Приложении 1, были также использованы при разработке других гражданских воздушных судов, таких как МС-21, а также при проектировании перспективных кабин ВС, в том числе сверхзвукового гражданского самолета.

Внедрение технологий проектирования ИУП стало ярким примером успешного решения сложных задач – от формирования концептуальных идей до

создания полноценных прототипов ИУП для разрабатываемых в настоящее время самолетов. Описанные инновационные инструменты и методология способствуют улучшению качества разработки и сокращению транзакционных издержек, и обеспечивают повышение общей эффективности и качества выполняемых работ.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

На стенде информационно-управляющего поля кабины экипажа самолета SJ-100 (далее – ИУП КЭ) проводятся:

- объективные и субъективные оценки технических решений с целью выбора вариантов реализации ИУП КЭ;
- отработка стандартных рабочих процедур (SOP);
- отработка интерфейса FMS;
- поддержка разработки летной документации (Рисунок 2).

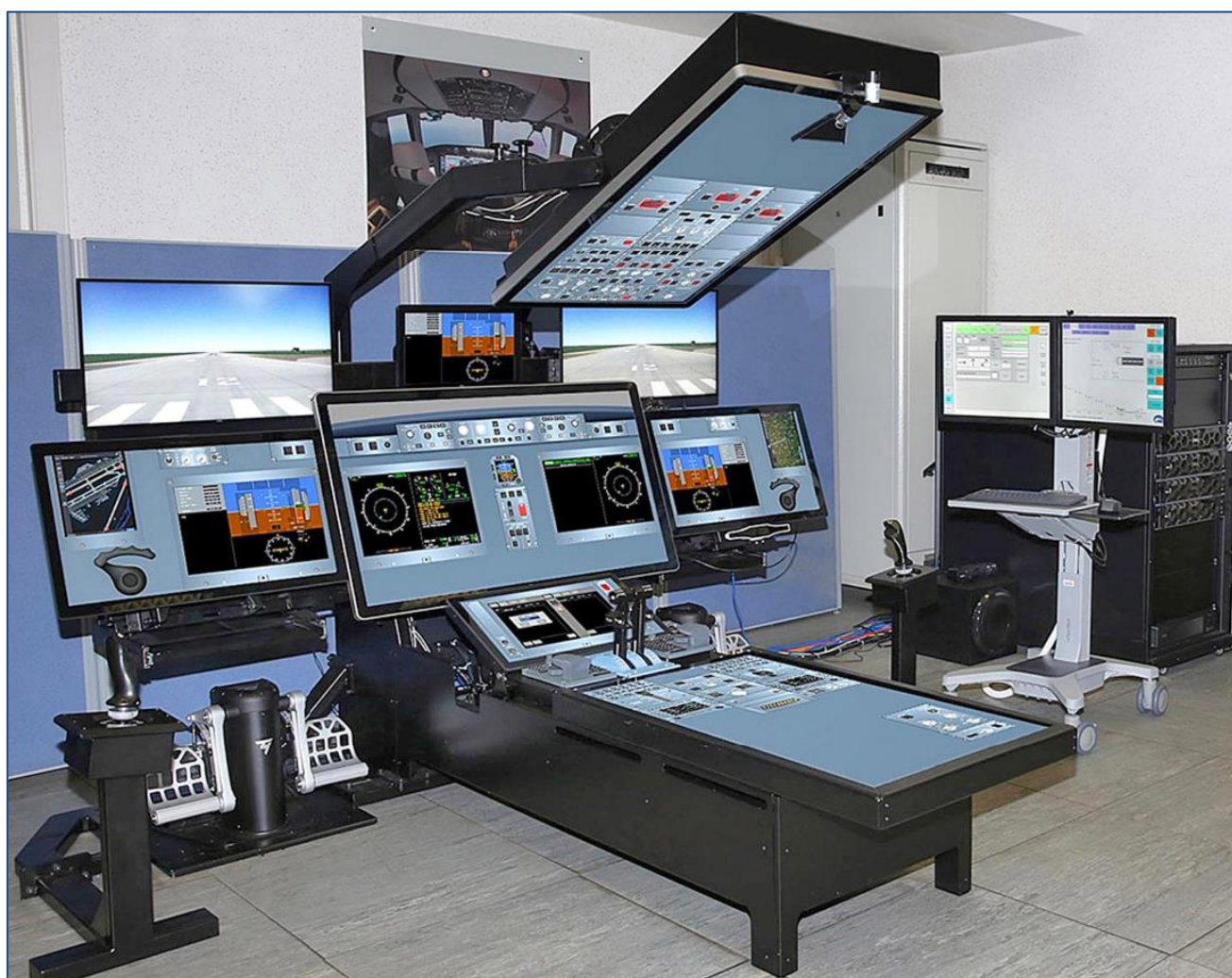


Рисунок 2. Стенд информационно-управляющего поля кабины экипажа самолета SJ-100

Стенд ИУП КЭ предназначен для:

– оценки вариантов и форматов индикации и пультов управления в части расположения, вида отдельных мнемосимволов и кнопок, цветового кодирования и др.;

– оценки пультов MFD CP с использованием упрощенных реплик данных пультов;

– проведения всех видов оценок человеко-машинного взаимодействия с использованием системы регистрации взора;

– оценки принятых технических решений в части органов управления на соответствие документу RRJ0000-RE-100-1896 «Философия построения кабины экипажа самолета SSJ-75», а также актуальным и перспективным сертификационным требованиям.

Стенд ИУП КЭ содержит модели информационных кадров и пультов управления бортовыми системами, реализованных на сенсорных экранах, реплики пультов РУД и MFD CP, имитаторы бортовой ручки управления (далее – БРУ) самолетом без загрузки, систему регистрации взора. Конструкция комплекса моделирования позволяет осуществлять синхронный сдвиг всех мониторов приборной доски, что предоставляет расширенные возможности для прототипирования различных бортовых дисплеев и пультов, варьирования их размеров и количества.

В настоящее время комплекс моделирования активно эксплуатируется ПАО «Яковлев» – «Региональные самолеты» и модернизируется с развитием ИУП разрабатываемых самолетов. С учетом перспективной модернизации самолета SJ-100 как одной из основных моделей ВС отечественной гражданской авиации на предстоящие десятилетия, данное оборудование будет многократно задействовано в процессах разработки и модернизации ИУП.

Уникальность процесса разработки и технологии эксплуатации стенда ИУП КЭ подтверждается патентами (рисунки 3 и 4).



Рисунок 3. Патент на комплекс оборудования (стенд) прототипирования интерфейса кабины воздушного судна (продлен до 2026 года)



Рисунок 4. Патент на комплекс проведения эргономических оценок ИУП

Методология (комплекс технологий) системного проектирования ИУП кабины экипажа ВС

Методология системного проектирования человеко-машинных интерфейсов кабин перспективных самолетов заключается в последовательном применении ряда технологий, разработке новых технологий с опорой на научный подход и методы системного анализа и включает в себя:

1. Технологию проведения анализа исходных данных, а именно:
 - анализ технического задания и цели разработки;
 - анализ функций разрабатываемого ВС;
 - анализ возможностей автоматизации;
 - анализ распределения функций операторам (пилотам, операторам наземной поддержки и т.д.) и автоматике;
 - анализ задач экипажа и операторов наземной поддержки;
 - разработку требований к человеко-машинному интерфейсу;
 - разработку требований к исследовательским испытаниям;
 - разработку требований к комплексам моделирования.
2. Технологию разработки комплексов моделирования, а именно:
 - разработку человеко-машинного интерфейса кабины;
 - разработку конструкторской документации на комплекс моделирования;
 - разработку ПО комплекса моделирования (включая интеграцию готовых моделей);
 - изготовление и монтаж комплекса моделирования;
 - функциональное тестирование комплекса;
 - итерационную доработку комплекса по результатам функционального тестирования и исследовательских испытаний;
3. Технологию эргономической оценки и проведения исследовательских испытаний на комплексах моделирования, а именно:

- обработку компоновки кабины;
- эргономическую оценку ИУП разработанной перспективной кабины;
- выбор наилучшего варианта интерфейса;
- исследования человеко-машинного взаимодействия.

Технология проведения анализа исходных данных

Анализ исходных данных проводится на основе методов системного анализа и применения различных нотаций.

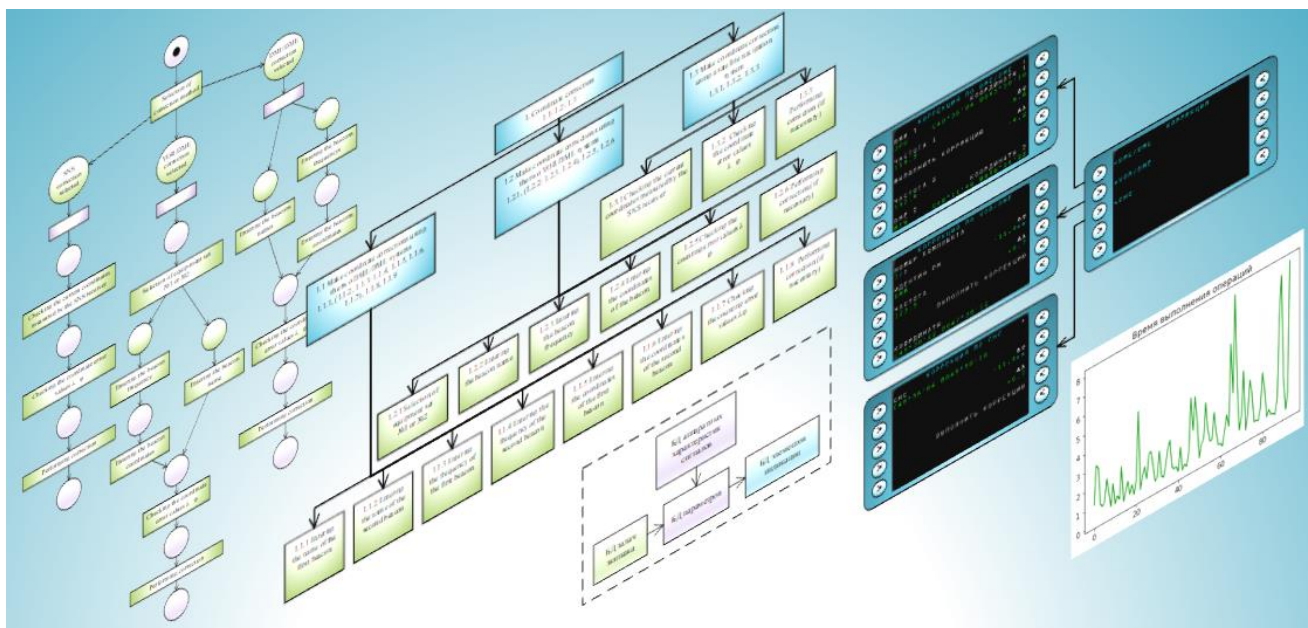


Рисунок 5. Примеры нотаций системного проектирования человеко-машинных интерфейсов

Для анализа функций перспективного ВС, определения требуемого уровня автоматизации кабины, роли операторов наземной поддержки и пилотов применяются следующие методы и нотации анализа функций:

- диаграммы UML вариантов использования различных методов анализа функций и заполнения таблиц;
- методы структурного анализа и проектирования;
- табличные методы анализа.

Для анализа задач пилотов и операторов наземных служб применяются следующие методы анализа задач: метод анализа историй, иерархический анализ

задач и когнитивный анализ задач. По результатам проведенного анализа формируются требования к человеко-машинному интерфейсу.

В соответствии с требованиями, разработанными междисциплинарной группой в составе пилотов-экспертов и инженеров, обладающих компетенциями в проектировании интерфейсов, создаются проекты человеко-машинных интерфейсов для кабин ВС. Также рассматриваются проекты по реализации перспективных технологий ИУП, таких как техническое зрение, мультимодальное управление и дополненная реальность.

Далее разрабатывается 3D-модель кабины для комплекса виртуального прототипирования, где производится ее оценка в соответствии с разработанной методикой. По результатам оценки проект дорабатывается и оценивается повторно. После утверждения проекта по результатам отработки на комплексе виртуального прототипирования интерфейс реализуется на комплексе моделирования.

Технология разработки комплексов моделирования

Разработка комплексов моделирования кабин перспективных ВС базируется на использовании базовых моделей бортовых систем, компонентов кабины и их графических моделей, конструкторской документации предыдущих проектов и специализированной методики разработки комплексов моделирования.

Принципы разработки комплексов моделирования:

1. **Принцип модульности** – комплекс моделирования разрабатывается как набор независимых модулей, каждый из которых отвечает за определенную функцию, что упрощает разработку, тестирование и модификацию комплекса;

2. **Принцип повторного использования** – максимально используются готовые модели, компоненты и программные модули, что сокращает время и стоимость разработки, а также повышает надежность комплекса;

3. **Принцип параметризации** – все параметры моделей и компонентов должны быть легко настраиваемыми, что позволяет адаптировать комплекс моделирования к различным вариантам ВС и сценариям моделирования;

4. Принцип открытости – архитектура комплекса должна быть открытой и поддерживать возможность интеграции с другим оборудованием и ПО, что обеспечивает масштабируемость комплекса;

5. Принцип итеративности – процесс разработки комплекса моделирования является итеративным, что обеспечивает его доработку по результатам тестирования и проведения исследовательских испытаний.

Таким образом, проектирование ИУП кабин и комплексов моделирования осуществляется на основе готовых компонентов, которые выбираются и дорабатываются в соответствии с техническим заданием на проект, но при необходимости разрабатываются новые компоненты.

Технология разработки комплексов моделирования включает следующие этапы:

- определение требований к комплексу моделирования;
- разработка программной и аппаратной архитектуры комплекса;
- выбор и доработка готовых компонентов комплексов, их сборка и интеграция;
- функциональное тестирование комплекса;
- эргономическая оценка ИУП.

Полный цикл применения технологии проектирования ИУП перспективного ВС подразумевает последовательную разработку и проведение отработки на комплексах моделирования трех типов (с предварительным моделированием кабины в системе автоматизированного проектирования (САПР)):

- комплексы виртуального моделирования;
- универсальные комплексы моделирования;
- макеты кабины.

САПР (SolidWorks или аналоги) используется для построения предварительной 3D-модели кабины, включая приборные доски, на основе концепции построения кабины ВС и других исходных данных. Далее разработанная 3D-модель используется в качестве исходной для виртуального моделирования.

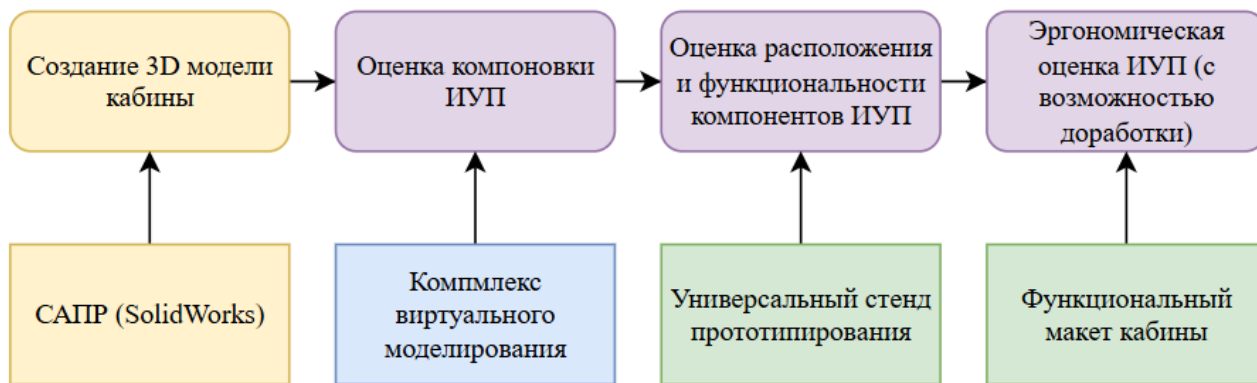


Рисунок 6. Схема применения технических средств проектирования ИУП кабин ВС

Комплексы виртуального моделирования позволяют проводить предварительную эргономическую оценку компоновки кабины экипажа в виртуальном пространстве. Данный подход обеспечивает создание любых конфигураций ИУП кабины экипажа, а также проведение оценки досягаемости компонентов кабины и других параметров эргономики.



Рисунок 7. Комплекс виртуального моделирования кабины ВС (VR)

Комплекс состоит из двух мощных вычислительных машин, двух больших дисплеев и набора VR-устройств (набор базовых станций, перчатки и шлем). Первый дисплей предназначен для дублирования изображений в шлеме (для внешних наблюдателей), второй – для оператора, изменяющего конфигурацию ИУП по замечаниям пилота-эксперта.



Рисунок 8. Комплекс виртуального моделирования кабины ВС (с макетом кабины)

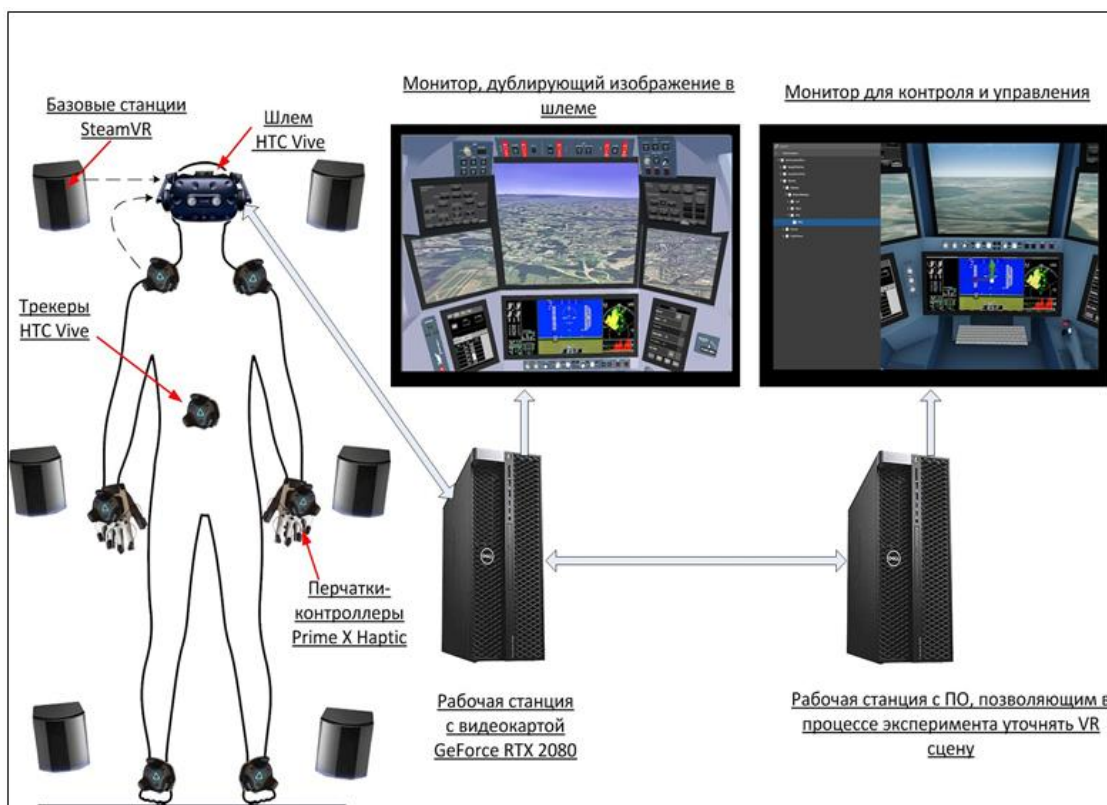


Рисунок 9. Комплекс виртуального моделирования кабины ВС (с макетом кабины)

Универсальный комплекс моделирования – универсальный стенд прототипирования (далее – УСП) состоит из сенсорных мониторов, отображающих графические модели компонентов кабины, отдельных необходимых реплик органов управления (ручки управления двигателями (далее – РУД), БРУ и педали), вычислительного комплекса и рабочего места оператора. Комплекс моделирования позволяет проводить динамическую отработку ИУП кабины и процедур работы экипажа.

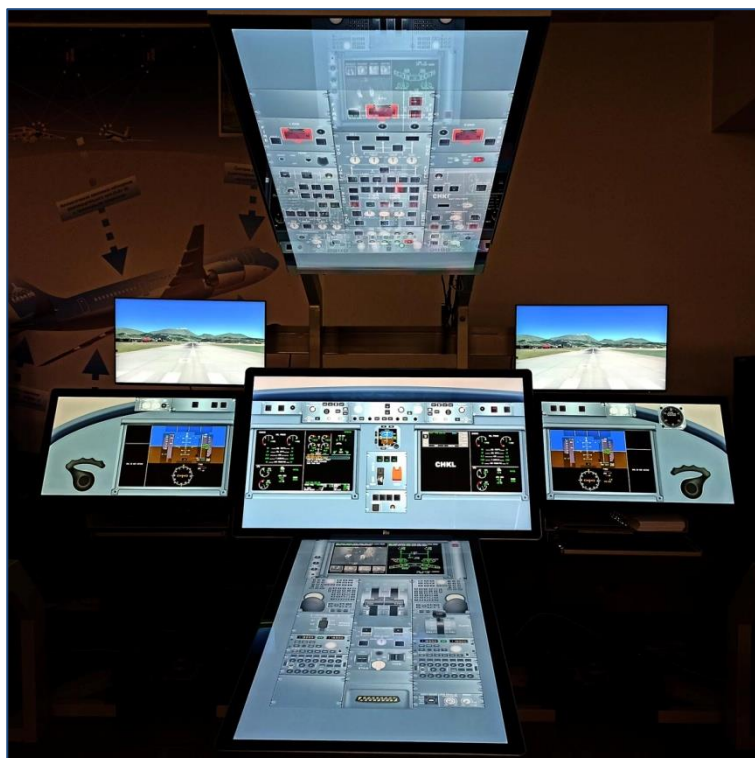


Рис. 10. Универсальный стенд прототипирования



Рисунок 11. Проведение исследования на комплексе моделирования

Разработка макета кабины ВС является очередным этапом проектирования ИУП и следует за этапом отработки расположения компонентов ИУП в виртуальном пространстве и оценки функционала, реализованном на УСП. Реализация ИУП на этапе макетирования «в железе» позволяет в полной мере, наиболее приближенно к самолету создать копию кабины, сохранив при этом определенную гибкость для настройки расположения органов управления.

Технология эргономической оценки и проведения исследовательских испытаний на комплексах моделирования

Все отработки ИУП и испытания проводятся в соответствии с разработанными методиками. Эти методики делятся на три группы:

1. Методики функционального тестирования, созданные на основе требований к ПО разработанных технологий.

2. Методики статической оценки, по которым проводится проверка на соответствие эргономическим стандартам и оценка компоновка кабины. В частности, оцениваются:

- общие характеристики внутрикабинного пространства;
- удобство посадки и высадки на рабочие места командира ВС и второго пилота;
- удобство пользования компонентами ИУП;
- досягаемость и другие характеристики пультов и органов управления;
- характеристики кабины для определения удобства нахождения в кресле и достаточности диапазона его регулировок;
- удобство и компоновка системы экранной индикации и другие параметры.

3. Методика динамической оценки предполагает оценку кабины по результатам экспериментальных исследований с выполнением полетов на комплексе моделирования и выполняется в три этапа.

На первом этапе осуществляется отработка работы экипажа в процессе экспериментальных полетов на разработанном пилотажном комплексе моделирования. Выполняется весь полет от предполетной подготовки до руления,

при этом в эксперименте участвуют два независимых наблюдателя из числа летчиков-испытателей. После каждого эксперимента проводится обсуждение работы пилота для выявления явных эргономических недостатков и формирования предложений по их устранению. Еще одним важным результатом этого этапа является формирование у пилотов-испытателей навыков работы с разработанной перспективной кабиной, что представляет собой необходимое условие достоверности сравнительной эргономической оценки кабин по объективным биометрическим показателям, которая осуществляется на следующем этапе динамической оценки.

На втором этапе проводятся исследования выполнения пилотами отдельных функциональных задач, например, предполетной подготовки, взлета и посадки. При этом осуществляется сравнительная оценка по объективным показателям состояния экипажа при выполнении задач на пилотажном комплексе моделирования исследуемой кабины и аналогичном пилотажном комплексе моделирования традиционной кабины гражданского ВС. После выполнения эксперимента также проводится субъективная оценка отдельных технологий анкетированием пилотов-испытателей.

На третьем этапе проводится анализ опасных факторов и рисков, связанных с выполнением полетов и взаимодействием пилота с кабиной.

Для исследовательских испытаний и оценки характеристик человеко-машинного взаимодействия используется ПАК (комплекс оборудования и ПО) эргономической оценки ИУП кабины пилотов.

При формировании окончательной количественной оценки эргономичности необходимо учитывать, как результаты субъективной, так и объективной оценки, создавая тем самым целостную картину удобства и эффективности взаимодействия пользователя с ИУП. Этот подход обеспечивает более глубокое понимание потребностей пользователей и позволяет в дальнейшем совершенствовать дизайн и функциональные характеристики современных летательных аппаратов и удобство использования их интерфейсов.

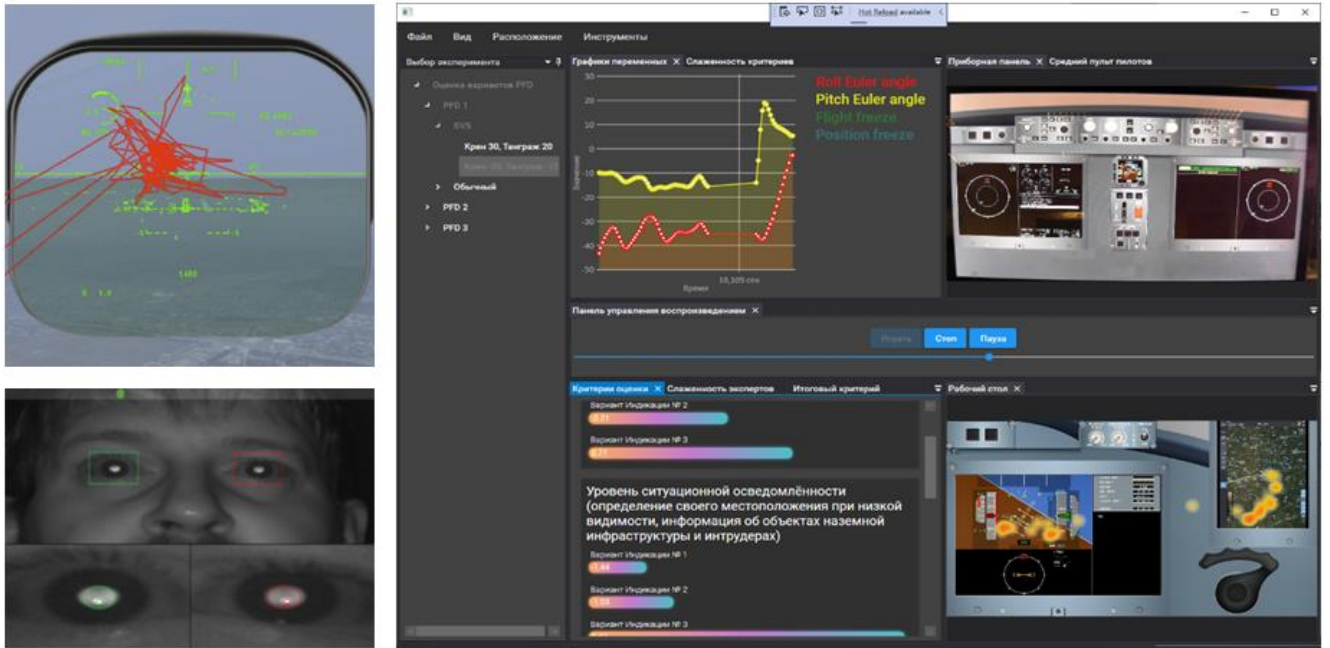


Рисунок 12. Применение ПАК эргономической оценки ИУП

ПАК состоит из следующих компонентов:

- специализированная система настройки экспериментов;
- система регистрации биометрических данных пилотов, синхронизированная с моделями пилотажного комплекса для обеспечения возможности совместной обработки биометрических данных пилота и полетных параметров комплекса;
- система обработки и хранения данных;
- система визуализации данных экспериментов, включающая просмотр результатов одного эксперимента, группы экспериментов и результаты сравнения двух вариантов интерфейса по глазодвигательной активности;
- специализированная система экспертной оценки.

ПАК имеет открытую архитектуру и масштабируется путем подключения дополнительного оборудования, в том числе датчиков электроэнцефалографии, пульса и частоты дыхания, а также программных модулей обработки данных.



Рисунок 13. Программная архитектура ПАК эргономических оценок ИУП кабины пилотов

Таким образом, методология системного проектирования человеко-машинных интерфейсов кабин перспективных ВС представляет собой эффективный и обоснованный подход, который включает в себя комплексный анализ взаимодействия человека и машины. Указанная методология основана на интеграции современных научных принципов и достижений в области эргономики, психологии, а также инженерии, что позволяет создать интерфейсы, удовлетворяющие требованиям современных авиаперевозок и обеспечивающие высокую степень безопасности полетов и комфорта для пилотов.

Основу методологии составляет системный подход, который позволяет учитывать все аспекты функционирования человеко-машинной системы на различных этапах проектирования и эксплуатации. Применяемые методы и инструменты обеспечивают качественную и количественную оценку эффективности интерфейсов, что в свою очередь способствует оптимизации взаимодействия пилота с системой управления. Такой подход позволяет предвидеть и устранять потенциальные проблемы на ранних стадиях разработки, что значительно снижает риски ошибок во время эксплуатации.

Типовые методики исследований, соответствующие принятым стандартам и апробированные на научно-технических конференциях, а также опыт их

разработки являются важными компонентами технологии системного проектирования и обеспечивают высокое качество выполнения исследований. Это делает представленную методологию не только научно обоснованной, но и практически применимой в условиях современного проектирования кабин ВС, и, как следствие, актуальной для обеспечения развития авиационной отрасли.