

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

На правах рукописи

**Дегтярев Вячеслав Сергеевич**

**МЕТОДИКА СЕРТИФИКАЦИИ УСТРОЙСТВ ИМИТАЦИИ ПОЛЕТА,  
ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ТРЕНИРОВКИ ЭКИПАЖЕЙ ПО ВЫВОДУ  
ВОЗДУШНОГО СУДНА ИЗ СЛОЖНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ  
ПОЛОЖЕНИЙ**

Специальность 05.22.14 – Эксплуатация воздушного транспорта

**Диссертация**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Научный руководитель**  
д.т.н., проф. Машошин О.Ф.

Москва – 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
Глава 1. АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И СЕРТИФИКАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЛЕТНОГО СОСТАВА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЗА РУБЕЖОМ.....	16
1.1 Требования российской и международной документации, применяемые при сертификации УИП для подготовки летного состава ГА .....	16
1.2 Исследование технических средств обучения, которые могут применяться для подготовки летного состава и требований к ним .....	28
1.3 Исследование методик применяемых при сертификации технических средств обучения летного состава .....	41
Выводы по главе 1 .....	55
Глава 2. РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВАЛИДАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ПОДВИЖНОСТИ УСТРОЙСТВ ИМИТАЦИИ ПОЛЕТА .....	57
2.1 Обоснование необходимости тренировки летного состава выводу из СПП ....	57
2.1 Разработка требований к УИП, предназначенным для тренировки летного состава выводу из СПП.....	61
2.2 Разработка компьютерной программы для проведения испытаний устройств имитации полета предназначенных для тренировки летного состава выводу из сложных пространственных положений.....	65
2.2.1 Анализ технических характеристик акселерометров, применяемых в современных портативных компьютерах, для целей измерения прироста перегрузок в УИП на этапе его испытаний .....	71

2.2.2 Разработка концепции пользовательского интерфейса программы.....	74
2.3 Расчет коэффициента подобия УИП для его сертификации по выводу из сложных пространственных положений на основе графиков прироста перегрузок построенных с помощью разработанного ПО .....	80
2.3.1 Разработка математических алгоритмов записи и сравнения графиков прироста перегрузки .....	82
2.3.2 Методика проведения сертификационных испытаний системы подвижности с помощью разработанного программного обеспечения.....	87
Выводы по главе 2.....	93
Глава 3. ФОРМУЛИРОВКА ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ СЕРТИФИКАЦИИ УИП РАЗНЫХ КЛАССОВ .....	95
3.1 Обоснование разделения УИП на классы по уровням имитационных характеристик.....	95
3.2 Требования к компоновке кабины УИП и усилиям на рычагах управления ....	99
3.3 Требования к аэродинамической модели полета и двигателя .....	103
3.4 Требования к уровню имитации самолетных систем.....	108
3.5 Требования к звуковым эффектам .....	113
3.6 Требования к визуальным эффектам.....	116
3.7 Требования к системе имитации акселерационных эффектов УИП .....	122
3.8 Прочие требования к УИП разных классов .....	127
Выводы по главе 3.....	129
Глава 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СЕРТИФИКАЦИИ УСТРОЙСТВ ИМИТАЦИИ ПОЛЕТА ДЛЯ ТРЕНИРОВКИ ЛЕТНОГО СОСТАВА ВЫВОДУ ИЗ СЛОЖНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОЛОЖЕНИЙ.....	131
4.1 Методика проведения валидационных испытаний .....	131
4.2 Методика валидационных испытаний системы имитации акселерационных эффектов в частотной области .....	136
4.2.1. Методика проведения объективного испытания системы имитации акселерационных эффектов.....	141

4.2.2. Методика проведения испытания амплитуды входных сигналов системы имитации акселерационных эффектов.....	145
4.2.3 Методика сертификации систем имитации акселерационных эффектов УИП, предназначенных для тренировки по выводу из сложных пространственных положений .....	158
4.3 Методика валидационных испытаний системы визуализации.....	167
4.4 Методика валидационных испытаний системы имитации звуковых эффектов .....	178
4.5 Методика валидационных испытаний динамической системы управления ..	183
4.6 Методика испытаний по определению транспортной задержки и времени запаздывания .....	186
4.7 Функциональные и субъективные испытания .....	191
4.8 Квалификационная оценка УИП новых типов ВС .....	194
4.9 Периодические оценки и представление данных валидационных испытаний .....	198
Выводы по главе 4.....	201
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	202
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....	205
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	211
Приложение 1 .....	222
Приложение 2 .....	223
Приложение 3 .....	255
Приложение 4.....	259

## ВВЕДЕНИЕ

На протяжении многих лет развития авиации техника становилась все сложнее и безопаснее, вытесняя пилотов из контура пилотирования, и превращая их в операторов [13]. Данная тенденция способствовала изменению методик подготовки летного состава и изменению самой доктрины подготовки пилотов, и как следствие, деградации базовых навыков пилотирования у летного состава.

Современная доктрина подготовки пилотов подразумевает полный курс переучивания на новое воздушное судно с использованием устройств имитации полета (далее УИП) и подразумевает, что воздушное судно (далее ВС) защищено от попадания в сложные пространственные положения (далее СПП) в полете законами современных систем электродистанционного управления (fly by wire), и дорогостоящее обучение пилотов выводу ВС из СПП в современной гражданской авиации не требуется. Если пилот летает только внутри летных ограничений и система электродистанционного управления не позволяет ему их нарушить ни умышленно, ни случайно, то вывод о том, что такое обучение излишне кажется логичным [10]. Но, практика показала что, несмотря на всю компьютерную защищенность современного ВС, оно все равно может попасть в СПП. Если пилот не сможет правильно распознать СПП и вывести из него ВС, то полет может закончиться катастрофой [13].

СПП определяется, как превышения угла тангажа более +25 градусов или менее -10 градусов или превышения угла крена более 45 градусов или полет внутри вышеописанных ограничений, но на скорости менее необходимой [36].

Согласно статистическим данным двадцать один процент авиационных событий перерастают в катастрофы по причине отсутствия у пилотов компетенций по распознаванию СПП и выводу ВС из него [13]. Моделирование таких событий при помощи УИП с высокой степенью подобия показало, что 9 из

10 катастроф могли быть предотвращены, имея пилоты необходимые компетенции и навыки, по распознаванию и выводу из СПП.

Мировая авиационная статистика показывает, что с 2001 по 2020 год, потеря управления исправным ВС, при попадании в СПП или при получении экипажем соматогравитационных иллюзий стала причиной 19 авиакатастроф магистральных ВС. В результате этих происшествий погибло более 2400 человек. Попадание ВС в СПП по-прежнему занимает лидирующее место в списке причин катастроф [11].

Анализ статистики авиационных происшествий говорит о том, что какими бы передовыми системами и оборудованием не было оснащено современное ВС, фактором, способным предотвратить катастрофу всегда будет оставаться качественно обученный пилот [11].

Попадания ВС в СПП случались и ранее, но либо пилоты распознавали эту ситуацию и были способны с ней справиться (т.к. раньше обучение по выводу из СПП проводилось в летных училищах ГА), либо такая ситуация попадала в статистические данные, как человеческий фактор, без выяснения точной причины катастрофы. Нужно отметить, что данная проблема отчетливо проявилась только в последние годы, по причине все большей автоматизации воздушных судов и благодаря получению более точных статистических данных [13], и поставила перед авиаторами всего мира новую очень серьезную проблему.

Решить данную проблему можно с помощью новейших устройств имитации полета нового поколения, которые смогут имитировать попадания в СПП и ощущения в них. Но перед тем как ставить производство таких устройств на поток, нужно разработать не только требования, к ним предъявляемые, но и методику их последующей сертификации.

На сегодняшний день в нашей стране отсутствуют, отвечающие мировым стандартам, требования по проведению сертификации современных и перспективных устройств имитации полета [11]. Сертификация УИП в России проводится в соответствии с документами "Нормы годности авиационных тренажеров для подготовки авиационного персонала воздушного транспорта"

(НГАТ 98) [39] и приказами Минтранса России №46 «Об утверждении порядка допуска к применению тренажерных устройств имитации полета, применяемых в целях подготовки и контроля профессиональных навыков членов летных экипажей гражданских воздушных судов» [44] и №229 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Требования к тренажерным устройствам имитации полета, применяемым в целях подготовки и контроля профессиональных навыков членов летных экипажей гражданских воздушных судов» [45]. НГАТ 98 морально устарели и не отвечают требованиям времени, так как данный документ не подразумевает деление УИП на категории по степени подобия реальному ВС. Приказ №46 Минтранса (далее ФАП №46) [44] просто ссылается на документ 9625 ИКАО [33], в его 2ой (устаревшей) редакции и не устанавливает каких либо конкретных методов и правил, а является лишь общими рекомендациями к вопросу сертификации современных УИП. А ФАП №229 [45] является перепечатанным приложением документа 9625 ИКАО [33] и, как и ФАП №46 [44] не определяет точный порядок проведения сертификационных испытаний УИП. Применение данных документов при проектировании, производстве и сертификации современных УИП сдерживает развитие авиатренажерной отрасли, и мешает поддержанию необходимого уровня безопасности полетов, который достигается, за счет качественной тренажерной подготовки летного состава [11].

Международная организация гражданской авиации (ИКАО) разработала документ 9625 [33]. В данном документе описываются критерии и необходимые характеристики для оценки УИП и разделение УИП на 7 классов по степени имитационных характеристик. Документ 9625 был издан, в третьем издании, в 2009г. и носит рекомендательный характер. В этом документе содержатся только общие требования к необходимым характеристикам УИП, рекомендуемые к применению при проведении квалификационной оценки, и не содержится самой методики проведения квалификационных испытаний.

Все перечисленные выше документы не предусматривают проведения сертификации устройств имитации полета, предназначенных для тренировки

летного состава выводу из СПП. Поэтому, для сертификации перспективных УИП, необходима совершенно новая, никогда ранее не применявшаяся и гармонизированная с мировыми стандартами и практикой, методика сертификации, на разработку которой и нацелена данная работа.

#### **Актуальность темы.**

Принятые еще в конце прошлого века "Нормы годности авиационных тренажеров для подготовки авиационного персонала воздушного транспорта" [39] в настоящее время устарели и не обеспечивают проведения сертификации даже современных устройств имитации полета на мировом уровне, не говоря уже о перспективных моделях УИП, тем самым ставя под угрозу уровень безопасности полетов и жизни пассажиров в нашей стране.

С развитием технологий построения современных тренажерных систем, появилась возможность создания устройств имитации полета, способных имитировать попадания ВС в СПП и перегрузки в них [6]. И для проведения сертификации таких УИП, требуется создание совершенно новой методики сертификации, которая будет учитывать весь накопленный по данному вопросу мировой опыт и особенности перспективных УИП, которые только готовятся быть запущены в серийное производство. Данная методика сможет использоваться так же и при проведении сертификации уже действующих УИП на мировом уровне.

Создание такой методики и ее имплементация в документы, регламентирующие процесс сертификации УИП поможет гармонизации отечественного авиационного законодательства с мировой практикой и рекомендациями ИКАО. Это не только повысит уровень безопасности полетов, но также будет способствовать выходу Российских авиационных тренажерных систем на мировой рынок.

**Объектом исследования** являются современные и перспективные устройства имитации полета, предназначенные для тренировки летного состава выводу из сложных пространственных положений.

**Предметом исследования** является методика сертификации устройств имитации полета, предназначенных для тренировки летного состава по выводу из СПП, с автоматическим расчетом коэффициента подобия устройства имитации полета летательному аппарату, при проведении квалификационных испытаний.

**Цель диссертационной работы** – решение научной задачи совершенствования методики сертификации современных и перспективных устройств имитации полета, путем разработки методики сертификации перспективных УИП и компьютерной программы способной оценить коэффициент подобия системы имитации акселерационных эффектов УИП предназначенных для тренировки летного состава выводу из СПП. Уход от применения субъективной оценки УИП при проведении квалификационных испытаний.

Поставленная цель достигается решением следующих **основных задач**:

Анализ существующих технических средств обучения, применяемых при подготовке летного состава ГА, а также действующих нормативных документов регламентирующих сертификацию и эксплуатацию УИП в целях подготовки летного состава.

Анализ существующих методов обучения летного состава ГА распознаванию и выводу из СПП.

Разработка технических требований к перспективным УИП, предназначенным для тренировки летного состава выводу из СПП.

Анализ методик сертификации УИП, применяемых в нашей стране и за рубежом, и документов, регламентирующих процессы создания, сертификации и эксплуатации УИП.

Разработка методики сертификации УИП применяемых при обучении летного состава ГА выводу из СПП.

Разработка компьютерной программы, способной записывать графики прироста перегрузки по трем осям, при выполнении эволюций и рассчитывать коэффициент подобия системы имитации акселерационных эффектов УИП,

предназначенных для тренировки летного состава распознаванию и выводу из СПП, при проведении квалификационных испытаний.

Получение графиков перегрузок настоящего ВС, существующих УИП и перспективных УИП в сложных пространственных положениях. Анализ этих графиков и создание методики расчета коэффициента подобия.

**Методы исследования** основаны на использовании положений теории вероятности, методов сравнительного анализа, инженерии знаний и математического моделирования. В разработке программного обеспечения использовалась технология объектно-ориентированного программирования.

**Научная новизна работы состоит в следующем:**

Сформулированы технические требования к современным УИП, а так же к перспективным УИП, способным имитировать попадания в СПП и вывод из них.

Дано обоснование необходимости разделения УИП на 5 классов.

Разработана методика сертификации всех видов существующих УИП, а так же перспективных УИП предназначенных для тренировки летного состава выводу из СПП, гармонизированная с международными требованиями, стандартами и практикой.

Разработано программное обеспечение, способное вычислять коэффициент подобия УИП настоящему ВС, в том числе при имитации попадания в СПП.

Проведены испытания созданного программного обеспечения в реальных условиях на ВС нескольких типов и на существующих УИП данных типов ВС.

Предложены рекомендации по имплементации созданной методики сертификации современных и перспективных УИП в документы, регламентирующие сертификационный процесс в Российской Федерации, для улучшения уровня безопасности полетов и гармонизации Российской авиационной правовой базы с международной.

**На защиту выносятся:**

Методика сертификации УИП, предназначенных для тренировки летного состава выводу из СПП.

Методика определения коэффициента подобия имитации акселерационных эффектов УИП реальному ВС, при проведении тренировок и имитации попадания в СПП.

Разработанное и опробованное экспериментально программное обеспечение, предназначенное для определения коэффициента подобия имитации акселерационных эффектов УИП настоящему ВС, при проведении тренировок и имитации попаданий в СПП.

Результаты практических испытаний созданного программного обеспечения для сертификации перспективных УИП и определения их коэффициента подобия реальному ВС при проведении тренировок и имитации попадания в СПП.

**Практическая ценность работы** состоит в том, что её результаты позволяют:

Использовать разработанную методику для сертификации как действующих УИП, так и перспективных УИП предназначенных для тренировки летного состава выводу из СПП.

Применить созданное программное обеспечение для целей сертификации действующих и перспективных моделей УИП и расчета коэффициента подобия имитации акселерационных эффектов реальному ВС, а так же для сертификации УИП при имитации попадания в СПП.

Применить разработанный математический аппарат для создания новых видов программного обеспечения, которое может быть использовано в целях сертификации всех типов УИП.

Улучшить уровень безопасности полетов, путем тренировки летного состава выводу из СПП, на УИП нового поколения.

Имплементировать настоящую методику сертификации УИП в документы, регламентирующие сертификационный процесс в Российской Федерации, для гармонизации процесса сертификации с международными стандартами, применяемой практикой и требованиями руководящих документов ИКАО.

**Достоверность** результатов диссертационного исследования строится на корректном применении методов исследования и использовании современного

математического аппарата. Достоверность полученных экспериментальных данных обеспечена проведением проверки полученных результатов в реальных условиях на ВС и УИП, применяемых в настоящее время в учебных центрах, и еще находящихся на этапе разработки и испытаний. Теоретические положения научного исследования основаны на методиках подготовки летного состава, применяемых в настоящее время и на международных документах, относящихся к данной тематике.

### **Степень разработанности темы:**

Данным вопросом занимались: Хосман, Адвани, Гибсон, Синакори, Шредер, и Джим Такатс, который возглавлял группу специалистов по системам подвижности, которая в сотрудничестве с Королевским авиационным обществом Великобритании (RAeS), Международной организацией гражданской авиации (ICAO) работали над проектом по созданию комплекса объективных критериев качества управления подвижностью (Objective Motion Cueing Tests, OMCT).

В настоящее время оценка адекватности имитации полёта производится тест-пилотами по шкале Купера-Харпера. Такая оценка не может быть точной так как точность измерения перегрузки мозжечком человека составляет примерно 0.15g и варьируется от индивида к индивиду. Так же субъективная оценка не учитывает критерий Гибсона, критерий раскачки ВС, критерий Синакори и Шредера, Адвани. Учитывается только шкала Купера-Харпера. И тем более, такая методика не может быть применена к УИП, способным имитировать попадания в СПП.

Только в 2009 году в третьем издании документа 9625 (ИКАО) появился объективный метод оценки систем подвижности (англ. OMCT, Objective Motion Cueing Tests). Общий принцип работы этого метода заключается в подаче на вход системы подвижности набора сигналов разной частоты и оценке сдвига фазы и затухания амплитуды её исполнительных механизмов. Этот метод позволяет объективно оценить технический уровень тренажёра, но до сих пор не реализованы объективные методики оценки качества имитации акселерационных

воздействий на органы восприятия пилота и оценки корректности самих алгоритмов имитации.

Признавая тот факт, что по измеренным характеристикам нельзя провести оценку качества, пункт 3.5.3.1.10 (документ ICAO 9625, Part II, Appendix B — FSTD Validation Tests) гласит: «Границы будут проведены после того, как будет собрана достаточная база данных».

**Дальнейшим продолжением разработки данной тематики видится:**

- проведение большего количества испытаний на ВС и УИП;
- проведение испытаний на УИП способных имитировать СПП;
- сбор большего количества экспериментальных данных;
- выработка более четких и узких критериев оценивания имитации акселерационных эффектов;
- оптимизация и усовершенствование алгоритма расчета коэффициента подобия акселерационных эффектов.

**Личный вклад автора.** Автором сформулированы требования, предъявляемые к устройствам имитации полета, предназначенным для подготовки летного состава выводу из СПП. Разработана компьютерная программа, способная записывать графики прироста перегрузки по трем осям и сравнивая их вычислять, в автоматическом режиме, коэффициент подобия имитации акселерационных эффектов УИП реальному ВС, при попадании в СПП. Проведены испытания созданного ПО в реальных условиях на ВС и УИП. Разработана методика сертификации устройств имитации полета, предназначенных для тренировки летного состава выводу из СПП.

В опубликованных в соавторстве работах автору принадлежат постановка задачи, результаты теоретических и практических исследований, анализ проблем, рекомендации по практическому использованию разработанных алгоритмов, методов и методик.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международных и Всероссийских конференциях:

- 2-я Международная конференции «Проблемы современной авиации – 2017», г. Минск, БГАА, 14-15 октября 2017 года;
- Межвузовская конференция «Философия современной науки» г. Москва, МГТУ ГА, 14 декабря 2017 года;
- Международная научно-техническая конференция «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», г. Москва, МГТУ ГА, 16-17 мая 2018 года;
- Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации», г. Иркутск, МГТУ ГА, 29 октября 2018г;
- Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации», г. Иркутск, МГТУ ГА, 14-16 октября 2019г;
- Конкурс научных работ ОАК 09.2020г;
- Конкурс научных работ «Молодежь и будущее авиации и космонавтики» 09.2020;
- Конкурс «Инновационных проектов аэрокосмической отрасли» ЦАГИ 10.2020;
- «Всероссийский инженерный конкурс» 2020;
- 4ый международный конкурс «Инновационные стратегии развития» г. Санкт-Петербург 10.2020;
- Лауреат конкурса научных работ Росавиации в 2019 и 2020 г;
- 12ый «Всероссийский межотраслевой конкурс научно-технических работ и проектов в области ракетно-космической техники и технологий» г. Москва 2020г;

**Реализация и внедрение результатов работы.** Полученные данные позволили автору обосновать и предложить методику сертификации современных и перспективных УИП, предназначенных для тренировки летного состава выводу из СПП и сформировать рекомендации по имплементации данной методики в

законодательство РФ, для приведения его в соответствие с действующими нормами ИКАО и международной практикой. Разработано и опробовано на практике программное обеспечение, способное, в автоматическом режиме, рассчитывать коэффициент подобия УИП реальному ВС при проведении подготовки летного состава выводу из СПП. Разработаны требования к современным и перспективным УИП, способным имитировать попадания в СПП. С учетом результатов исследования проведены испытания программного обеспечения в реальных условиях на ВС [12] и на существующих УИП, применяемых в учебных центрах, и на УИП находящихся на стадии испытаний и предназначенных для тренировки летного состава выводу из СПП.

**Публикации.** По результатам выполненных исследований были опубликованы 4 печатных работы общим объемом 35 страниц. Все работы опубликованы в изданиях рекомендованных ВАК для публикации диссертационных работ. В Роспатенте получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2020611212 (Приложение 1).

Полученные в процессе научной работы результаты были удостоены призового места на конкурсе научных работ Федерального агентства воздушного транспорта РФ в 2019 и 2020 годах и гранта ученого совета МГТУ ГА.

#### **Объем и структура диссертации.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы (105 наименований) и двух приложений. Основное содержание диссертационной работы изложено на 222 страницах машинописного текста, иллюстрированного таблицами и рисунками. В приложении 2 представлен полный текст кода разработанного в данной работе программного обеспечения, а в приложении 1 представлено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ в Роспатенте, в приложении 3 приведен список проведенных испытаний и результаты их сравнения, в приложении 4 представлена выборка значений с двух графиков прироста перегрузки, полученных при одинаковых условиях на ВС и УИП.

# **Глава 1. АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И СЕРТИФИКАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЛЕТНОГО СОСТАВА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЗА РУБЕЖОМ**

## **1.1 Требования российской и международной документации, применяемые при сертификации УИП для подготовки летного состава ГА**

Современная профессиональная подготовка летного состава представляет собой сложный процесс обучения, начинающийся в стенах летного училища и продолжающийся всю профессиональную жизнь пилота [46]. Основными составляющими профессиональной подготовки летного состава являются:

- базовая теоретическая подготовка, проводимая в стенах летного училища;
- тренажерная подготовка на УИП самолета первоначального обучения;
- первоначальная летная подготовка на учебном ВС в летном училище;
- переподготовка на магистральные ВС (проводимая в сертифицированных учебных центрах на производстве), включающая в себя:
  - теоретический курс;
  - тренажерную подготовку на УИП ВС данного типа;
  - летную практику на магистральном ВС в рейсовых условиях [48];
  - регулярные курсы повышения квалификации.

Проведение качественной подготовки и переподготовки летного состава в учебных центрах обеспечивается с помощью лицензирования, сертификации и

государственного контроля всех видов подготовки, и подразумевает соответствие обладателей свидетельств авиационного персонала следующим документам:

ФГОС высшего и среднего образования [63] содержит стандарты, порядок и сроки получения среднего и высшего образования, а так же минимальные требования к обладателям дипломов о высшем и среднем образовании, и минимальный набор знаний, навыков и профессиональных компетенций, которыми должен обладать выпускник.

Конвенции о международной гражданской авиации. "Выдача свидетельств авиационному персоналу" [42] Приложение 1 определяющей стандарты и рекомендуемую ИКАО практику, принятые для определения минимальных требований при выдаче свидетельств авиационному персоналу, а также описываются права и обязанности обладателей свидетельств, и порядок их осуществления.

Требования к порядку разработки, утверждения и содержанию программ подготовки специалистов согласно перечню специалистов авиационного персонала гражданской авиации", утвержденных Приказом Минтранса России № 399 от 20.10.2017 (ФАП-399) [57], определяют требования к программам подготовки пилотов ГА.

Курс учебной летной подготовки (КУЛП) [27], который определяет список упражнений и порядок их выполнения курсантами высших и средних летных учебных заведений, при прохождении ими первоначальной летной подготовки на ВС, и набор навыков умений и компетенций, которыми должен обладать курсант, после завершения данного курса, для выдачи ему свидетельства установленного образца.

Программе переподготовки летного состава (ППЛС) на тип ВС [48]. Такого рода программы содержат порядок и объем необходимой подготовки пилота, при прохождении им переподготовки на новый тип ВС, и минимальные требования для начала такой подготовки, а так же набор навыков умений и компетенций, которые должен продемонстрировать пилот, после окончания подготовки по данной программе. Такие программы разрабатываются внутри авиакомпаний, на

базе рекомендаций производителя ВС, опыта переподготовки на данный тип ВС и минимальных требований государств эксплуатанта и регистрации ВС, и должны в обязательном порядке проходить проверку и утверждение в регулирующем органе государства эксплуатанта.

Документ 9868 ИКАО «Подготовка персонала» 10-е издание [35]; описывает минимальные рекомендуемые ИКАО стандарты и практики по подготовке авиационного персонала, а так же дополняет стандарты и рекомендуемую практику, которые содержит приложение 1 к Чикагской конвенции. В этом документе более подробно излагаются процедуры, которые ИКАО рекомендует применять учебным организациям при подготовке авиационного персонала.

Федеральные авиационные правила «Требования к членам экипажа воздушных судов, специалистам по техническому обслуживанию воздушных судов и сотрудникам по обеспечению полетов (полетным диспетчерам) гражданской авиации» [42] (ФАП №147) определяют минимальные требования, которые наше государство предъявляет к обладателям соответствующих свидетельств авиационного персонала, а так же порядок выдачи, продления, приостановки и аннулирования данных свидетельств. Так же в данном документе описывается внешний вид и методы графической защиты свидетельств авиационного персонала от подделки.

Требования к экспертам по сертификации АУЦ (утв. распоряжением Федерального агентства воздушного транспорта от 26 марта 2009 г. N ГК-52-р) [56] и «Типовой учебно-тематический план и программа подготовки экспертов по сертификации АУЦ» (специалистов по системам качества, исполнителей работ по сертификации для организаций гражданской авиации) (утв. распоряжением Федерального агентства воздушного транспорта от 26 марта 2009 г. N ГК-52-р) Санкт-Петербург, 2009 [55]. Определяют применяемые государством требования к экспертам, призванным проводить сертификацию авиационно-учебных центров РФ и к их подготовке.

В свою очередь, летные училища и авиационные учебные центры, проводящие подготовку летного состава должны соответствовать следующим сертификационным документам и правилам:

Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ "Об образовании в Российской Федерации" [64]; определяет общие требования, предъявляемые к образованию в РФ; порядок, сроки и нормы получения образования; исполнителей, получателей и др. задействованных в образовательном процессе лиц, их обязанности, права и ответственность.

Федеральные авиационные правила «Сертификация авиационных учебных центров» ФАП–23 [60] определяют процесс прохождения сертификации АУЦ и летными училищами, на соответствие установленным требованиям, а так же описывают механизм прохождения такой сертификации и минимальные требования, которым должно соответствовать учебное заведение.

Приказ Минтранса РФ от 10.02.2014г. № 32 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Требования, предъявляемые к оформлению и форме свидетельств авиационного персонала гражданской авиации» [43]. Определяет формат и вид свидетельств авиационного персонала ГА.

Федеральные авиационных правила "Требования к образовательным организациям и организациям, осуществляющим обучение специалистов соответствующего уровня согласно перечням специалистов авиационного персонала (ФАП-289). Форма и порядок выдачи документа, подтверждающего соответствие образовательных организаций и организаций, осуществляющих обучение специалистов соответствующего уровня согласно перечням специалистов авиационного персонала, требованиям федеральных авиационных правил"[62], в дополнение к ФАП-23, описывают требования, предъявляемые к АУЦ и летным училищам, а так же формы выдаваемых, на основании прохождения сертификации, лицензий и разрешений, позволяющие им проводить определенные виды подготовки авиационного персонала и выдавать лицензии и сертификаты государственного образца.

Качественная подготовка современного линейного пилота не мыслима без проведения тренажерной подготовки, как в стенах летного училища, так и в УТЦ, при переподготовке на новые типы ВС и при прохождении КПК. Применение новейших технологий, при проектировании и производстве УИП позволило расширить их применение при подготовке, тестировании и проведении проверок необходимых компетенций членов летных экипажей [59]. Современные УИП способны обеспечить более качественную подготовку летного состава, в более безопасных, чем на ВС, условиях обучения. Создание современных технических средств обучения авиационного персонала подразумевает их соответствие целому ряду Российских и мировых стандартов. Эти стандарты выпускаются:

- международной организацией гражданской авиации (ИКАО) [31-35];
- международной ассоциацией воздушного транспорта (IATA) [17,18,];
- европейским агентством по авиационной безопасности (EASA) [79];
- авиационными властями Российской Федерации (Росавиация) [9,39,104,44];
- федеральным агентством воздушного транспорта США (FAA) [80,81];
- корпорацией ARINC [67-72] (США);
- королевским авиационным обществом (RAeS) [73].

На сегодняшний день в мире действуют несколько общепризнанных международных стандартов, при определении уровня и сертификации УИП.

Это стандарты EASA (Европа) и FAA (США). Большинство стран скопировали данное законодательство и приняли свои национальные отраслевые стандарты по их образу и подобию.

НГАТ 98 «Нормы годности авиационных тренажеров для подготовки авиационного персонала воздушного транспорта» [39], которые действуют в нашей стране, являются сильно устаревшими нормами для сертификации всех видов авиационных тренажеров, и не предусматривают применения мировой практики в данном процессе и разделения тренажеров на классы по коэффициентам подобия; поэтому на сегодняшний день фактически не используются, хотя формально все еще не отменены, и отечественные

производители УИП все еще должны следить за соответствием выпускаемой продукции данным нормам.

ГОСТ 21659-76 «Тренажеры авиационные» [104]; определяет полный список требований и стандартов, которым должны соответствовать авиационные тренажеры, производимые и эксплуатируемые на территории нашей страны.

ГОСТ Р 53626-2009 «Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Технические средства обучения» [105]; определяет требования к УИП, в контексте применения в них информационно-коммуникационных технологий. Важным моментом является наличие в данном ГОСТ требований к математической модели и пакету исходных данных, предоставляемых производителям УИП или фирмой производителем ВС.

Документ 9625 ИКАО «Руководство по критериям квалификационной оценки авиационных тренажеров часть 1 – Самолеты» [33]; является документом, выпущенным ИКАО для описания использования авиационных тренажеров самолетов (том 1) и вертолетов (том 2). Этот документ содержит общие понятия о процедурах и стандартах испытаний, для квалификационной оценки УИП. Он описывает требования к УИП определяемые задачами обучения и подготовки, а также характеристики УИП и уровни подобия моделирования естественных условий и ощущений в таких УИП.

ИАТА: «Требования к данным, необходимым при проектировании авиационных тренажеров (АТ), а также при определении уровня подобия и оценке характеристик АТ» [18]; данный документ ИАТА всеобъемлюще описывает требования предъявляемые при проектировании и постройке УИП для авиаперсонала, требования к пакетам исходных данных по конструкции и летным характеристикам ВС, передаваемых производителем ВС производителям УИП, а так же требования, предъявляемые к характеристикам конечного УИП и его соответствия тем задачам, для тренировки которых он был разработан и построен.

ИАТА: «Разработка авиационного технического средства обучения. Рекомендации по техническим характеристикам» [17]; в этом документе ИАТА дает рекомендации по техническим характеристикам проектируемых УИП, для

соответствия их соответствующим категориям, и дальнейшей возможности использования данных УИП для отработки конкретных учебных задач, при тренировках летного состава.

IATA: «Требования к данным конструкции и к данным характеристик авиационных тренажеров» [20]; является документом, определяющим требования к конструкции и характеристикам УИП, и применяется на этапе сертификации произведенных УИП и при присвоении УИП определенной категории.

Компанией Aeronautical Radio, Inc. (ARINC-англ.), являющейся одним из признанных мировых лидеров в разработке систем коммуникаций и системных исследований в области авиации, для удовлетворения потребностей авиапромышленности в области стандартизации, сертификации и проектирования УИП, изданы документы, содержащие требования, правила и применяемые стандарты.

Данные документы переизданы ФГУП «Научно-исследовательский институт стандартизации и унификации» (НИИСУ) в виде авиационных справочников. Вот перечень этих документов:

ARINC 433-1 "Стандартные измерения по оценке качества пилотажных тренажеров" [67]; описывает процесс проведения объективных тестов при сертификации УИП и присвоения им определенной категории, для решения необходимого круга учебных задач, при подготовке летного состава.

ARINC 434 «Устройства комплексной летной подготовки (STD)» [68]; определяет требования к УИП, предназначенным для подготовки летного состава разного уровня.

ARINC 440 "Руководство по предоставлению и сопровождению данных по тренажерам" [69]. Данное руководство создано для стандартизации пакетов исходных данных, необходимых производителям УИП при проектировании и создании АТ, и предоставляемых фирмой производителем ВС.

ARINC 441 "Руководство по поставке программного обеспечения для учебных целей в двоичном формате" [70]; определяет параметры программного

обеспечения, поставляемого не только для АТ, но и для учебных классов, СВТ, и др. программное обеспечение, поставляемое для подготовки летного состава.

ARINC 610B "Руководство по применению в тренажерах авионического оборудования и программного обеспечения" [71]; описывает детальное применение авионического оборудования в УИП и является дополнением ARINC 610C.

ARINC 610C "Руководство по разработке авиационного оборудования и программного обеспечения для использования в устройствах для обучения" [72]; определяет требования к разработке УИП, а так же требования к программному обеспечению, используемому в УИП, предназначенных для подготовки летного состава и дополняет ARINC 433-1 и ARINC 440. В ARINC 610C подробно описаны необходимые функции АТ предназначенные для оптимизации сеансов обучения. Исследования, проведенные при создании этого документа, проводились с привлечением большого количества авиационных экспертов и позволили сформулировать конкретные требования к аппаратуре АТ, способные оптимизировать и по возможности удешевить их производство.

ARINC 436 "Руководство по разработке электронного руководства по квалификационным испытаниям тренажера" [66]; издано для обеспечения пользователей УИП описанием процесса проведения электронных квалификационных испытаний УИП с применением технических средств. Этот документ не предназначен для определения непосредственных технических средств, применяемых при сертификации УИП, но определяет минимальные характеристики данных технических средств. Выбор самих технических средств, применяемых при сертификации, оставлен разработчикам УИП и его эксплуатантам.

Требования, содержащиеся в документах ARINC 440, ARINC 441, ARINC 442 необходимы для обеспечения всестороннего, унифицированного подхода к получению необходимых данных и выработке решений при проектировании и производстве УИП, нацеленных на проведение качественной подготовки летного состава.

Европейское агентство авиационной безопасности EASA так же имеет свои стандарты для производства и сертификации УИП предназначенных для подготовки и проверок авиационного персонала, которые во многом гармонизированы с американскими стандартами и рекомендуемыми практиками ИКАО.

CS-УИП(А) EASA - "Certification Specifications for Airplane Flight Simulation Training Devices" [79]; данный документ содержит технические спецификации необходимые к соблюдению при сертификации УИП предназначенных для тренировки авиационного персонала.

Advisory Circular 120-40B, Airplane Simulator Qualification [76]; в данном консультативном циркуляре EASA дает исчерпывающие рекомендации по квалификационной оценке АТ самолетов, и указывает на минимальные технические характеристики, которым АТ должен соответствовать, для получения определенной оценки коэффициента подобия.

Advisory Circular 120-45A, Airplane Flight Training Device Qualification [77]; консультативный циркуляр, определяющий минимальные требования, которым должны соответствовать пилоты, при прохождении практического тестирования, для получения определенной отметки о классе или допуске.

Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Annex I, II, III, IV, Va to Regulation (EU) No 1321/2014; описывают приемлемые средства и методы обеспечения соответствия УИП требованиям государства.

Соединенные Штаты Америки, являясь одной самых больших авиационных держав мира, одновременно являются и "законодателями мод" в процессах связанных не только с производством, но и сертификацией и лицензированием авиационной техники. Авиационные стандарты США наиболее приближены к руководящим документам ИКАО и включают в себя:

"Flight Simulator Training Device Design & Performance Data Requirements" [83]; данный документ был выпущен с целью решения сложного вопроса взаимодействия производителей ВС с разработчиками УИП при стандартизации пакета исходных данных по летным и техническим характеристикам ВС,

предоставляемых фирмой производителем ВС, при создании УИП для подготовки и проведения проверок летного состава.

FAR Part 60, "Requirements for the Evaluation, Qualification & Maintenance of Flight Simulation Training Devices" [82]; определяют список требования при проведении квалификационных испытаний, и обслуживанию УИП в процессе эксплуатации.

FAA AFS-205: "Руководство по квалификации авиационного технического средства обучения (УИП)" [80]; предназначено для правильной квалификационной оценки УИП, при проведении их сертификации и присвоения определенного класса.

FAA FAA-S-8081-5F "Airline Transport Pilot and Type Rating Practical Test Standards" [81]; определяет стандарты практического тестирования летного состава с целью получения квалификационной отметки или допуска.

Помимо указанных выше документов, при формировании единых мировых требований, стандартов и практик, применяемых при проектировании, производстве и сертификации УИП, учитывались и документы авиационной администрации Великобритании:

CAP 453, Airplane Flight Simulators: Approval Requirements [78]; это требования к одобрению УИП самолетов предназначены для проведения квалификационной оценки и присвоения им классов, в зависимости от возможностей по тренировке задач, при проведении подготовки и тренировок летного состава.

Aeroplane Flight Simulator Evaluation Handbook, Volume I, II [73]; организации RAeS (Royal Aeronautical Society publications) являются справочником по оценке самолетных тренажеров (в 2ух частях), и предназначены для проведения квалификационной оценки АТ, сертифицированным персоналом.

Как видно из приведенного выше анализа документов, регламентирующих процесс сертификации и лицензирования в странах Европы и в США, многие национальные регламентирующие документы повторяют, а иногда даже копируют друг друга.

Авиационные администрации многих стран прилагают большие усилия для стандартизации мировых требований к УИП. Данная работа привела к созданию документа 9625 ИКАО «Руководство по критериям квалификационной оценки авиационных тренажеров» [33].

В настоящее время, в нашей стране, отсутствует современная законодательная база, отвечающая мировым требованиям, для проведения сертификации современных и перспективных УИП. Это приводит к необходимости проводить сертификацию современных УИП Российского производства за рубежом, т.к. авиационная администрация нашей страны юридически не может проводить сертификацию на мировом уровне и присваивать УИП соответствующие категории. Это происходит из-за того, что устаревшие НГАТ 98 формально еще не отменены, и замены этому устаревшему документу тоже пока нет.

В нашей стране, в последние годы, наметилась тенденция на улучшение существующей законодательной базы и гармонизация существующих документов с требованиями документов ИКАО и рекомендованной мировой практикой, а также с общепризнанными национальными регламентирующими документами стран лидеров авиационной отрасли [102]. В феврале 2019 года Росавиацией был выпущен приказ №46 «Об утверждении порядка допуска к применению тренажерных устройств имитации полета, применяемых в целях подготовки и контроля профессиональных навыков членов летных экипажей гражданских воздушных судов»; но данный приказ лишь ссылается на документ 9625 ИКАО, но не дает разъяснений принципов и методов классификационной оценки УИП [95]. А Проект Приказа Министерства транспорта РФ "Об утверждении Федеральных авиационных правил "Требования к тренажерным устройствам имитации полета, применяемым в целях подготовки и контроля профессиональных навыков членов летных экипажей гражданских воздушных судов и порядок их применения" [100] является копией требований к УИП документа 9625, и до сих пор остается проектом.

Данные тенденции стали возможны благодаря бурному развитию авиации и авиационной промышленности в последние годы в нашей стране, и благодаря принятию на государственном уровне соответствующих федеральных целевых программ. Например, постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014г. №303 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы» утверждена государственная программа, делающая больший упор на развитие сети АУЦ, и выделяющая больший объем финансирования летным училищам. Целью данной программы является создание конкурентной авиационной промышленности.

Так же правительством РФ была принята Федеральная целевая программа «Развитие транспортной системы России» на 2010-2020 годы. Задачей этой программы является повышение комплексной безопасности и устойчивости транспортной системы [65]. Для этого предлагается повысить качество подготовки специалистов транспортной отрасли и развить техническую базу учебных заведений. Повышение уровня подготовки авиационных специалистов, бесспорно, является необходимым условием для перевода транспортной системы нашей страны на инновационный путь развития.

## **1.2 Исследование технических средств обучения, которые могут применяться для подготовки летного состава и требований к ним**

Организации, осуществляющие образовательную деятельность по образовательным программам в области подготовки специалистов авиационного персонала гражданской авиации, в соответствии с Российскими и международными требованиями, должны иметь учебно-тренажерную базу, в том числе транспортные средства и УИП, требования к которым предусмотрены описанными выше документами, федеральными государственными образовательными стандартами, типовыми основными программами профессионального обучения или типовыми дополнительными профессиональными программами.

Технические средства обучения, применяемые при подготовке летного состава и переподготовке на новые типы ВС, достаточно сложны и разнообразны. Их можно условно поделить на две большие группы:

1. группа ТСО предназначенные для теоретической подготовки (рис. 1.1);
2. группа ТСО предназначенные для практической подготовки летного состава (рис. 1.2).

К первой группе относятся учебные компьютерные классы (далее - УКК), курсы СВТ, учебные фильмы, учебно-тренировочные стенды (далее - УТС), интерактивные стенды и препарированное оборудование.

## ТСО теоретической подготовки



Эксплуатационная  
документация



Учебный  
компьютерный класс



Интерактивные стенды



Препарированное  
оборудование и макеты

Рисунок 1.1 - ТСО применяемые при теоретической подготовке летного состава [28].

Ко второй группе можно отнести устройства имитации полета (УИП), сами ВС, тренажеры открывания дверей и аварийного покидания ВС, макеты салонов и кабин ВС, тренажеры противопожарной защиты и тренажеры ИТП.



**Пилотажные тренажеры**

**Стенды**



**Воздушное судно**

**Тренажер типа ТПТО**

Рисунок 1.2 - ТСО применяемые при практической подготовке летного состава.

Подготовка и переучивание летного состава на новые типы ВС, как и подготовка в летном училище, начинается с теоретической подготовки, которая в настоящее время, в основном, проводится при помощи УКК с применением печатных учебных материалов; а продолжается, с применением современных УИП и полнопилотажных тренажеров самолета (рис. 1.3) и на самом ВС [96].



Рисунок 1.3 - Полнопилотажный тренажер самолета (УИП) [93].

В настоящее время, в документе 9625 ИКАО «Руководство по критериям квалификационной оценки авиационных тренажеров» [33] предлагается разделение УИП, предназначенных для тренировки летного состава, на 7 категорий; но в мировой практике развитые страны разделяют современные УИП всего на 4 класса, что облегчает и упорядочивает процесс сертификации и строго ограничивает набор упражнений, которые могут отрабатываться на УИП каждой категории.

Обычно УИП 1 и 2 классов представляют из себя тренажеры с открытой кабиной, без возможности имитации акселерационных воздействий и с приборным оборудованием, изображенным на жидкокристаллических дисплеях [54].

Такие УИП обычно используются для отработки действий экипажа в нормальных и аварийных ситуациях, тренировки стандартных процедур и

изучения общей эргономики кабины, но они не могут использоваться для тренировки техники пилотирования летного состава.

УИП 3 и 4 классов имеют закрытые кабины, полный набор пилотажно-навигационного и радиосвязного оборудования и устанавливаются на подвижные гиropлатформы, что дает возможность имитации акселерационных эффектов на таких УИП.

Имитация акселерационных эффектов на таких УИП дает возможность отработки на них приемов техники пилотирования и различных методик захода на посадку, а так же действий при отказе систем в полете.

В процессе ознакомления с программами подготовки летного состава ГА были изучены возможности следующих обучающих систем и УИП:

- Computer base training Boeing 737NG/747/757/767/777;
- Тренажер MFTD Boeing 747-400, Airbus A320;
- Тренажеры FFS Boeing 737NG/747/757/767/777.

Данные тренажеры производятся фирмами:

- ЦНТУ «Динамика»;
- Транзас;
- ОАК объединенная авиастроительная корпорация;
- CAE Canadian Aviation Electronics;
- TRC Simulators;
- Tales;
- Faros;
- Cicare;
- Vitrociset и др.

В приведенной ниже таблице определяются категории УИП на основе сопоставления видов подготовки с уровнями адекватности имитации ключевых характеристик. Каждый из типов УИП предназначен для использования при подготовке пилотов и, если это применимо, для тестирования или проверки навыков, умений и компетенций пилотов, в процессе выдачи соответствующих

свидетельств или квалификационных отметок. Терминология, используемая в таблице ниже для определения видов подготовки, характеристик тренажерного устройства и уровней адекватности имитации его характеристик, означает следующее:

Виды подготовки:

MPL - Свидетельство пилота многочленного экипажа;

MPL1 - Этап 1, основные навыки пилотирования;

MPL2 - Этап 2, базовый;

MPL3 - Этап 3, промежуточный;

MPL4 - Этап 4, продвинутый;

IR - Квалификационная отметка о праве на полеты по приборам;

PPL - Свидетельство пилота-любителя;

CPL - Свидетельство пилота коммерческой авиации;

TR - Подготовка и проверки для получения квалификационной отметки о типе [45];

ATPL - Свидетельство линейного пилота авиакомпании;

CR - Квалификационная отметка о классе;

RL - Подготовка и проверка при получении свидетельства о переподготовке;

RO - Проводимые эксплуатантом переподготовка и проверки;

Ю - Проводимые эксплуатантом первоначальная подготовка и проверки;

CQ - Поддержание квалификационного уровня;

Характеристики УИП, применяемые в документе 9625 ИКАО, для целей сертификации УИП:

- компоновка и конструкция кабины экипажа;
- модель полета (аэродинамика и двигатель);
- управление движением самолета на земле;
- системы самолета (главы АТА);
- рычаги управления и усилия на них;
- звуковые эффекты;

- визуальные эффекты;
- акселерационные эффекты;
- окружающая обстановка – УВД;
- окружающая обстановка – навигация;
- окружающая обстановка – состояние атмосферы и метеоусловия;
- окружающая обстановка – аэродромы и прилегающая местность;
- прочие – (рабочее место инструктора и т. д.);
- Уровни адекватности имитации характеристик тренажерного

устройства, предлагаемые ИКАО для проведения сертификационных испытаний УИП:

- S (высокий) — самый высокий уровень адекватности. В случае уровня адекватности S первоначальную и периодические валидационные оценки следует проводить на основе объективной оценки в форме сравнения с утвержденными данными.

- R (типовой) — промежуточный уровень адекватности. В случае уровня адекватности R первоначальную валидационную оценку УИП следует проводить на основе объективной оценки в форме сравнения с утвержденными данными и, по мере необходимости, дополнительно к этому проводить утвержденную субъективную проверку для определения стандартных исходных данных. Периодические валидационные оценки должны проводиться объективно в форме сравнения со стандартными исходными данными.

- G (базовый) — самый низкий уровень адекватности. В случае уровня адекватности G первоначальную валидационную оценку следует проводить на основе субъективной оценки в форме сравнения с утвержденными данными, в случае их наличия, и, по мере необходимости, дополнительно к этому проводить утвержденную субъективную разработку для определения стандартных исходных данных. Периодические валидационные оценки должны проводиться объективно в форме сравнения со стандартными исходными данными.

- N (не требуется) — В случае уровня адекватности N оценка соответствия характеристики УИП самолету не требуется [33].

Для лучшего понимания необходимых уровней адекватности, они сведены в единую таблицу ниже:

Таблица 1.1 - Уровни адекватности характеристик для каждой категории УИП [33].

Уровень	Моделирование воздушного судна	Моделирование эффектов	Моделирование окружающей обстановки
Не требуется	Не требуется	Не требуется	Не требуется
Базовый	Не относится к какой-либо модели, типу или модификации самолета	Общее для самолетов какого-либо класса. Простое моделирование ключевых основных эффектов. Воспроизведение общей визуальной обстановки достаточной для обеспечения пилотирования по приборам и перехода к визуальному полету	Простое моделирование ключевых основных характеристик окружающей обстановки
Типовой	Типовое для самолета определенного класса	Только для звуковых и акселерационных эффектов. В максимально возможной степени имитируется конкретный самолет с высоким	Моделирование типовых условий реальной окружающей обстановки

		уровнем адекватности воспроизведения. Типовые визуальные имитации условий окружающей обстановки	
Высокий	Имитируется конкретный самолет	Применимо только к визуальным эффектам. Имитируются визуальные условия реальной окружающей обстановки	Условия реальной окружающей обстановки имитируются, насколько это необходимо для выполнения целей обучения

В данной работе будет разрабатываться методика сертификации устройств имитации полета всех классов (с делением на 5 классов), и сделан акцент на УИП 5 класса, так как только эти устройства способны имитировать попадания в сложные пространственные положения и могут быть использованы для целей подготовки экипажей ВС выводу из СПП.

Моделирование полета ВС включает в себя моделирование следующих элементов и характеристик:

- компоновка и конструкция кабины летного экипажа;
- модель полета (аэродинамика и двигатель);
- управление самолетом при движении по земле;
- системы самолета;
- рычаги управления и усилия на них.

Моделирование эффектов включает моделирование:

- звуковых эффектов;
- визуальных эффектов;
- акселерационных эффектов.

Моделирование окружающей обстановки включает моделирование УВД, навигации, метеоусловий, аэродромов и прилегающей местности [42].

Коды подготовки:

Тренажерное устройство, квалифицированное только на уровне "Т". Допущено только для выполнения конкретной учебной задачи. Подготовка, пройденная на таком УИП, может засчитываться при выдаче определенного программой подготовки свидетельства, постановке квалификационной отметки или присвоении определенной квалификации, но она не может завершать профессиональную подготовку. Уровень адекватности одной или нескольких имитируемых характеристик не позволяет проводить профессиональную подготовку персонала, с присвоением соответствующей квалификации или выдачей соответствующего допуска.

Тренажерное устройство, квалифицируемое на уровне "ТР". Подходит для выполнения, продолжения или завершения конкретной учебной задачи. Такая подготовка может засчитываться как профессиональная подготовка при выдаче свидетельства авиационного персонала, получении новой квалификационной отметки или присвоении очередного уровня квалификации и обычно такая подготовка завершается получением определенного профессионального уровня.

Применение принципов "модульного построения тренировок" при осуществлении летной подготовки предполагает возможность выполнения некоторых задач по пилотированию, включая задачи по пилотированию в ручном режиме на УИП, не имеющих некоторых характеристик (таких как имитация акселерационных эффектов) или на УИП с более низким уровнем адекватности имитации некоторых важных характеристик (таких, например, как имитация визуальных эффектов).

Вследствие такого подхода устанавливаются минимальные уровни адекватности для каждой из перечисленных задач, выполнение которых обеспечивает подготовку пилотов. Подготовка пилотов не заканчивается до тех пор, пока не будут выполнены все задачи, требуемые в качестве задач

профессиональной подготовки, с использованием для этого тренажерного устройства соответствующего типа.

Акселерационные воздействия, если таковые предусмотрены тренировкой, должны всегда обеспечивать правильные ощущения. Эти ощущения могут быть созданы с помощью разнообразных методов, которые конкретно не предписываются документом 9625 ИКАО [33]. Ощущение движения может воспроизводиться в меньшей степени при проведении упрощенной, не связанной с конкретным типом самолета подготовки, так как в этих случаях такие воздействия не имеют большого значения.

В результате описанного выше процесса, ИКАО определяет семь типов тренажерных устройств, по степени подобия, которые могут быть использованы для тренировки определенных учебных задач, показанных в таблице 1.2. Тем не менее, УТЦ имеет право использовать отличающееся от этих типов тренажерное устройство для выполнения каких-либо конкретных учебных задач (используя устройства высшего типа).

Таблица 1.2 - Сводная матрица использования УИП [33].

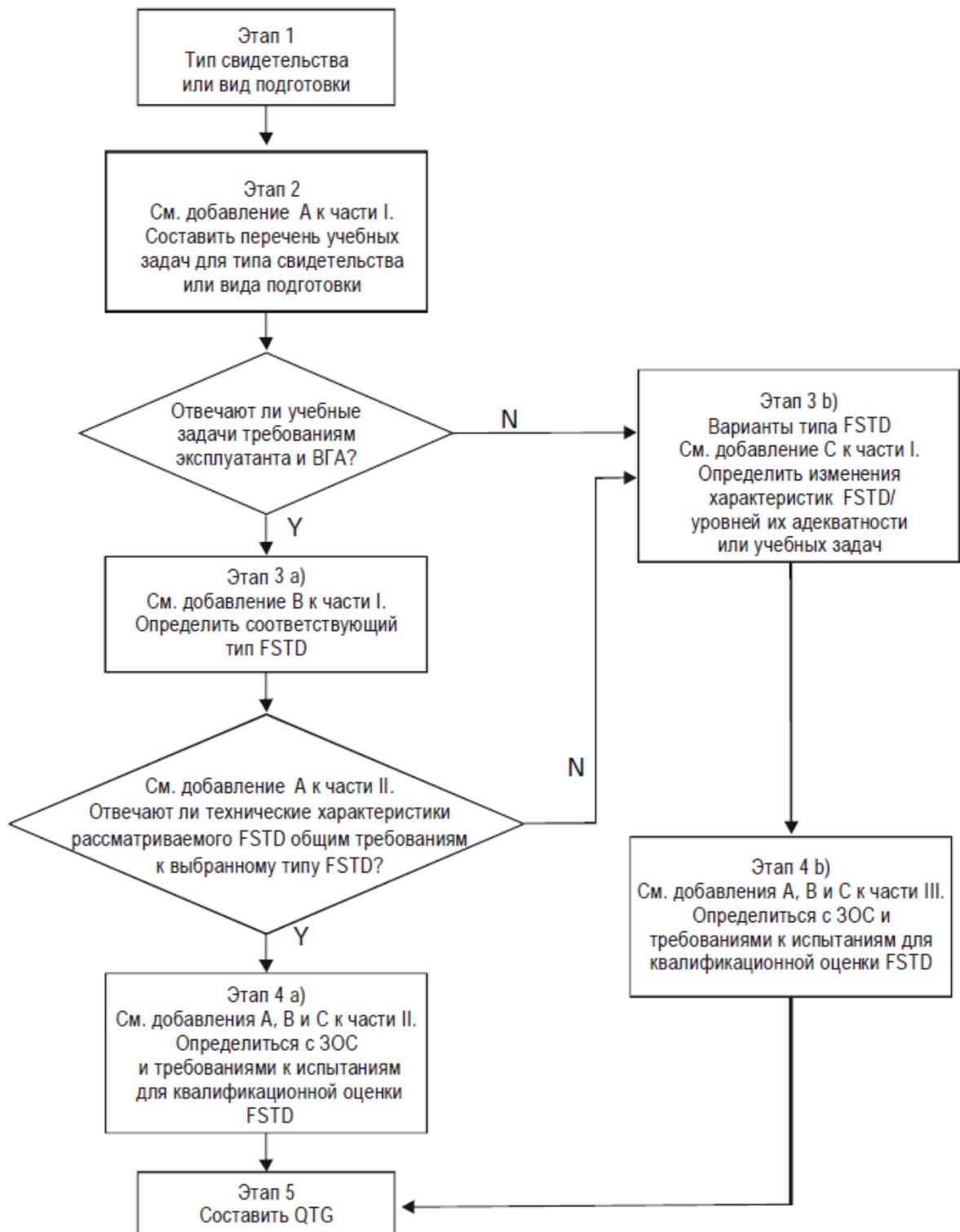
Тип устройства	Свидетельство или вид подготовки	Подготовка (Т) или профессиональная подготовка (ТР)	Характеристика тренажерного устройства											
			Компоновка и конструкция кабины летного экипажа	Модель полета (аэродинамика и двигатель)	Управление самолетом при движении по земле	Системы самолета	Рычаги управления и усилия на них	Звуковые эффекты	Визуальные эффекты	Акселерационные эффекты	Окружающая обстановка – УВД	Окружающая обстановка – навигация	Окружающая обстановка – состояние атмосферы и метеосостояние	Окружающая обстановка – аэродромы и прилегающая местность
Тип VII	MPL4 – продвинутый	T + TP	S	S	S	S	S	R	S	R	S	S	R	R
	TR/ATPL	TP	S	S	S	S	S	R	S	R	S	S	R	R
	Re	T	S	S	S	S	S	R	S	R	N	S	R	R
	RL/RO/IO/CQ	TP	S	S	S	S	S	R	S	R	S	S	R	R
Тип VI	MPL3 – промежуточный	T + TP	R	R	R	R	R	R	S	R1	S	S	R	R
Тип V	TR/ATPL/RL/RO/IO	T	S	S	S	S	S	R	R	N	G	S	R	R
Тип IV	MPL2 – базовый	T + TP	R	G	G	R	G	R	G	N	G	S	G	R
Тип III	CR	T	R	R	R	R	R	G	R	N	N	S	G	G
Тип II	IR	T	G	G	G	R	G	G	G	N	G	S	G	G
Тип I	CPL	T	R	R	R	R	R	G	R	N	N	S	G	G(S)
	MPL1 – основные навыки пилотирования	T	R	R	R	R	R1	G	G	N	G	S	G	G
	PPL	T	R	R	R	R	R	G	R	N	N	S	G	R(S)

Процесс, сертификации УИП состоит в сравнении возможностей конкретного тренажера, с требованиями, приведенными в частях I и III документа 9625 ИКАО "Руководство по критериям квалификационной оценки авиационных тренажеров. Часть 1 – Самолеты. 4-е изд." [33].

Проще говоря, сначала определяются учебные задачи, затем выбираются характеристики УИП и уровни адекватности их имитации для обеспечения выполнения этих задач.

С помощью таблиц 1.2 и 1.3 можно определить, подходит ли УИП для выполнения конкретной задачи, при выдаче свидетельств определенного образца. В таблице 1.3 приведена схема поэтапного процесса определения критериев квалификационной оценки имитируемых характеристик с учетом необходимых для выполнения учебных задач.

Таблица 1.3 - Схема поэтапного процесса определения уровня адекватности УИП



### 1.3 Исследование методик применяемых при сертификации технических средств обучения летного состава

«В документе 9625 ИКАО «Руководство по критериям квалификационной оценки авиационных тренажеров» Часть 1 – Самолеты 4-е изд. [33], не определена точная методика, для сертификации УИП, а лишь даны общие положения и понятия, рекомендованные к применению, при разработке национальных сертификационных правил. И каждое государство, член ИКАО, обязано разработать на их основе свои национальные правила сертификации УИП» [11].

Заявителям, претендующим на проведение оценки УИП самолета, с целью определения их квалификационного уровня и получения разрешения на использование, следует ознакомиться со справочными материалами, содержащимися в соответствующих документах, опубликованных Международной организацией гражданской авиации (ИКАО), Международной ассоциацией воздушного транспорта (ИАТА) и Королевским обществом аэронавтики (RAeS), которые касаются или имеют отношение к использованию УИП и были подробно описаны в главе 1.1 данной работы, а также к техническим и эксплуатационным требованиям к данным УИП и их конструкции.

Полный список технических требований рекомендованных ИКАО можно найти в док. 9625 «Руководство по критериям квалификационной оценки тренажерных устройств имитации полета»; том 1, часть 2,3 [33]. Им также следует ознакомиться с правилами и нормативными положениями, касающимися использования УИП, которые действуют в государстве, для которого запрашивается квалификационная оценка УИП и разрешение на его использование.

При рассмотрении вопроса, сертификации УИП, ведомства гражданской авиации проводят различия между техническими характеристиками УИП и их

использованием для подготовки, тестирования и проверки летного состава. Оценка УИП в ВГА должна проводиться с учетом рекомендуемой производителем ВС практики по подготовке летного состава. Квалификационная оценка проводится путем сравнения характеристик УИП с критериями, указанными в Руководстве по квалификационным испытаниям (далее - QTG), разработанном государственным органом по сертификации в области ГА, в отношении запрашиваемого квалификационного уровня тренажерного устройства.

С целью облегчения процесса определения уровня УИП, уделяя при этом внимание анализу учебного процесса, предписываемого производителем ВС и государством сертификации, было принято решение разделить УИП на ключевые характеристики (компоненты), что позволило составить спецификацию УИП.

В результате данного разделения и, исходя из учебных задач, были определены двенадцать характеристик УИП, которые предлагается использовать совместно и в сочетании с дополнительными и прочими характеристиками при проведении сертификации УИП.

Определяют характеристики УИП следующим образом:

- Компоновка и конструкция кабины летного экипажа. Определяется конструкция и компоновка кабины экипажа, расположение систем индикации, рычагов управления и приборов, кресел пилотов и инструктора.
- Модель полета (аэродинамика и двигатель). Определяются математические модели, которые использованы при описании аэродинамических характеристик и характеристик двигателя ВС, смоделированного на УИП.
- Управление самолетом при движении на земле. Определяются математические модели и соответствующие данные, которые используются для описания характеристик управления самолетом при движении на земле и условия ВПП, которые необходимо моделировать на УИП.
- Системы самолета. Определяются типы систем самолета, которые необходимо моделировать на УИП (например, мощность гидросистем, топливные системы, электропитание). Моделирование этих систем обеспечивает выполнение экипажем соответствующих процедур при нормальных и аварийных ситуациях.

- Рычаги управления и усилия на них. Определяются математические модели и соответствующие данные, которые используются для описания характеристик рычагов управления самолетом, усилий, действующих на рычаги управления, и динамических характеристик, которые необходимо моделировать на УИП [44].

- Звуковые эффекты. Определяются виды звуковых эффектов, которые необходимо моделировать. Такие звуковые эффекты обычно создаются возникающими вне кабины летного экипажа звуками, например шумы от силовой установки, аэродинамические шумы, тряска от движения по ВПП, звуки изменения метеоусловий и внутрикабинными звуками.

- Визуальные эффекты. Определяется тип индикатора видимой через остекление кабины экипажа (визуальной) внекабинной обстановки (например, коллиматорный и бесколлиматорный) и поле обзора (по горизонтали и вертикали), т. е. то, что должны видеть проходящие тренировку на УИП пилоты, глаза которых находятся в базовом положении. Кроме того, приводится описание технических требований к коэффициенту контрастности и точечным источникам света. Рассматриваются также варианты с системами улучшенного и технического зрения - HUD и EFVS [45].

- Акселерационные эффекты. Определяются типы необходимых эффектов движения вследствие динамики воздушного судна, тряски фюзеляжа ВС, вибрации рулевых поверхностей и характера выполняемых операций.

- Окружающая обстановка – УВД. Определяется уровень сложности моделируемых условий управления воздушным движением и степень взаимодействия с летным экипажем во время обучения. При этом основное внимание уделяется маневрированию в зоне аэродрома или этапу полета в зоне диспетчерского контроля.

- Окружающая обстановка – навигация. Определяется уровень моделирования навигационных средств, которыми должны уметь пользоваться члены летного экипажа, например GPS, VOR, DME, ILS или NDB.

- Окружающая обстановка – состояние атмосферы и метеоусловия. Определяется возможный уровень моделирования метеоусловий, таких как температура наружного воздуха, атмосферное давление, моделирование условий грозовой деятельности, обледенения, и т. д.

- Окружающая обстановка – это моделирование аэродромов и прилегающей к ним местности. Определяется уровень возможной детализации имитируемого для целей обучения аэродрома. Эта характеристика подразумевает как требования к визуальной обстановке, данным о высоте местности так и требования к базам данных системы предупреждения о столкновении с землей - EGPWS.

- Прочие характеристики. Определяются критерии технических требований к следующим характеристикам УИП:

- рабочее место инструктора;
- самодиагностика;
- производительность компьютера;
- средства автоматического тестирования;
- обновление оборудования и программного обеспечения;
- предполетная документация;
- интеграция систем (транспортная задержка).

Валидационные испытания функциональных систем, в большинстве государств, разрешено проводить выборочно, согласно требованиям QTG, с целью подтвердить, что УИП воспроизводит самолет в важных областях подготовки, тестирования и проверки персонала. Проведение выборочной проверки позволяет ВГА провести валидационные испытания УИП в период времени, отведенный на проведение такой нормативной оценки.

Следует понимать, что нет необходимости в проведении строгой проверки качества моделирования УИП во всем диапазоне режимов полета и работы систем. Полномасштабные испытания УИП должны проводиться изготовителем УИП и его эксплуатантом перед представлением УИП для проведения

нормативной оценки ВГА и прежде, чем их результаты будут представлены для включения в QTG.

Углубленные испытания являются важнейшей частью всего цикла испытаний и проводятся с использованием документально подтверждающих процедур приемки и проведения испытаний, согласно которым производится регистрация результатов испытаний. Эти процедуры служат руководством для проведения испытаний функций и характеристик во многих областях моделирования, которые не указаны в QTG, а также испытаний таких компонентов, как рабочее место инструктора.

В процессе испытаний, следует проводить оценку тех характеристик УИП, которые имеют важное значение для подготовки или проверки членов летных экипажей. Они включают:

- реакцию УИП в продольном и боковом направлениях движения;
- летно-технические характеристики на этапах взлета, набора высоты, крейсерского полета, снижения, захода на посадку и посадки;
- всепогодные полеты;
- проверки систем управления;
- проверки функций, выполняемых на рабочих местах пилотов, бортинженера и инструктора.

Для гарантии правильности функционирования должна также оцениваться работа систем подвижности, визуализации и системы имитации звуков.

Цель перечисленных проверок состоит в том, чтобы как можно более объективно провести оценку УИП. Важно также определять приемлемость УИП для пилотов. Поэтому должны проводиться валидационные испытания УИП, а также функциональные и субъективные испытания.

Руководство по квалификационным испытаниям (QTG) является основным документом, используемым для проведения квалификационной оценки УИП. В данном руководстве содержатся результаты всех испытаний УИП, заявления о соответствии (далее – ЗОС) и остальная информация, дающая возможность

эксперту определить, соответствует ли УИП всем необходимым критериям для присвоения определенной категории.

Заявитель, претендующий на проведение квалификационной оценки УИП, должен представить в уполномоченный орган ГА QTG, включающее:

а) титульный лист, содержащий (как минимум):

1. название эксплуатанта УИП;
2. модель и серию моделируемого ВС или класса ВС;
3. запрашиваемый уровень квалификации УИП;
4. идентификационный номер УИП;
5. местонахождение УИП;
6. присвоенный изготовителем УИП индивидуальный

идентификационный или серийный номер УИП;

7. блоки-формы, установленного ВГА образца, для подписей с датами:

i) один для эксплуатанта УИП, чтобы он мог удостоверить, что УИП прошел испытания, в ходе которых применялись документально оформленные процедуры приемочных испытаний тренажерного устройства, включая компоновку кабины летного экипажа, все моделируемые системы самолета и рабочее место инструктора, а также инженерно-технические средства, системы подвижности, визуализации и другие системы, в зависимости от действующих требований;

ii) второй для эксплуатанта УИП, удостоверяющий, что все валидационные испытания в ручном режиме были проведены удовлетворительным образом, с использованием только тех процедур, которые указаны в QTG, для проведения испытаний в ручном режиме;

iii) третий для эксплуатанта УИП и ВГА для подтверждения общей приемки QTG;

б) информационную страницу об УИП, в которой указывается (как минимум) следующее:

1. применимые нормативные стандарты квалификационной оценки;

2. модель и серия или класс моделируемого самолета в зависимости от требований;

3. версия аэродинамических данных;

4. моделируемый двигатель и версию его математических данных;

5. версия использованных данных об органах управления ВС;

6. маркировка систем БРЭО оборудования и их версия;

7. изготовитель УИП;

8. дата производства УИП;

9. данные версии компьютера УИП и его характеристики;

10. тип и изготовитель системы визуальных эффектов;

11. тип и изготовитель системы акселерационных эффектов;

12. три или более установленных визуальных картин для квалификационной оценки;

13. любая дополнительная информация для некоторых других областей моделирования, которые не настолько важны для ВГА, чтобы требовать для них отдельного QTG;

с) оглавление, включающее перечень всех испытаний QTG, а также все частные случаи испытаний, если они не оговорены в других частях QTG;

d) журнал регистраций изменений QTG;

e) перечень исходных данных по конструкции и испытаниям УИП;

f) список условных обозначений;

g) заявления о соответствии (ЗОС) определенным требованиям;

h) методы с помощью которых регистрировались результаты испытаний и перечень использованного при проведении валидационных испытаний оборудования;

i) ниже перечислены сведения для каждого валидационного испытания:

1. Номер испытания - номер испытания, присвоенный согласно системе нумерации;

2. Наименование испытания - короткое, определенное и основанное на наименовании испытания;

3. Цель испытания - краткое перечисление того, что в данном испытании должно быть продемонстрировано;

4. Процедура демонстрации - краткое описание того, каким образом предполагается достижение поставленной цели. Должно приводиться четкое и ясное описание, как устанавливается и эксплуатируется УИП при проведении каждого испытания, т. е. когда пилот выполняет полет на нем в ручном режиме или, если необходимо, испытание проводится в автоматическом режиме;

5. Справочные материалы - ссылки на документы, которые являлись источниками данных о ВС, номер документа, номера соответствующих страниц и режимов;

6. Начальные условия - перечень начальных условий испытаний для УИП;

7. Параметры испытаний - перечень всех параметров, задаваемых или ограничиваемых во время испытаний;

8. Процедуры испытаний в ручном режиме - процедуры не должны требовать каких-либо дополнений, чтобы квалифицированный пилот мог выполнить имитируемый испытательный полет, с помощью приборов в кабине летного экипажа. При проведении сложных испытаний предполагается, использовать справочные данные или результаты уже проведенных испытаний. Необходимо обеспечивать возможность проведения испытаний в ручном режиме с места каждого пилота, хотя положения рычагов управления и усилия на них в кабине экипажа не обязательно могут быть реализованы с места каждого пилота;

9. Процедуры автоматических испытаний - каждому автоматическому тесту должен быть присвоен идентификационный номер;

10. Критерии оценки - основные параметры, анализируемые во время испытаний;

11. Ожидаемый(ые) результат(ы) - результат(ы), полученный(ые) на самолете, с указанием допустимых отклонений;

12. Результаты испытаний - результаты валидационных испытаний УИП, полученные эксплуатантом или производителем УИП. Не допускается

проведение испытаний с помощью компьютера, не связанного с УИП. Результаты должны:

- a) быть получены с помощью компьютера УИП;
- b) быть подготовлены на соответствующем носителе информации, который приемлем для ВГА, проводящего испытания;
- c) представлять собой графики изменения параметров во времени, если не указывается иное, и:
  - включать подготовленный для каждого испытания перечень рекомендуемых параметров;
  - быть обозначены метками начала и конца отсчета времени для обеспечения точного сравнения УИП с самолетом;
  - результаты УИП с наложенными валидационными данными должны быть четко обозначены;
- d) быть маркированы как результаты, полученные на испытываемом УИП;
- e) для каждого испытания должны быть указаны дата и время начала и завершения испытания;
- f) для каждого испытания необходимо указывать номер страницы испытания и общее количество страниц испытания;
- g) включать использованные допуски, критерии допусков единицы измерения. Рекомендуется автоматическая маркировка ситуаций "выхода за пределы установленных допусков";
- h) иметь возможность увеличения масштабов графического представления данных с разрешающей способностью, необходимой для оценки допусков необходимых параметров.

### 13. Валидационные данные.

- a) предоставляются данные летных испытаний на ВС с наложенными на них данными испытаний на УИП. Чтобы можно было гарантировать подлинность представленных данных, должна предоставляться копия первоначальных данных с четким указанием, как отмечается выше в п. 1) и 2), названия документа и

номера страницы, а также названия выдавшей его организации, номера испытания и наименования испытания;

б) документы с данными о самолете, включенные в QTG, могут быть уменьшены фотографическим способом, но только если это не создает искажений или трудностей с пониманием масштаба или с разрешающей способностью;

с) переменные валидационные данные должны определяться в номенклатурном перечне. Этот перечень должен быть включен в QTG в подходящем для этого месте.

14. Сравнение результатов. Наложение является приемлемым методом сравнения результатов испытаний УИП с валидационными данными:

а) копию применимых нормативных стандартов квалификационной оценки или соответствующие разделы в зависимости от требований, которые применялись при первоначальной оценке;

б) копию "дорожной карты" валидационных данных, чтобы четко обозначить (только в табличной форме) источники данных для всех требуемых испытаний, включая документы с данными системы имитации звуков и данными, относящимися к вибрациям.

В QTG должны быть включены документально оформленные доказательства соответствия требованиям к валидационным испытаниям УИП. Результаты испытаний УИП должны маркироваться с использованием такой же терминологии, что и для параметров самолета в отличие от обозначений, используемых в программном обеспечении компьютера. Эти результаты должны быть легко сопоставимы с подтверждающими данными путем наложения или с помощью других приемлемых средств.

Для испытаний, предусматривающих изменение параметров во времени, наложение данных УИП на самолетные данные играет важную роль для проверки технических характеристик УИП в ходе каждого испытания. Оценка проводится в целях валидационной проверки результатов испытаний УИП, приведенных в QTG.

Так же производитель УИП разрабатывает основное руководство по квалификационным испытаниям (MQTG), которое составляется во время первоначальной оценки УИП. Оно является основным документом, в который поправки вносятся по согласованию с ВГА, и с которым сравниваются результаты испытаний, проводимых при периодической оценке УИП.

После первоначальной оценки, MQTG используется как документ для проведения периодических или специальных оценок, а также как документ, который ВГА использует для доказательства результатов оценки и действующего квалификационного уровня УИП в тех случаях, когда поступает запрос о подтверждении использования конкретного УИП для выполнения соответствующих учебных задач.

В настоящее время в развитых странах начали широко использовать руководства по квалификационным испытаниям в электронном виде (eQTG).

«Использование eQTG позволяет сократить расходы на сертификацию, сэкономить время в процессе сертификации и улучшить своевременную связь, и постепенно становится общей практикой» [66]. В "ARINC Report 436" [66] приводятся инструктивные указания, касающиеся составления и работы с eQTG.

При первоначальной оценке УИП УТЦ, желающий провести квалификационную оценку УИП, должен направить соответствующий запрос в ВГА государства, в котором планируется разместить УИП. К запросу следует прилагать копию QTG УИП с аннотированными результатами испытаний. Любые недостатки QTG, определенные ВГА, должны быть устранены до начала проведения оценки.

В просьбу о проведении оценки следует также включать заявление о том, что УИП прошло всесторонние испытания с применением процедуры документированного принятия результатов испытаний, включая испытания компоновки кабины летного экипажа, всех моделируемых систем самолета и рабочего места инструктора, а также, в соответствии с действующими требованиями, инженерно-технических средств, систем подвижности, визуализации и других систем. Кроме этого, должно представляться заявление о

том, что УИП отвечает критериям, описание которых приведено в данной работе. Заявитель, также должен подтвердить, что все испытания включенные в QTG для запрашиваемого квалификационного уровня были успешно проведены.

В процессе проведения сертификации УИП, по результатам испытаний, выставляются оценки УИП.

Виды оценок:

1. Первоначальная оценка УИП – это оценка УИП, проводимая первый раз с целью проверки его пригодности для использования. Она включает проведение технического анализа QTG и последующую валидационную оценку УИП на месте его установки, чтобы убедиться, что УИП отвечает всем требованиям, приводимым в QTG, и выдвигаемым полномочным в области ГА органом;

2. Периодические оценки УИП – это те оценки, которые могут проводиться в установленные сроки с целью удостовериться, что УИП по-прежнему отвечает требованиям к его квалификационному уровню;

3. Специальные оценки УИП проводятся в любых из следующих случаев, таких как:

a) существенные изменения аппаратного и/или программного обеспечения, которые могут повлиять на качество управляемости УИП и воспроизводимые на нем летно-технические характеристики или системы;

b) получение заявки о модернизации УИП для получения более высокого квалификационного уровня;

c) выявление ситуации, свидетельствующей о том, что работа УИП не отвечает требованиям, которые предъявляются к нему при проведении квалификационной оценки;

d) перемещение УИП на новое место;

e) изменение владельца УИП;

f) повторное введение в эксплуатацию УИП после длительного периода отключения.

Некоторые из указанных выше обстоятельств могут потребовать проведения новых испытаний, в результате которых в MQTG вносятся поправки.

После проведения квалификационной оценки УИП полномочный орган ГА, ответственный за надзор за деятельностью УТЦ, утверждает, какие учебные задачи можно отрабатывать на данном УИП. Такое заключение должно быть основано на результатах квалификационной оценки УИП, опыте использования аналогичных УИП в УТЦ и программе подготовки авиаперсонала, в рамках которой планируется использовать УИП, а также на опыте и квалификации пилотов, которых планируется обучать [25].

В результате этого процесса выдается разрешение на использование УИП в рамках утвержденной программы подготовки персонала.

В процессе эксплуатации УИП, может возникнуть необходимость признания его квалификационной оценки другими государствами. В "Руководстве по утверждению учебных организаций по подготовке летных экипажей" документ 9841 ИКАО [34] содержатся инструктивные указания относительно признания другими государствами результатов квалификационной оценки УИП, проведенной каким-либо государством, включая первоначальную квалификационную оценку УИП, которому уже присвоен квалификационный уровень другим государством.

При проведении модификации УИП, изменение может быть утверждено путем проведения периодической оценки или специальной оценки, если ВГА считает это необходимым в соответствии с установленными правилами, которые действовали во время первоначальной квалификационной оценки.

Но, если по мнению ВГА совершенно ясно, что в результате изменения тренажерное устройство улучшится в целом (как его технические характеристики, так и качество обучения на нем), то ВГА может согласиться с предлагаемым изменением и, считая это обновлением, разрешить сохранить первоначально присвоенный этому тренажерному устройству квалификационный уровень, без проведения специальной оценки, а лишь ограничившись периодической оценкой.

Модернизация определяется, как повышение квалификационного уровня тренажерного устройства, что можно подтвердить только путем проведения специальной квалификационной оценки в соответствии с самыми последними применимыми правилами.

В заключение следует сказать, что если квалификационный уровень тренажерного устройства не меняется, то все изменения, внесенные в тренажерное устройство, следует считать обновлением, зависящим от утверждения ВГА. Усовершенствование и последующая первоначальная квалификационная оценка, проводимая в соответствии с самыми последними правилами, применяются, только если эксплуатант УИП запрашивает более высокий квалификационный уровень для своего УИП.

Так же следует обратить внимание на состав группы специалистов, принимающих участие в квалификационной оценке УИП. Как правило, квалификационную оценку УИП проводит группа специалистов, возглавляемая пилотом-инспектором ВГА, в состав которой также входят инженеры и пилот(ы), имеющий право на выполнение полетов на самолетах данного типа [51].

Заявитель должен оказывать техническую помощь в обеспечении работы УИП и необходимого испытательного оборудования, при проведении квалификационной оценки. Заявитель также должен предоставить достаточно квалифицированного специалиста для оказания группе по проведению оценки всей необходимой помощи.

При проведении первоначальной оценки изготовитель УИП и/или изготовитель самолета должны, по мере необходимости, предоставлять своих технических специалистов для оказания требуемой помощи.

## Выводы по главе 1

Авиационные перевозки относятся к деятельности человека повышенной опасности, потому что в центре авиационно-транспортной системы находится ВС являющееся видом транспорта повышенного риска. Комплексная система контроля и сертификации авиационного транспорта является одним из важнейших компонентов поддержания высокого уровня безопасности полетов.

Анализ документов, регламентирующих процесс сертификации УИП в нашей стране и за рубежом, проведенный в первой главе, показал что, несмотря на наличие рекомендаций международной гражданской авиации в области сертификации УИП, многие страны этими рекомендациями пренебрегают. А правовая база по данному вопросу в нашей стране, морально устарела и является не актуальной и часто вредной при ее применении.

Современные рекомендации по сертификации авиационных тренажеров изложены в документе 9625 ИКАО [33]. Но данный документ носит рекомендательный характер, и каждая страна, член ИКАО, на его основе должна разработать собственные государственные стандарты, методики и рекомендации по производству валидационных испытаний УИП.

В первой главе приведено и проанализировано большое количество документов, относящихся к проведению сертификационных испытаний УИП, разработанных авиационными властями разных государств и регулирующих процесс сертификации в них, которые зачастую могут повторять или копировать друг друга, но при этом не в полной мере отвечать рекомендациям ИКАО. Соответственно и процесс сертификации УИП в развитых странах очень схож, как и документы, регламентирующие этот процесс.

Общепризнанными мировым авиационным сообществом, являются европейские и американские нормы сертификации авиационных тренажеров, описанные выше. Однако в нашей стране современные нормы сертификации УИП

отсутствуют, что создает правовой вакуум, тормозит развитие тренажеростроения и не способствует улучшению уровня безопасности полетов.

В части совершенствования системы сертификации УИП, предназначенных для подготовки всех видов авиационного персонала, необходимо разработать и внедрить не только современные и понятные правила сертификации, но и методики, по которым данный вид работ может проводиться.

Подготовка авиационного персонала – это комплексный процесс требующий вовлечения как производителей ВС, так и производителей УИП и эксплуатантов. Контроль над качеством процесса подготовки летного состава возложен на авиационные власти государства эксплуатанта. Качественное решение данной задачи позволит реализовать основной принцип управления безопасностью полетов – предупреждение авиационных происшествий, повысить уровень безопасности полетов и престиж страны на мировой арене.

## **Глава 2. РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВАЛИДАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ПОДВИЖНОСТИ УСТРОЙСТВ ИМИТАЦИИ ПОЛЕТА**

### **2.1 Обоснование необходимости тренировки летного состава выводу из СПП**

В настоящее время в гражданской авиации всего мира принята доктрина подготовки пилотов, основанная на не попадании современных ВС в СПП [52]. Данное утверждение основывается на том, что все полеты должны происходить при точном соблюдении летно-технических ограничений ВС и с применением законов систем автоматического управления современных магистральных ВС. Но, практика показывает, что попадания ВС в СПП и получение экипажем соматогравитационных иллюзий все еще случаются довольно часто и регулярные тренировки летного состава выводу из СПП просто необходимы для дальнейшего улучшения уровня безопасности полетов [50].

Фирма Боинг, являясь одним из самых больших и массовых производителей гражданских ВС, рекомендует производить тренировки на современных УИП только по выводу из сваливания и выполнению виражей с креном до 60 градусов. На отработку остальных видов СПП применяемые в настоящее время ВС либо не способны, либо способны с существенными оговорками и ограничениями. А в качестве подготовки пилотов выводу из СПП фирма Боинг предлагает лишь ознакомление со следующими рекомендациями по выводу ВС из СПП:

Таблица 2.1 Действия экипажа, при попадании в СПП «носом вверх» - «Nose High Recovery» [92]

Pilot Flying	Pilot Monitoring
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recognize and confirm the developing situation.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disengage autopilot</li> <li>• Disconnect autothrottle</li> <li>• Recover</li> <li>• Apply nose down elevator. Apply as much elevator as needed to obtain a nose down pitch rate.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apply appropriate nose down stabilizer trim</li> <li>• Reduce thrust</li> <li>• Roll (adjust bank angle) to obtain a nose down pitch rate*</li> </ul> </li> <li>• Complete the recovery:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• When approaching the horizon, roll to wings level</li> </ul> </li> <li>• Check airspeed and adjust thrust</li> <li>• Establish pitch attitude</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Call out attitude, airspeed and altitude throughout the recovery.</li> <li>• Verify all needed actions have been done and call out any continued deviation.</li> </ul>

Таблица 2.2 Действия экипажа, при попадании в СПП «носом вниз» - «Nose Low Recovery» [92]

Pilot Flying	Pilot Monitoring
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recognize and confirm the developing situation.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disengage autopilot</li> <li>• Disconnect autothrottle</li> <li>• Recover</li> <li>• Recover from stall, if needed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Call out attitude, airspeed, and altitude throughout the recovery.</li> <li>• Verify all needed actions have been done and call out any continued</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Roll in the shortest direction to wings level. If bank angle is more than 90 degrees, unload and roll</li> <li>• Complete the recovery:</li> <li>• Apply nose up elevator</li> <li>• Apply nose up trim, if needed*</li> <li>• Adjust thrust and drag, if needed</li> </ul>	deviation.
--	------------

В данных рекомендациях, все возможные пространственные положения разделены всего на два вида «носом вверх» и «носом вниз». Рекомендации при попадании в СПП «носом вверх»:

- распознать и подтвердить ситуацию;
- отключить автопилот;
- отключить автомат тяги;
- отдать штурвал «от себя» на сколько это необходимо, для достижения тенденции к уменьшению угла тангажа;
- применить тримирование, если это необходимо;
- уменьшить тягу двигателей (для достижения тенденции уменьшения угла тангажа);
- ввести ВС в крен, если предыдущих мер для достижения уменьшения угла тангажа недостаточно;
- при прохождении нулевого тангажа, вывести ВС из крена;
- проверить приборную скорость и установить необходимую тягу двигателей;
- установить необходимый угол тангажа.
- При попадании в СПП «носом вниз»:
- распознать и подтвердить ситуацию;
- отключить автопилот;
- отключить автомат тяги;
- вывести самолет из сваливания, если это необходимо;

- вывести самолет из крена по кратчайшему расстоянию, если крен более 90 градусов, ослабить давление на штурвал и вывести ВС из крена;
- потянуть штурвал «на себя» на необходимую величину, для достижения тенденции на увеличение угла тангажа;
- при необходимости, применить тримирование ВС «на себя»;
- установить необходимую тягу или увеличить сопротивление.

Из приведенного описания действий видно, что оно является универсальным для всех возможных СПП и не содержит конкретики в отношении расхода рулей, для рекомендованных действий, что приводит пилотов в замешательство, так как они не знают на какой угол необходимо отклонять органы управления в той или иной ситуации.

Так же необходимо отметить, что при попадании в СПП даже опытные пилоты испытывают огромный стресс и воздействие разнонаправленных перегрузок на организм, что приводит к временной задержке перед принятием необходимых действий. Алгоритм действий, рекомендованный компанией Боинг, действительно способен помочь вывести ВС из большинства возможных СПП, но не из всех. Например, данный алгоритм не может быть рекомендован при попадании ВС в плоский штопор, так как при этом должны применяться совсем другие действия и их последовательность. При попадании в СПП пилоты, из-за ограничений по времени и прочности конструкции ВС, должны действовать быстро и машинально. Описанный выше алгоритм является достаточно логичным, но из-за его разветвленной структуры, трудным для исполнения в критической ситуации, когда каждая секунда может стать решающей.

Все вышесказанное приводит к выводу о необходимости регулярных тренировок летного состава ГА выводу из СПП [99]. Проведение таких тренировок на УИП в настоящее время возможно лишь в малом диапазоне углов и перегрузок, из-за их технических ограничений, но уже созданы опытные образцы УИП нового поколения, способные имитировать попадание и вывод из СПП в широком диапазоне углов, скоростей и перегрузок. Данные устройства и их технические характеристики описаны далее в этой главе.

## 2.1 Разработка требований к УИП, предназначенным для тренировки летного состава выводу из СПП

УИП применяемые для подготовки летного состава ГА в настоящее время, имеют очень незначительные возможности по имитации пространственных положений и перегрузок во время тренировки [38]. Создаваемые ими перегрузки краткосрочны и сильно ограничены по величине, из-за ограничений в подвижности гироплатформ, на которых они установлены, и ограничения скоростных характеристик гидроприводов [98]. Поэтому тренировки по выводу из СПП на таких устройствах либо не проводятся вовсе, что бы ни привить пилоту ложных ощущений в СПП, либо проводятся в очень ограниченных пределах (сваливание и глубокие виражи). Это не дает возможности по отработке и поддержанию навыка выводу из СПП с помощью тренажеров в настоящее время. Более того, тренировки по выводу из СПП на таких УИП в некоторых странах признаны вредными и запрещены.

Перспективные же системы симуляции полета, способны сильно расширить границы и время имитируемых перегрузок, и будут пригодны для тренировки летного состава выводу из всех возможных СПП [58]. Примером такого устройства является DESDEMONA рис. 2.1 (сокр. от Disorientation Demonstrator (с англ. демонстратор потери пространственного положения)). Данное устройство размещено на экспериментальной площадке исследовательского института в городе Амстердам, и в настоящее время используется для проведения различных исследований по тематике поведения человека при попадании в СПП, исследования психо и физио-эмоциональных реакций человека в СПП и доводки программного обеспечения для этих целей.

Создателям этого УИП нового поколения удалось сделать его пригодным к тренировкам летного состава по выводу из СПП и даже к тренировкам космонавтов. В создании и тестировании данного УИП, в рамках проекта SUPRA

[103] (от англ. - simulation of upset recovery), принимали участие специалисты и ученые из 11 стран, в том числе и специалисты ЦНТУ «Динамика» (Россия)[101].



Рисунок 2.1 УИП DESDEMONA [75]

Данное устройство имитации полета нового поколения, представляет собой кабину экипажа, закрепленную в трехосевом подвесе, с возможностью вращения по каждой из осей на 360 градусов, с возможностью центробежного вращения данного подвеса на радиусе до 8 метров, а также возможностью вертикального движения в диапазоне трех метров и обладает следующими техническими характеристиками:

Таблица 2.3 Технических характеристик УИП DESDEMONA [91]

	Отклонение от центра	Радиус	Подъем	Рысканье	Крен	Тангаж
Изменение позиции	360 гр.	+4м.	+1м.	360гр.	360гр.	360гр.
Скорость изменения позиции	155 гр./с.	3.2м./с.	2м./с.	180гр./с.	180гр./с.	180гр./с.
Ускорение	45гр./с. <sup>2</sup>	4.9м./с. <sup>2</sup>	4.9м./с. <sup>2</sup>	90гр./с. <sup>2</sup>	90гр./с. <sup>2</sup>	90гр./с. <sup>2</sup>

Такая конфигурация данного УИП дает возможность длительной имитации ускорений силой до 3g, направленных вдоль любой желаемой оси. В то время, как применяемые в данное время устройства имитации полета высшей категории D (FAA) или категории 7 (ICAO), для создания и имитации перегрузки, используют платформу Гью-Стюарта (рис. 2.2), которая, может наклоняться на угол до 45 градусов и по принципу своей работы, может имитировать только кратковременные приросты перегрузки силой до 0.9g [37].



Рисунок 2.2

В результате контролируемого компьютером изменения длины штоков гидроцилиндров, верхняя платформа создает соответствующие ускорения, передаваемые на кресло пилота [93]. В большинстве случаев, как и при полете в настоящем самолете, этих перемещений вполне достаточно для относительно правдоподобной имитации ощущений незначительных перегрузок, испытываемых экипажами ВС в нормальном полете.

Характеристики и ограничения тренажеров, установленных на таких гиropлатформах, не позволяют проводить с их помощью тренировки летного состава выводу из СПП.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать следующие требования к устройствам имитации полета, пригодным для тренировки летного состава выводу из СПП:

- возможность имитации перегрузок по всем трем осям (до 3g) в большом диапазоне и с большой длительностью;
- возможность быстрого изменения настроек программы тренажера под другой тип ВС;
- наличие универсальной или быстрозаменяемой под другой тип ВС кабины экипажа;
- наличие системы визуализации с маленькой задержкой (для предотвращения нежелательных физиологических реакций тренируемых и соматогравитационных иллюзий) [3];
- достоверные модели поведения ВС в СПП.

## **2.2 Разработка компьютерной программы для проведения испытаний устройств имитации полета предназначенных для тренировки летного состава выводу из сложных пространственных положений**

При проведении квалификационных испытаний устройств имитации полета, точная экспертная оценка моделирования воздействия на пилотов акселерационных воздействий, является важной и сложной задачей [2]. Данная экспертная оценка является необходимым условием, для присвоения УИП квалификационного уровня и определения возможности выполнения с его помощью утвержденного перечня учебных задач, при подготовке летного состава.

В настоящее время, в целях сертификации УИП, предназначенных для тренировки летного состава и переподготовки на новые типы ВС используется большое количество технических средств. Для их сертификации применяются различные технические средства и так называемая субъективная оценка [47].

Субъективная оценка - это оценка пилотажных свойств и характеристик УИП, опытным пилотом (чаще всего летчиком-испытателем), в сравнении с настоящим ВС, на всех этапах и режимах полета. Такая оценка не является точной, и зачастую, может быть поставлена «авансом», особенно на этапе освоения новых типов ВС. Даже самый опытный пилот, никогда не сможет точно определить, насколько правильно УИП повторяет поведение настоящего ВС в полете. Сенсорный аппарат человека очень не точен, имеет разную чувствительность к воздействию перегрузки по каждой отдельной оси и сильно колеблется по уровню чувствительности от индивида к индивиду, что делает субъективную оценку УИП очень не точной и практически бесполезной, при проведении сертификационных испытаний систем имитации акселерационных воздействий. Субъективная оценка несет за собой скрытую угрозу безопасности полетов, так как пилоты, тренируясь в дальнейшем на таком УИП, могут получить неправильные представления об отклике ВС при разном воздействии на

органы управления и расходе рулевых поверхностей при имитации нормальных и аварийных ситуаций, что может рано или поздно привести к катастрофе.

Данный вид оценки применяется до сих пор, из-за отсутствия технической возможности отказаться от субъективизма. В то же время используемые в мобильных устройствах, акселерометры, очень точны, имеют высокую чувствительность и дискретность, одинаковую по всем осям, что делает их незаменимыми, при проведении сертификационных испытаний УИП. Автором разработана и протестирована в реальных условиях на ВС и УИП компьютерная программа, для переносных портативных устройств, обладающих возможностью измерения прироста перегрузки по трем осям (с возможностью подключения измерительного выносных акселерометров), которая способна в реальном времени, записывать графики прироста перегрузки испытываемых конструкцией по трем осям и сравнивать графики, полученные на тренажере и на реальном ВС, рассчитывая коэффициент подобия УИП и ВС в автоматическом режиме, благодаря разработанному алгоритму сравнения.

Для ухода от субъективизма в данном процессе, предлагается использовать внутренние акселерометры мобильных устройств, вместе с разработанным в данной работе программным обеспечением.

Данное программное обеспечение (далее – ПО) позволяет проводить точнейшие измерения при проведении квалификационных испытаний систем имитации акселерационных воздействий УИП и отказаться от проведения субъективной оценки. Это дает возможность не только перейти на новый уровень в процессе сертификации УИП, сделать этот процесс гораздо более понятным и прозрачным, но и возможность объективно и правильно проводить сертификацию перспективных УИП, предназначенных для тренировки летного состава выводу из СПП.

Построение графиков прироста перегрузки в реальном времени, их запись и сравнение с «идеальными» графиками, полученными на ВС, дают возможность расчета коэффициента подобия УИП и ВС в автоматическом режиме, при помощи мобильных устройств [12].

Общий вид программы приведен на Рис. 2.3

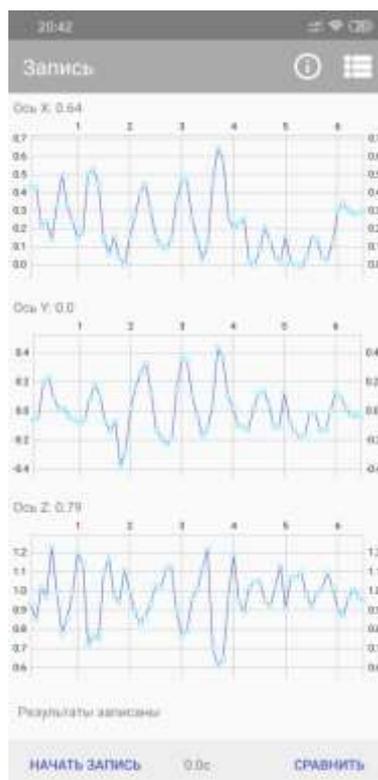


Рисунок 2.3 Общий вид программы

Данное ПО названо «Flight Accelerometer» и написано на языке программирования JAVA, для операционной системы Android версии 4.0.3 и выше, при помощи интегрированной среды разработки «Android Studio» версия 3.4.1 (компании «Google»), комплекта разработчика «Java Development Kit» (компании Oracle).

Выбор языка Java был сделан из-за кроссплатформенных возможностей Java Virtual Machine, которые дают возможность с минимальными трудозатратами и изменениями кода расширить количество операционных систем пригодных для работы с данным ПО.

Программа «Flight Accelerometer», позволяет записывать перегрузки, действующие на мобильное устройство или выносной датчик ускорений, находящиеся внутри ВС или УИП с дискретностью записи входящего сигнала 0.1сек., строит графики прироста перегрузок по трем осям, ведет хронометраж при записи графиков прироста перегрузки и может сравнивать полученные графики, с помощью специально разработанного алгоритма сравнения, и

выводить коэффициент подобия реального ВС и устройства имитации полета, при выполнении одних и тех же эволюций.

Заложенный в программу алгоритм сравнения графиков (см. п.2.3.1), анализирует графики отдельно по каждой из трех координатных осей, сравнивает все полученные значения перегрузок в каждый момент времени (с дискретностью 10 измерений в секунду), время воздействия перегрузок и момент их воздействия, рассчитывает подобие графиков по каждой оси отдельно, и рассчитывает общий коэффициент подобия ВС и устройства имитации полета. Что дает возможность уйти от субъективной оценки, при сертификации устройств имитации полета, и дать более точную оценку возможностей данного устройства, для целей тренировки летного состава по определенным видам подготовки.

Такой подход имеет лишь несколько технических ограничений:

- время начала и окончания записи графиков прироста перегрузки, при эволюциях ВС и УИП должно совпадать, для получения более точных результатов измерений и минимизации методической погрешности;
- устройство измерения перегрузки, при записи графиков перегрузок, должно быть закреплено параллельно строительной оси ВС, примерно на 35см. ниже глаз пилота;
- устройство должно быть неподвижно закреплено в специальном держателе, для уменьшения влияния шума вибрационных перегрузок (так же разработан и изготовлен, с применением технологии 3D печати, опытный образец держателя устройства для ВС и тренажера Боинг 747);
- устройство должно размещаться одинаково, относительно осей симметрии, центра тяжести и центра давления на ВС и устройстве имитации полета, для достижения необходимой точности измерений и нивелирования методической погрешности;
- желательно располагать устройство осью X, параллельно строительной оси фюзеляжа, осью Z, перпендикулярно земной поверхности и осью Y, параллельно горизонту;

- Акселерометр используемого устройства должен быть откалиброван перед проведением испытаний, согласно инструкции по калибровке акселерометра для мобильного устройства, либо инструкции по калибровке выносного акселерометра (в случае использования такого).

Расположение осей на стандартном мобильном устройстве, показано на рис. 2.4, но в созданном ПО оси X и Y поменяны местами. Это сделано, потому что измерение реакции УИП должны преобразовываться в расчетные измерения в системе координат пилота, а она определяется в документе 9825 ИКАО (п.8.4 дополнения F), как «виртуально прикрепляемая к УИП в плоскости симметрии кабины точка на высоте приблизительно 35 см ниже уровня глаз пилота» [33] и для большего удобства, при эксплуатации данного ПО в реальных условиях.

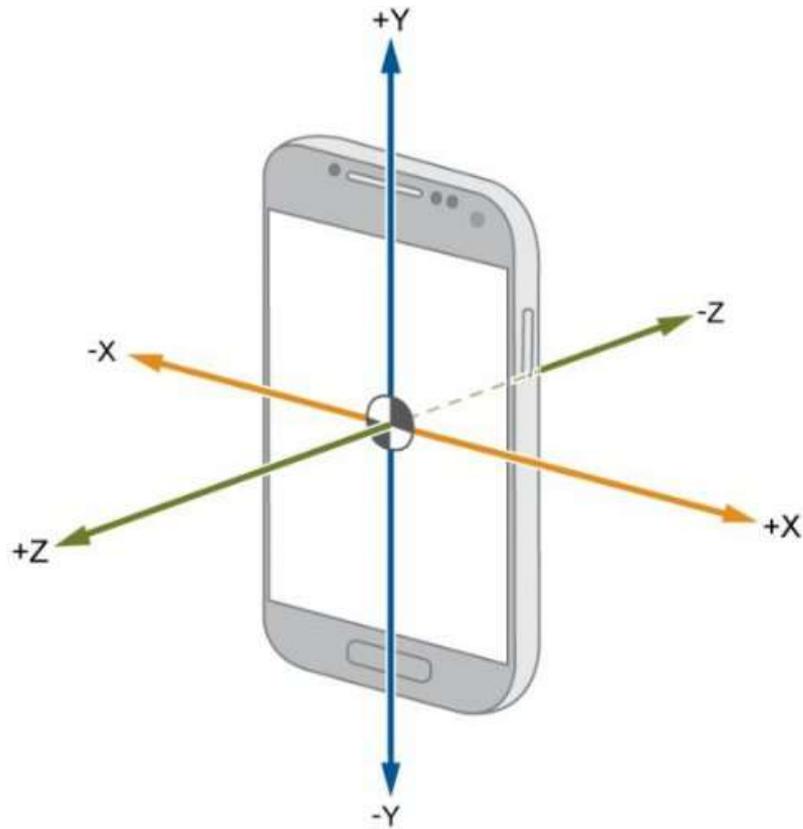


Рисунок 2.4 Стандартное расположение осей на мобильных устройствах

Текст компьютерной программы приведен в Приложении 2. На данное ПО защищены авторские права и получено свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ № 20206112121 (Приложение 1).

Применение мобильных устройств, оснащенных акселерометрами, в целях сертификации устройств имитации полета для летного состава, дает возможность

уйти от субъективной оценки, при проведении сертификационных испытаний, сделать квалификационную оценку устройств имитации полета гораздо более точной, эффективной и понятной [12].

### 2.2.1 Анализ технических характеристик акселерометров, применяемых в современных портативных компьютерах, для целей измерения прироста перегрузок в УИП на этапе его испытаний

Прогресс превратил огромные компьютеры, с малым количеством доступных функций и сравнительно не большой скоростью вычислений в современные, очень компактные и удобные устройства, способные производить сложные вычисления с большими массивами данных за короткое время. С помощью современных телефонов и планшетов, к которым все так привыкли, можно не только производить сложные вычисления, но и измерять величину прироста перегрузки по трем осям.

Мобильные устройства, в наше время, повсеместно оснащаются трехстепенными электронными акселерометрами высокой степени точности и надежности. Они имеют высокий динамический диапазон и чувствительность. Подобные устройства очень компактны, и внешне могут представлять собой миниатюрный чип для микросхемы, габариты которого не превышают размер ногтя на мизинце (рис.2.5) [94].



Рисунок 2.5 – «Электронный акселерометр»

Их высокая выходная чувствительность, высокое отношение сигнал/шум и широкая полоса пропускания дают возможность [12] измерения с их помощью

действующих на ВС или тренажер ускорений с точностью до 0.01g [97] и построения графиков этих ускорений в реальном времени и даже сравнение полученных графиков в автоматическом режиме.

Современные электронные микроакселерометры, устанавливаемые в мобильных устройствах, обладают следующими преимуществами:

- возможность детектирования, как высоких, так и малых ускорений, включая статические;
- мульти-осевое исполнение;
- детектирование угловых ускорений;
- температурная стабильность;
- уменьшенные дрейфы параметров;
- улучшенные шумовые характеристики;
- высокое разрешение;
- интегрируемость схем обработки сигнала в корпусе ПЭВМ;
- однокристалльные системы;
- способность к самотестированию и калибровке;
- программируемость;
- малое энергопотребление;
- большое число поддерживаемых интерфейсов;
- возможность обработки сигнала в системах со смещением сигнала;
- низкая цена.

«Такие акселерометры отличаются высокой чувствительностью, узкой полосой пропускания (от 15 до 3000 Гц) и отличной температурной стабильностью. Погрешность чувствительности в полном температурном диапазоне (до 180°C) не превышает 1.5 %» [97].

В тоже время порог чувствительности к перегрузке человеческого организма [12] гораздо выше, чем электронного акселерометра, может колебаться не только от человека к человеку, но и от изменения внешних условий среды, и равен примерно 0.3g.. Применение мобильных акселерометров делает оценку

подобия тренажера настоящему ВС, гораздо более точной и эффективной, нежели субъективная оценка, проводящаяся при сертификации на сегодняшний день.

Это дает нам возможность избавиться от необходимости проведения субъективной оценки авиатренажеров на этапе их производства и сертификации уполномоченными органами, и позволяет сделать сертификационный процесс гораздо более понятным и прозрачным, для всех его участников.

## 2.2.2 Разработка концепции пользовательского интерфейса программы

Пользовательский интерфейс – это тот вид ПО, с которым пользователь может взаимодействовать с помощью манипуляторов для использования программного обеспечения. Пользовательский интерфейс обеспечивает фундаментальную платформу для взаимодействия человека с компьютером.

Простота и ясность являются основными характеристиками любого современного интерфейса программного обеспечения. Чтобы пользователь мог эффективно использовать все ресурсы ПО, для достижения поставленных целей, интерфейс должен обладать следующими характеристиками:

- назначение интерфейса должно быть полностью очевидным;
- пользователи должны быстро понимать, как и с чем они взаимодействуют и каковы будут результаты такого взаимодействия;
- работа с интерфейсом должна быть абсолютно предсказуемой;
- интерфейс не должен раздражать пользователей и должен иметь грамотно подобранную цветовую палитру, что бы быть приятным для глаз.

Основой цветового решения для программного обеспечения явились спокойные пастельные тона оттенков серого и голубого цветов, которые дают пользователю отсылку к цветам неба (так как программный продукт предназначен для использования в авиационной индустрии) и не раздражают зрительный аппарат человека при длительном использовании (Рис. 2.6).



Рисунок 2.6 «Первый экран»

За основу первого экрана пользовательского интерфейса было решено взять графики входных сигналов акселерометра по трем осям, так как эти графики являются основным элементом программного обеспечения и подлежат анализу, на них выделено 90 процентов рабочей зоны на первом экране. Окна графиков перегрузок одинакового размера, для каждой из трех осей, имеют прямоугольную форму и обозначены названиями осей: Ось X, Ось Y и Ось Z соответственно.

В левом нижнем углу первого экрана размещена кнопка «НАЧАТЬ ЗАПИСЬ» для удобства ее нажатия в любой момент времени, при управлении устройством одной рукой. После нажатия кнопки «НАЧАТЬ ЗАПИСЬ» начинается запись прироста перегрузки по трем осям с использованием выходного сигнала акселерометра мобильного устройства (при необходимости любого выносного акселерометра совместимого с проводными или беспроводными интерфейсами используемого устройства). В это же время в окнах записи перегрузки появляются временная и количественная сетки, которые автоматически меняют свой масштаб в зависимости от длительности записи и

величины прироста перегрузки. По центру экрана, внизу при этом запускается секундомер, для удобства хронометража записи, при необходимости. Кнопка «НАЧАТЬ ЗАПИСЬ» после нажатия, меняется на кнопку «ОСТАНОВИТЬ» и изменяет свой цвет на красный, для большей заметности в условиях плохого освещения кабины (Рис. 2.7).

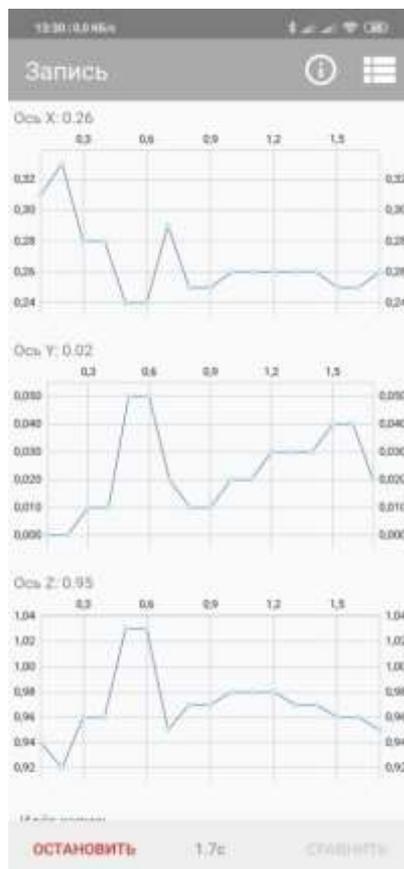


Рисунок 2.7 «Изменение первого экрана после начала записи»

После нажатия кнопки «ОСТАНОВИТЬ» автоматически появляется окно для ввода названия и сохранения записи, с единственной кнопкой «СОХРАНИТЬ». После сохранения записи в память устройства, первый экран принимает свой первоначальный вид и программа снова готова к работе.

Если сохранение записи не требуется (запись бракованная), то достаточно нажатия в любое свободное поле экрана, для стирания этой записи и перехода к первому экрану.

В правом углу верхней части экрана расположилась кнопка «i», для вывода информации об авторе программного обеспечения и версии используемого ПО (Рис.2.8) и кнопка вызова второго экрана, который будет описан ниже.

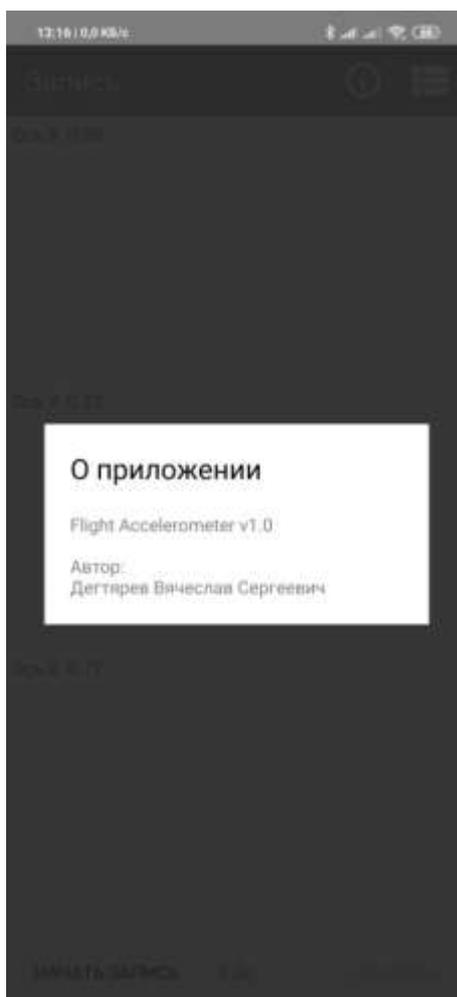


Рисунок 2.8 «Информация о программе»

Второй экран (Рис. 2.9) предназначен для управления сохраненными записями и представляет собой список сохраненных записей, при нажатии на которые они автоматически выводятся на первый экран, и появляется кнопка «СРАВНИТЬ», которая дает возможность выбрать вторую запись на втором экране, для их автоматического сравнения и расчета коэффициента подобия.

В нижней части второго экрана расположены кнопки «ЗАГРУЗИТЬ ИЗ ФАЙЛА» И «ВЫГРУЗИТЬ В ФАЙЛ», для возможности создания архива данных и переноса полученных данных на другое устройство или сохранения их на удобном для пользователя носителе информации.



Рисунок 2.9 «Второй экран»

Для стандартизации заголовков данных, полученных при эксплуатации данного ПО и удобства дальнейшего сравнения полученных графиков и поиска нужных записей, автор разработал формат записи заголовков полученных данных.

Если выполнялась запись полета реального ВС, то вначале ставиться только этап полета, на котором выполнена запись в сокращенной форме. Например T/O-takeoff (взлет), BNK-bank (крен), TX-taxi (руление) или LD-landing (посадка), а если запись выполнена на УИП, то перед этапом полета ставиться аббревиатура SIM-simulator с сокращением типа ВС или номера УИП (например SIM47-simulator Boeing 747). После этого записывается сокращенное название аэродрома в виде трех буквенного кода ИАТА и полосы, на которой проводилась запись. Далее следует бортовой номер ВС, масса и использованная для взлета тяга

(только для взлета) и положение закрылков. После чего кратко записываются метеоусловия в формате: направление ветра/скорость ветра, температура, давление в гектопаскалях.

Примерами таких записей могут быть:

- T/O 400' DME14R BFU 386t D2+49 f20 220/4 +13 1009
- SIM47 LD SIN20R 400' BVR 290t f25 250/15 +30 1014

Если расшифровать эти записи с помощью описанного выше алгоритма, то получится следующее:

Взлет на ВС с бортовым номером BFU до высоты 400 футов в аэропорту Домодедово, с полосы 14 правая, с массой 386 тонн, на втором режиме уменьшения тяги двигателей с представленной температурой 49 градусов, с закрылками в положении 20 градусов. Метеоусловия: ветер метеорологический 220 градусов/силой 4 узла, температура воздуха +13 градусов и атмосферное давление 1009 гектопаскалей.

Имитация посадки на УИП Boeing 747 номер BVR в аэропорту Сингапура на полосу 20 правая с высоты 400 футов с массой 290 тонн, закрылки в положении 25 градусов. Метеоусловия: ветер метеорологический направлением 250 градусов/ силой 15 узлов, температура плюс 30 градусов, атмосферное давление 1014 гектопаскалей.

Данная форма записи применена в приложении 3, для записи списка проведенных испытаний.

### **2.3 Расчет коэффициента подобия УИП для его сертификации по выводу из сложных пространственных положений на основе графиков прироста перегрузок построенных с помощью разработанного ПО**

Для целей расчета коэффициента подобия устройства имитации полета к настоящему ВС, при проведении сертификационных испытаний, в данной работе предлагается использовать специально разработанное для данной цели ПО и программу летных испытаний, которые помогут определить коэффициент подобия. Необходимость введения коэффициента подобия и методика его расчета приведены в п. 2.3.1.

В виду наличия большого числа летных ограничений [84-87], при производстве магистральных полетов, автору не доступна возможность проведения полного комплекса испытаний на ВС Боинг 747, 777, поэтому программа испытаний на ВС Боинг-747 и 777 будет представлена не в полной мере. Испытания на срывные режимы, высший пилотаж и штопор проводились на тренажерах Боинг 747-400 FFS FT18 и FT14 в г.Франкфурт на Майне (Lufthansa aviation academy), на FFS3 Боинг 777 в учебном центре Боинг Сколково г.Москва и на самолете Як-52 на аэродроме Вихрево (Московская область) в пилотажной зоне №1.

По итогам испытаний в конце данной главы сделаны выводы о коэффициенте подобия FFS3, FT18 и FT14 реальному ВС и о возможности и корректности теоретического сравнения графиков перегрузок, полученных при испытательных полетах на Як-52 и вышеописанных устройствах имитации полета, при выполнении фигур высшего пилотажа и штопора [13].

Все нижеприведенные испытания в настоящей работе, проведены на ВС Боинг 747-400F, 747-400ERF, 747/8F, 777-300, Як-52, и на УИП Boeing 747-400 FT18, FT14 (Lufthansa aviation academy, Frankfurt-Main, Germany), и УИП Boeing 777-300 FFS3 (учебный центр Boeing, г. Москва, Сколково, ул. Сикорского 15).

При проведении испытательных полетов было использовано мобильное устройство Mi8SE, производства компании Xiaomi (Китай) [12], со встроенным датчиком трехосевого акселерометра, имеющим порог чувствительности 0.01g [97], закрепленного в специально разработанном и изготовленном, методом 3D печати, держателе на центральном пьедестале, и вышеописанное специально разработанное ПО Flight Accelerometer v.1.0.

Программа летных испытаний включала в себя выполнение следующих эволюций:

- Взлет по прямой, набор высоты 400 футов (120м.) с различными массами, положениями механизации, внешними условиями и режимами работы СУ;
- Набор высоты 6000 футов (1800м.) по схеме выхода, уборка механизации (не выполнялось на ВС Як-52 из за ограничений по использованию воздушного пространства в р-не аэродрома);
- Посадка, с высоты 400 футов (120м.) и до скорости 30 узлов (54 км/ч); с различными массами, положениями механизации, внешними условиями и режимами использование работы реверса СУ и автомата торможения;
- Развороты с кренами 25, 30 и 60 градусов (крен 60 не выполнялся на ВС Боинг 747 и 777 из-за наличия летно-технических ограничений);
- Сваливание и 1 виток штопора (не выполнялось на ВС Боинг 747 и 777 из-за наличия летно-технических ограничений);
- Бочка (не выполнялось на ВС Боинг 747 и 777 из-за наличия летно-технических ограничений);
- Мертвая петля (не выполнялось на ВС Боинг 747 и 777 из-за наличия летно-технических ограничений).

### 2.3.1 Разработка математических алгоритмов записи и сравнения графиков прироста перегрузки

При проведении исследования методов математического сравнения получаемых с акселерометров мобильного устройства графиков прироста перегрузок на УИП и ВС, были выделены 3 метода сравнения получаемых графиков:

1. Метод переходных функций;
2. Метод сравнения площадей под графиками совместно со сравнением выбираемых значений максимальных и минимальных пиковых значений перегрузки;
3. Метод поэтапного сравнения всех полученных значений координат и вычисление математического ожидания полученных результатов, с введением дополнительных ограничений по коридору полученных значений и критерию Чебышева.

Каждый из этих методов имеет свои плюсы и минусы. Рассмотрим каждый из них.

При сравнении полученных графиков прироста перегрузки методом переходных функций, полученные в каждый момент измерения значения, преобразуются в функцию  $f(x)$  и представляют из себя производную по времени [8]. Данный метод является достаточно точным, для поставленной теоретической задачи, но несет в себе большое количество необходимых вычислений и сложности в описании метода алгоритмами языка Java.

Применение данного метода, хотя и являлось бы достаточно точным, но привело бы к большим трудозатратам и большому объему вычислений, в сравнении с другими, представленными методами.

При рассмотрении метода сравнения площадей под графиками совместно со сравнением выбираемых значений максимальных и минимальных пиковых

значений перегрузки становится понятна недостаточная точность данного метода, для выполнения поставленной технической задачи. Это связано с необходимостью написания алгоритма выбора критических пиковых значений перегрузки, количеством сравниваемых пиков и временем их возникновения. И хотя, сравнение площадей под графиками является достаточно простой для выполнения задачей, результаты данного сравнения будут недостаточно точны, исходя из самой сути поставленной технической задачи.

Все вышесказанное говорит о том, что метод сравнения площадей под графиками совместно со сравнением выбираемых значений максимальных и минимальных пиковых значений перегрузки, хотя и является простым для написания на языке Java, не соответствует критериям необходимой точности решаемой задачи.

Метод поэтапного сравнения полученных в каждый момент времени координат, по каждой из осей, являет собой сравнение значения прироста перегрузки полученного в каждый момент времени на ВС и УИП, при выполнении одних и тех же эволюций и  $t_0$ , по каждой оси координат, после чего вычисляется математическое ожидание полученных результатов.

Анализ выборки полученных данных из сравнения 150 точек на графиках прироста перегрузки приведен в приложении 4 и показывает отсутствие признаков нормального распределения в выборке. Анализ данных проводился с помощью программы STATISTICA.

Так же был определен коэффициент корреляции полученных данных:

$$\rho = \frac{K_{\kappa,t}}{\sigma_T \sigma_C}$$

Коэффициент корреляции получился равным 0,784, что свидетельствует о достаточно высокой корреляции полученных значений.

Если имеется набор наблюдений ускорений по одной из осей на самолете:

$$a^C = a_1^C, a_2^C \dots a_i^C \dots a_n^C,$$

и набор ускорений, записанных на тренажере, на том же участке полета, на том же месте в кабине, синхронизированный по времени, с той же дискретностью, то каждое  $i$ -е измерение на тренажере:

$$a^T = a_1^T, a_2^T \dots a_i^T \dots a_n^T.$$

соответствует  $i$ -му измерению на самолете.

$$\text{Назовем: } \eta = \frac{|a_i^T|}{|a_i^C|} * 100\%$$

тогда:

$$M(\eta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_i$$

Для более точного расчета коэффициента подобия и что бы коэффициент подобия не принимал значений больше единицы:

$$\text{Если } |a_i^T| > |a_i^C|, \text{ тогда } \eta = (1 - (\frac{|a_i^T|}{|a_i^C|} - 1)) * 100\%$$

Поскольку величина математического ожидания полученной величины не может в полной мере ответить на вопрос схожести графиков прироста перегрузки, то в данном случае необходимо задать предельное значение отличия  $\eta$  от  $M(\eta)$ , это даст возможность более точно учесть разброс полученных на УИП значений прироста перегрузки от идеальных значений, полученных на ВС.

Так как  $\eta$  является случайной величиной, для нее, при любом распределении выполняется неравенство Чебышева:

$$P(|\eta - M(\eta)| \geq \alpha) \leq \frac{\sigma_\eta^2}{\alpha^2}$$

где:

$M(\eta)$ -мат. ожидание,

$\sigma_\eta$ -среднеквадратичное отклонение;

если  $\alpha = k\sigma_\eta$ , то

$$P(|\eta - M(\eta)| \geq k\sigma_\eta) \leq \frac{1}{k^2};$$

а,  $\sigma_C, \sigma_T$  – среднеквадратические отклонения наблюдаемых значений ускорений на самолете и тренажере, рассчитываются так:

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i^T - m_T)^2}{n-1}}, \sigma_C = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i^C - m_T)^2}{n-1}},$$

Значит, вероятность того, что  $\eta$  будет отличаться от математического ожидания на величину больше, чем  $k\sigma_\eta$  не более, чем  $\frac{1}{k^2}$ .

Задавая значение доверительной вероятности, как  $P^*=1-P$ , рассчитаем  $k = 1/\sqrt{P}$ ;

Исходя из вышесказанного, можно утверждать, что с вероятностью  $P^*=0,8$ ;  $P=0,2$  значение

$$M_{(\eta)} - 2.24\sigma_\eta \leq \eta \leq M_{(\eta)} + 2.24\sigma_\eta$$

При таком условии можно утверждать, что с вероятностью 80%, значение  $\eta$  не будет больше чем  $M_{(\eta)} + 2.24\sigma_\eta$  и не будет меньше чем  $M_{(\eta)} - 2.24\sigma_\eta$ .

В случае, если более 20% значений

$$\eta > M_{(\eta)} + 2.24\sigma_\eta \text{ или меньше чем } M_{(\eta)} - 2.24\sigma_\eta$$

испытание будет считаться проваленным и после коррекции математических алгоритмов управления системой подвижности УИП, должно быть проведено повторное испытание.

Исходя из всего вышесказанного, в данной работе, предлагается ввести понятие коэффициента подобия, который будет равен величине полученного математического ожидания всех значений  $\eta$ , при условии, что не более 20% значений:

$$M_{(\eta)} - 2.24\sigma_\eta \leq \eta \leq M_{(\eta)} + 2.24\sigma_\eta.$$

Так же, для ликвидации возможности пропускания больших кратковременных выбросов прироста перегрузки по любой из осей, установлен допустимый коридор значений:

$$|a_i^C - a_i^T| \leq 0,15$$

Данный коридор установлен из условия приблизительного значения чувствительности мозжечка человека к уровню прироста перегрузки (0,15g) и может быть изменен по требованию ВГА.

Данный метод достаточно просто реализуется на языке Java, из-за того что данный язык является объектно-ориентированным и написанный единожды алгоритм для одной из осей, легко тиражируется на две другие оси. Данный метод не несет в себе большого объема вычислений и в тоже время является достаточно точным в применении.

Единственным ограничением применения данного метода сравнения является необходимость синхронизации времени начала имитируемой на УИП эволюции со временем начала записи данной эволюции на ВС ( $t_0$ ). Но так как данное ограничение учтено в методике проведения классификационных испытаний, методическая погрешность измерений сведена к минимуму.

Учитывая все вышесказанное для реализации сравнения графиков прироста перегрузки в предлагаемом в данной работе программном обеспечении, был реализован именно метод поэтапного сравнения всех полученных значений координат, получение математического ожидания данной величин.

### **2.3.2 Методика проведения сертификационных испытаний системы подвижности с помощью разработанного программного обеспечения**

Для качественного проведения сертификационных испытаний с использованием нового программного обеспечения, необходимо разработать методы проведения такого рода испытаний, которые позволят минимизировать возможные методические ошибки при проведении сертификации и будут способствовать повышению точности проводимых испытаний.

Исходя из характера поставленной технической задачи и целей создания программного обеспечения, необходимо выбрать приемлемые методы проведения сертификационных испытаний, с помощью которых будет возможно провести качественные испытания имитационных характеристик акселерационных эффектов устройства имитации полета на всех этапах эксплуатации ВС.

Предлагается разделить этапы эксплуатации ВС на:

- Руление;
- Взлет;
- Маневрирование в полете;
- Посадка и пробег;

Для каждого из этих этапов необходимо разработать метод проведения испытания, учитывая особенности пилотирования ВС.

Руление.

Процесс руления на ВС характеризуется многими факторами, как внешней среды (неровности РД и ВПП), так и особенностями техники пилотирования каждого КВС.

Поскольку процесс руления является достаточно простым и безопасным процессом эксплуатации ВС, не связанным с большим риском, предлагается проведения всего двух видов испытаний:

- Прямолинейное руление;

- Повороты на угол 90 градусов по разметке на разных скоростях.

Для достижения наиболее точных результатов испытаний проведение испытаний при прямолинейном движении предлагается производить на режиме работы двигателей малый газ с различными массами (например, с максимальной взлетной и максимальной посадочной массой) и при различных условиях имитируемой внешней среды. Данный вид испытания предлагается начинать со снятия со стояночного тормоза и оценки прямолинейного ускоренного движения в течении ограниченного промежутка времени (например 30 сек.). Это даст возможность оценить имитацию ускорения ВС на земле при использовании только режима малого газа работы двигателей и возможности устройства имитации полета по моделированию неровностей и стыков плит на РД.

Повороты на 90 градусов предлагается имитировать тоже с применением только режима работы двигателей малый газ, для того что бы получить наиболее точные данные об имитации ускорений во время разворота. Предлагается выполнение двух разворотов в правую сторону и двух в левую, с равноускоренным движением оградном управления передним колесом, до достижения необходимого угла его поворота, на скоростях в начале разворота 5 и 10 узлов, при различных массах ВС, как и в предыдущем испытании и с имитацией бти различных коэффициентов сцепления. Такие скорости начала разворота выбраны из соображений безопасности и по рекомендациям фирмы Боинг для выполнения руления всех выпускаемых фирмой в настоящее время типов гражданских ВС. При наличии технической возможности компьютера УИП, возможна имитация поворота носового колеса по сигналам компьютера УИП, с запрограммированным изменением положения, взятого с расшифровки по средствам объективного контроля, при проведении испытаний на ВС.

Проведение испытаний во время руления по такой методике даст возможность проверить имитацию проскальзывания передней стойки при низких коэффициентах сцепления, наличие или отсутствие ускорения в развороте по продольной и поперечной оси, при различных массах ВС и возможности имитации боковой составляющей перегрузки при рулении.

Взлет.

Поскольку процесс взлета является сложным с точки зрения техники пилотирования и характеризуется отсутствием возможности производства взлета с использованием системы автопилота на подавляющем большинстве современных типов ВС, его выполнение должно быть проверено с использованием ручного режима пилотирования с применением основной системы управления работающей в нормальном законе управления (вылет с неработоспособной системой управления в нормальном законе управления запрещен на всех типах гражданских ВС).

При производстве данного вида испытаний, они должны проходить с разными массами ВС и с различными положением закрылков сертифицированным для производства взлета, на данном типе ВС.

При наличии технической возможности компьютера УИП, возможна имитация взлета УИП по сигналам компьютера УИП, с запрограммированным изменением положения рулевых поверхностей, взятого с расшифровки записывающей аппаратуры ВС, по средствам объективного контроля, при проведении испытаний на ВС. Это позволит избавиться от методической ошибки из-за различной техники пилотирования пилотов.

Большое значение имеет внешняя среда, которая может сильно усложнять процесс пилотирования ВС. В данном контексте внимание следует обратить на имитационные возможности устройства по боковому ветру. Предлагается проведение испытаний с имитацией 100, 75, 50 и 25 процентов боковой составляющей ветра и ветрах дующих под углом 30, 60 и 90 градусов к курсу взлета с обеих сторон. Так как в реальных условиях на ВС попадание точно в заданные параметры в процессе испытаний не всегда возможно, допускается отклонение от вышеописанных скоростей и направлений ветра, при проведении испытаний на ВС  $\pm 15\%$ , со 100% имитацией реальных условий (условий при которых взлетало ВС) на тренажерном устройстве имитации полета, с имитацией внешней температуры и давления.

Так же нужно отметить, что большое количество взлетов современных ВС происходит на пониженных режимах работы двигателей, для улучшения характеристик надежности силовых установок и продления их ресурса. Из вышесказанного вытекает необходимость проверки имитации режимов уменьшенной тяги двигателей на взлете, при проведении сертификационных испытаний, что позволит наиболее точно определить имитационные возможности тренажерного устройства исключить возможность наличия погрешности в имитации тяги на УИП [7].

Испытания на взлете, предполагается проводить с момента снятия ВС с тормозов, для производства взлета на режиме малого газа работы силовых установок, до набора высоты 400 футов (характерная высота подключения автопилота на большинстве эксплуатируемых на сегодняшний день ВС).

Данный вид испытаний рекомендуется проводить в условиях спокойной атмосферы, для исключения влияния болтанки от атмосферных возмущений на результаты испытаний.

Так же следует отметить необходимость проведения испытаний на прерванный взлет на характерных скоростях, с различными массами ВС и при разных коэффициентах сцепления. Характерными скоростями для современного ВС являются 80 узлов и скорость принятия решения. Данный вид испытаний поможет оценить имитационные возможности тренажерного устройства по имитации ускорения замедления, при прерванном взлете с использованием различных средств замедления (с использованием реверса тяги двигателей и спойлеров и без их использования).

#### Маневрирование в полете.

Испытания при маневрировании в полете рекомендуется проводить с включенной системой автопилота на различных скоростях полета (например, на минимальной, экономической и максимальной) с различными полетными массами.

При производстве данного вида испытаний необходимо оценить имитационные возможности и характеристики тренажерного устройства при

выполнении разворотов с разными углами крена. Предлагается проводить испытания на разворотах с углами крена 10, 20 и 30 градусов в обе стороны. При этом развороты с углом крена 20 и 30 градусов предлагается проводить от начала разворота, до разворота на 180 градусов, а с углом крена 10 градусов, от начала разворота, до разворота на 90 градусов, для экономии времени из-за малой угловой скорости ВС, при разворотах с креном 10 градусов.

Так же при имитации маневрирования в полете необходимо оценить имитационные возможности тренажерного устройства по имитации ускорения ВС от минимальной до максимальной скорости и замедления от максимальной эксплуатационной до минимальной скорости на чистом крыле и с использованием спойлеров в положениях 50 и 100 процентов, на разных высотах полета и с разными массами.

Имитация маневрирования в полете должна производиться с полной имитацией характеристик внешней среды, в которых проходили испытания ВС.

Посадка.

Поскольку процесс посадки, как и процесс взлета, является сложным с точки зрения техники пилотирования, его имитация должна проводиться с максимально возможным использованием автопилота (вплоть до автоматической посадки и полной остановки ВС с помощью системы автоматического торможения).

В процессе имитации посадки нужно проводить испытания при разных полетных массах со всеми возможными вариантами штатной конфигурации ВС, сертифицированной для посадки, а так же посадки с не полностью выпущенной механизацией с одним отказавшим двигателем.

Так же следует учитывать большое влияние факторов внешней среды на производство посадки. Поэтому, как и для взлета, испытания следует проводить с имитацией 100, 75, 50 и 25 процентов боковой составляющей ветра и ветрах дующих под углом 30, 60 и 90 градусов к курсу взлета с обеих сторон, с такими же, как и для взлета, допусками на боковой ветер на ВС.

Испытания на посадке предлагается проводить с высоты 400 футов и до полной остановки ВС. Это даст возможность наиболее точно оценить имитационные возможности тренажерного устройства и исключить возможность методических ошибок.

Данный вид испытаний рекомендуется проводить в условиях спокойной атмосферы, для исключения влияния болтанки от атмосферных возмущений на результаты испытаний.

Необходимо заметить, что испытания маневрирования в полете и посадки являются наиболее точными и показательными, так как присутствует возможность выполнения данных маневров с использованием системы автопилота, в отличии от испытаний на рулении и взлете.

В результате проведенного исследования, было проведено 71 испытание и 34 сравнения, полученных графиков прироста перегрузки. Список проведенных испытаний и результаты сравнения приведены в приложении 3. Расшифровка формы записи названий испытаний приведена в п.2.2.2.

## Выводы по главе 2

Пилоты ГА, из-за высокой автоматизации современных ВС, быстро утрачивают навыки техники пилотирования, как в нормальных условиях, так и в условиях попадания в СПП [23]. И если проблему навыков пилотирования в нормальных условиях удастся решать с помощью существующих УИП, то полеты в СПП и вывод из них в настоящее время пилотами никак не отрабатываются [5].

Данная проблема может быть решена постройкой перспективных авиатренажеров, способных имитировать длительные воздействия перегрузок на организм тренируемых.

Такие устройства имитации полета необходимы лишь в малом количестве, т.к. они предназначены только для узкого вида тренировок и могут поставляться с универсальными кабинами пилотов, не обязательно в точности повторяющими кабины реальных ВС. Большие требования в данном вопросе применяются только к системе подвижности УИП, системе визуализации, к полной имитации органов управления и к математической модели полета ВС, при попадании в СПП.

Для целей сертификации существующих и перспективных устройств имитации полета, автором предложено использование специального программного обеспечения, способного в автоматическом режиме записывать и сравнивать графики прироста перегрузки на ВС и перегрузки имитируемые УИП.

Для целей создания данного программного обеспечения проведен анализ возможности применения различных алгоритмов сравнения графиков прироста перегрузки и выбран наиболее подходящий для данной цели метод. Даны рекомендации по снижению методической погрешности при применении данного алгоритма.

Так же проведены испытания данного ПО с применением специально разработанной и сформулированной методикой испытаний. Испытания проводились на ВС Боинг 747, 737, 777 и Як-52 и УИП данных типов. Всего было

проведено 71 испытание и получены графики прироста перегрузки при выполнении различных эволюций.

Полученные результаты сравнения графиков прироста перегрузок по трем осям ВС Боинг 747, 737, 777 и устройствах имитации полета данного типа ВС, говорят о полной работоспособности созданного ПО и о возможности его применения при проведении сертификационных испытаний УИП (см. гл.4 рис. 4.4-4.9).

Так же получены результаты сравнения графиков прироста перегрузки на ВС Як-52 и устройстве имитации полета Боинг-747 777, при выполнении фигур высшего пилотажа (штопор и бочка), которые дают возможность утверждать следующее:

- устройство имитации полета Боинг-747, при имитации выполнения фигур высшего пилотажа, имитирует прирост перегрузки в очень узком диапазоне и только кратковременно;
- сравнение графиков приростов перегрузок ВС разного типа и настолько разной массы не может дать точной картины воспроизводимости попаданий в СПП на ВС и устройствах имитации полета, хотя и дает похожие по форме графики прироста перегрузки;
- для получения более точных результатов по испытаниям в СПП необходимы дополнительные данные, получение которых возможно только при проведении полетов пилотами-испытателями на реальных ВС.

Применение разработанного программного обеспечения на практике и имплементация его в сертификационный процесс поможет сделать процесс сертификационных испытаний более точным и прозрачным, что приведет к улучшению качества УИП и, как следствие к улучшению уровня безопасности полетов в авиации. Так же применение данного решения может ускорить и улучшить процесс сертификации современных УИП.

### **Глава 3. ФОРМУЛИРОВКА ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ СЕРТИФИКАЦИИ УИП РАЗНЫХ КЛАССОВ**

#### **3.1 Обоснование разделения УИП на классы по уровням имитационных характеристик**

В документе 9625 ИКАО [33] предлагает разделение всех видов УИП на 7 классов, по степени подобия и возможности отработки с их помощью определенных учебных задач (см. таблицу 1.2). Но, как видно из таблицы 1.2, первые три класса УИП очень похожи и предназначены для решения практически одинакового списка учебных задач, их предлагается объединить в один класс. Пятый класс УИП ИКАО пока является резервным, и его характеристики пока не определены [33]. Таким образом остается 4 класса УИП.

В тоже время, авиационные администрации США, Европы и большинства других стран, делят УИП на 4 класса. Исходя из вышесказанного, в представленной методике предлагается разделить все возможные УИП на 5 классов, так как данная методика предполагает возможность проведения сертификационных испытаний перспективных типов УИП, способных имитировать СПП, (пока существуют только опытные образцы таких УИП) и их следует отнести к отдельному классу устройств.

УИП, предназначенные для тренировки летного состава выводу из СПП [13] предлагается отнести к 5му классу, несмотря на то, что минимальные требования к этим устройствам по имитации кабины, звуков, УВД и прилегающей местности ниже, чем к устройствам 3го и 4го классов, данный тип УИП является наиболее перспективным и в дальнейшем сможет заменить устройства 3го и 4го классов, при условии соответствия их минимальным требованиям. В случае если УИП

отвечает минимальным требованиям 3го или 4го и 5го классов, то оно может быть сертифицировано для тренировки летного состава по программам подготовки, предусматривающим выполнение учебных задач, как 3го или 4го, так и 5го класса. В данном случае в сертификате УИП будут фигурировать сразу два класса имитационных характеристик, что даст возможность решать более широкий круг учебных задач.

Для облегчения процесса определения возможности отработки тех или иных учебных задач при помощи УИП определенного класса, все они сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 сводная матрица возможности использования УИП, при тренировках летного состава ГА.

Класс УИП	Вид свидетельства или подготовки	Подготовка (Т) или профессиональная подготовка (ТР)	Компоновка и конструкция кабины летного экипажа	Модель полета (аэродинамика и СУ)	Имитация движения по земле	Системы ВС	Рычаги управления и усилия на них	Звуковые эффекты	Визуальные эффекты	Акселерационные эффекты	Окружающая обстановка и УВД	Навигация	Метеоусловия	Аэродромы и прилегающая местность
5	PPL/CPL /ATPL	Т	G	S	S	G	R	R	S	S	G	G	R	R
4	PPL/CPL /ATPL/T R/IO/CQ	Т+ТР	S	S	S	S	S	R	S	R	S	S	R	R
3	PPL	Т+ТР	R	R	R	R	R	R	S	R	S	S	R	R
2	PPL	Т+ТР	G	G	G	R	G	R	G	N	G	S	G	R
1	CR	Т	R	R	R	R	R	G	R	N	N	S	G	G
	IR	Т	G	G	G	R	G	G	G	N	G	S	G	G
	PPL/CPL	Т	R	R	R	R	R	G	R	N	N	S	G	R

Виды подготовки и подтверждения квалификации:

- IR - Квалификационная отметка о праве на полеты по приборам;
- PPL - Свидетельство пилота-любителя;
- CPL - Свидетельство пилота коммерческой авиации;
- TR - Подготовка и проверки для получения квалификационной отметки о типе;
- ATPL - Свидетельство линейного пилота авиакомпании;
- CR - Квалификационная отметка о классе;
- RL - Подготовка и проверка при получении свидетельства о переподготовке;
- RO - Проводимые эксплуатантом переподготовка и проверки;
- IO - Проводимые эксплуатантом первоначальная подготовка и проверки;
- CQ - Поддержание квалификационного уровня;

Уровни адекватности имитации характеристик УИП, предлагаемые для проведения сертификационных испытаний:

- S (высокий) — самый высокий уровень адекватности. В случае уровня адекватности S первоначальную и периодические валидационные оценки следует проводить на основе объективной оценки в форме сравнения с утвержденными данными;
- R (типовой) — промежуточный уровень адекватности. В случае уровня адекватности R первоначальную валидационную оценку УИП следует проводить на основе объективной оценки в форме сравнения с утвержденными данными и, по мере необходимости, дополнительно к этому проводить утвержденную субъективную проверку для определения стандартных исходных данных. Периодические валидационные оценки должны проводиться объективно в форме сравнения со стандартными исходными данными.
- G (базовый) — самый низкий уровень адекватности. В случае уровня адекватности G первоначальную валидационную оценку следует проводить на

основе субъективной оценки в форме сравнения с утвержденными данными, в случае их наличия, и, по мере необходимости, дополнительно к этому проводить утвержденную субъективную разработку для определения стандартных исходных данных. Периодические валидационные оценки должны проводиться объективно в форме сравнения со стандартными исходными данными.

- N (не требуется) — в случае уровня адекватности N оценка соответствия характеристики УИП самолету не требуется.

Как видно из таблицы 3.1 на тренажерах 1го класса разрешается проводить тренировки летного состава по очень ограниченному количеству учебных задач и только для подготовки пилотов лицензируемых, как PPL/CPL и нельзя проводить проверки и присвоение квалификации, из-за низких имитационных характеристик УИП данного класса. Но, в тоже время на таких сравнительно не дорогих УИП можно проводить большое количество тренировок нормальных и аварийных процедур, что способствует сокращению издержек при подготовке летного состава [41]. УИП 2го-4го классов, за счет более продвинутых имитационных характеристик могут быть использованы и для проверок летного состава, согласно утвержденным программам подготовки. УИП 5го класса пока могут быть сертифицированы только для тренировок летного состава по выводу из СПП, и не предусматривают проведения проверок. Но если УИП сертифицировано сразу в двух классах (например, в 4ом и 5ом), то оно может использоваться и для проведения квалификационных периодических проверок летного состава и проверок при переучивании на новые типы ВС [13].

### **3.2 Требования к компоновке кабины УИП и усилиям на рычагах управления**

Минимальные требования к компоновке кабины экипажа УИП 1го класса – кабина летного экипажа может быть открытая, или восприниматься экипажем как закрытая с похожими на самолетные рычагами управления полетом и силовой установкой. Оборудована, приборами, переключателями управления системами ВС и органами управления ВС, расположенными аналогично имитируемому ВС или классу ВС. Переключатели управления системами ВС могут быть представлены на активных дисплеях. Расположение пилотажных и навигационных приборов, а так же кресел членов экипажа должны обеспечивать типовое положения пилотов ВС, и типовое положение их глаз.

Компоненты кабины экипажа должны быть установлены таким образом, что бы функционировать согласованно. Возможно использование электронных изображений приборов и других панелей на экранах дисплеев. Если по программе тренировок предусмотрено воздействие пилота на те или иные приборы и органы управления, оно должно воспроизводиться. Имитация АЗС не требуется.

Кресла экипажа должны быть установлены таким образом, что бы обеспечивать типовое положение глаз членов летного экипажа и допускать изменение положения глаз в требуемых пределах, для того что бы член экипажа был способен занять правильное и удобное положение относительно рычагов управления ВС моделируемого класса. В кабине должно быть размещено рабочее место инструктора.

Освещение приборов и панелей управления ВС должно обеспечивать беспрепятственное выполнение экипажем всех необходимых операций и процедур.

Минимальные требования к компоновке кабины УИП 2го и 5го классов – кабина летного экипажа должна воспринимаемая как закрытая или быть закрытой

(для 5го класса только закрытой). Расположение и тип органов управления ВС и СУ должно соответствовать кабине ВС имитируемого самолета или класса ВС. Кабина должна включать: все рычаги управления ВС, переключатели систем и АЗС используемые при проведении тренировок, пилотажные и навигационные приборы, оборудование системы связи и системы предупреждения и оповещения. Переключатели управления системами ВС, а также оборудование систем связи и приборы могут быть представлены на активных дисплеях. Их функциональность может ограничиваться в рамках утвержденной программы подготовки летного состава. Усилия, прилагаемые к рычагам управления, при пилотировании ВС должны быть типовыми для имитируемого ВС или класса ВС.

Возможно применение на УИП приборов и приборных досок в виде изображений на экране дисплея. Воспроизводимые на дисплеях приборы не должны иметь ступенчатости имитации. Панели АЗС могут воспроизводиться типовыми (допускаются фотографические изображения). Необходимо функционально точно имитировать АЗС, используемые экипажем при выполнении всех процедур, запланированных утвержденной программой подготовки. Эти АЗС могут быть смоделированы в типовой форме для класса ВС. Размеры кабины экипажа могут быть такими, чтобы можно было имитировать более чем одно ВС или класс ВС.

Рабочие места и кресла членов экипажа должны воспроизводить рабочие места и кресла имитируемого ВС или класса ВС. В кабине должно быть размещено рабочее место инструктора и кресло для наблюдателя или инспектора ВГА.

Освещение приборов и панелей управления ВС должно обеспечивать беспрепятственное выполнение экипажем всех необходимых операций и процедур.

Минимальные требования к компоновке кабины УИП 3го и 4го классов – кабина летного экипажа имитируемого ВС должна быть закрытой полномасштабной копией кабины летного экипажа реального ВС. И должна включать все элементы конструкции ВС, приборы и приборные доски. Все рычаги

управления ВС и СУ, а так же системы ВС с их органами управления и индикаторами, АЗСы, пилотажные и навигационные приборы, связанное и другое оборудование, системы сигнализации и оповещения и аварийное оборудование должны точно имитировать данные органы на реальном ВС. Прилагаемые усилия, при перемещений рычагов и органов управления указанных выше систем и элементов должны быть точно такими, как имитируемом ВС.

Функции систем УИП, не требующиеся в программе подготовки экипажа, не обязательно должны поддерживаться программным обеспечением имитации [45]. Но любое видимое экипажем оборудование кабины и органы управления должны быть обязательно установлены. Если данные системы задействуются при выполнении каких-либо процедур во время выполнения упражнений программы подготовки, должно обеспечиваться их точное функционирование в такой степени, чтобы поведение самолета имитировалось в процессе реализации этих процедур. Системы или функции систем, не поддерживаемые программным обеспечением УИП, должны указываться в информационном листе к УИП.

Перегородки и карманы, в которых находятся только отсеки для хранения бытового оборудования, штырей блокировки уборки шасси на земле, или где размещаются только противопожарные средства, а так же другое оборудование ВС, не предусмотренное к использованию по программе подготовки летного состава, можно не устанавливать.

Все элементы необходимые при выполнении программы подготовки летного состава и для выполнения карт контрольных проверок должны присутствовать в кабине УИП. Точная копия элементов аварийно-спасательного оборудования, трехмерная модель или даже фотография, считаются приемлемыми, если копия является функционирующей в степени, необходимой для выполнения операций согласно программе подготовки ЛС.

Рабочие места членов экипажа и их кресла должны точно имитировать кресла реального ВС. В кабине должно быть размещено рабочее место инструктора и кресло для наблюдателя или инспектора ВГА.

Расположение кресел членов летного экипажа, должно обеспечивать полный обзор приборных досок и лобовых стекол, как на имитируемом ВС. Эти кресла должны быть такими же, как кресла имитируемого ВС, и должны быть закреплены и оборудованы таким образом что бы ограничивать движение находящихся в УИП людей в целях их безопасности во время всех возможных перемещений системы подвижности УИП. Все кресла должны иметь освещение, позволяющее делать записи, и систему выборочного прослушивания переговоров членов экипажа. Все кресла должны быть достаточно удобными, чтобы обеспечить комфортное пребывание в течение двухчасовой тренировочной сессии.

Освещение кабины должно быть точной копией освещения кабины летного экипажа реального ВС, но может иметь дополнительные функции для удобства инструктора или проверяющего.

### 3.3 Требования к аэродинамической модели полета и двигателя

Для 1го и 2го классов УИП должны применяться следующие требования к аэродинамической модели полета и имитации двигателя:

- аэродинамические характеристики ВС и СУ должны быть симитированы по аналогии с реальным ВС или классом имитируемых ВС для возможности отработки необходимых согласно программы подготовки летного состава задач;

- в модели динамики полета должны быть учтены различные характеристики ВС, похожих на имитируемый тип ВС или класс ВС. Комбинации тяги СУ и сопротивления ВС, которые могут иметь место в реальном полете могут быть имитированы с некоторыми ограничениями (например не полный набор возможных имитаций положения механизации крыла);

- модель динамики полета может не учитывать всех возможных изменения положения ВС, изменение тяги СУ и сопротивления ВС в зависимости от высоты полета и имитируемых атмосферных условий;

- модель динамики полета может не в полной мере учитывать (или не учитывать для 1го класса УИП) изменение поведения ВС, при изменении полетной массы и положения центра тяжести;

- моделирование условий обледенения и изменения аэродинамических характеристик ВС и СУ в условиях обледенения не требуются. Однако, если программой подготовки предусмотрена отработка действий в условиях обледенения, должна имитироваться сигнализация об обледенении и возможность проведения экипажем необходимых действий, при полетах в условиях обледенения;

- моделирование сваливания и попадания в СПП, а так же моделирование влияния подстилающей поверхности на характеристики ВС не требуется;

- имитация характеристик контакта с землей и движения ВС по аэродрому может быть выполнена в репрезентативной форме;
  - моделирование характеристик руления ВС по земле должно отражать типовое руления ВС имитируемого класса и может не включать в себя имитационное воздействие боковой составляющей ветра при взлете и посадке ВС, если отработка данных задач не предусмотрена программой подготовки пилотов;
  - математическая модель может не иметь возможности имитации уровней коэффициента сцепления на ВПП.
- Для 3го класса УИП должны применяться следующие требования к аэродинамической модели полета и имитации двигателя:
- аэродинамические характеристики ВС и СУ должны быть имитированы по аналогии с реальным ВС в рамках необходимых для использования УИП согласно программы подготовки ЛС;
  - в модели динамики полета должны быть учтены различные комбинации тяги СУ и сопротивления ВС, которые могут иметь место в реальном полете, в зависимости от атмосферных условий;
  - модель динамики полета должна учитывать изменения положения ВС, скольжение, изменение тяги и сопротивления в зависимости от высоты полета и атмосферных условий;
  - имитация условий обледенения может не в полной мере отражать изменение аэродинамических характеристик имитируемого типа ВС, но должна включать в себя изменение лобового сопротивления, массы ВС, возможное ухудшение характеристик работы СУ, из-за образования льда на ее частях и возможность отработки всех необходимых действий экипажа в условиях полета в обледенении;
  - моделирование сваливания и попадания в СПП, а так же моделирование влияния подстилающей поверхности на характеристики ВС не требуется;

- имитация характеристик контакта с землей и движения ВС по аэродрому должны повторять характеристики реального ВС с высокой степенью подобия. Характеристики управляемости на земле должны с высокой степенью подобия имитировать влияние бокового ветра при взлете и посадке ВС и парирование боковой составляющей ветра органами управления, тягой двигателей и дифференциальным торможением;

- математическая модель должна имитировать минимум 3 уровня возможного коэффициента сцепления на ВПП.

Для 4го и 5го классов УИП должны применяться следующие требования к аэродинамической модели полета и имитации двигателя:

- аэродинамические характеристики ВС и СУ должны быть хорошо симитированы на основе данных летных испытаний конкретного типа ВС и отражать реальное поведение имитируемого ВС, имитируя все комбинации сопротивления ВС и тяги СУ с зависимостью и от положения ВС, скольжения, изменения атмосферных условий, волновые эффекты, изменения массы, положения центра тяжести и конфигурации ВС;

- должны имитироваться эффекты влияния земли, числа  $M$ , волновые эффекты, обледенение конструкции ВС, влияние прямой и реверсированной тяги на управляющие поверхности ВС;

- в модели динамики полета должны учитываться изменение массы ВС и положения центра тяжести, а так же моменты инерции ВС с зависимостью от его массы и количества топлива;

- моделирование эффекта влияния земли должно осуществляться на основании данных летных испытаний конкретного типа ВС. Для этого в ЗОС должны быть представлены данные о величинах сопротивления, подъемной силы, моменте тангажа и мощности СУ при наличии влияния подстилающей поверхности;

- аэродинамические характеристики должны имитировать влияние реверса тяги на путевое управление ВС;

- моделирование обледенения ВС требуется только для тех типов ВС, которые допущены к полетам в условиях обледенения и должно включать в себя имитацию ухудшения аэродинамических характеристик ВС, уменьшение подъемной силы и критического угла атаки крыла, изменение момента тангажа и снижение эффективности органов управления, а так же, если применимо и изменение усилий на рычагах управления рулевыми поверхностями. Эффекты обледенения должны имитировать неустойчивость работы СУ, при появлении льда на ее конструктивных элементах;

- аэродинамическая модель ВС на малых скоростях должна имитировать аэродинамическое сваливание и ухудшение статической и динамической устойчивости, а так же реакцию на действия органами управления на малых скоростях и усилия на них, срывной бафтинг, влияние изменения скорости маха.

По причине трудности получения данных летных испытаний на сваливание ВС, эффекты сваливания (в случае отсутствия данных) могут имитироваться репрезентативно. В ЗОС должен быть представлен источник данных об аэродинамических характеристиках и поведении ВС на малых скоростях. При наличии данных летных испытаний в ЗОС должен быть приведен список маневров, которые использовались для создания аэродинамической модели поведения ВС на углах атаки больше, чем углы начала сваливания, для всех возможных положений механизации крыла и шасси;

Модель динамики полета должна обеспечивать высокую правдоподобность имитации углов атаки, вплоть до 10 градусов за критическим углом атаки. Автоматика предупреждения о сваливании должна срабатывать по алгоритмам имитируемого ВС и работать в точном соответствии с настоящим ВС.

УИП должно быть способно обеспечивать выполнение учебных задач, по ознакомлению пилотов со сваливанием, выводом из сваливания и поведению ВС на критических углах атаки, а так же ознакомление с возможным попаданием в СПП.

Имитация характеристик контакта с землей и движения ВС по аэродрому должны полностью повторять характеристики реального ВС. Характеристики управляемости на земле должны включать в себя имитацию бокового ветра при взлете и посадке ВС и парирование боковой составляющей ветра органами управления, тягой двигателей и дифференциальным торможением;

Математическая модель должна имитировать 6 уровней возможного коэффициента сцепления на ВПП;

Для 5го класса УИП должна обеспечиваться возможность имитации всех разновидностей СПП с имитацией прироста перегрузки действующей на пилота в СПП с допуском  $\pm 0.2g$ , от перегрузки, испытываемой на реальном ВС, без лимита имитации прироста перегрузки по времени воздействия.

### 3.4 Требования к уровню имитации самолетных систем

При имитации самолетных систем для УИП разного класса основным критерием является возможность отработки всех необходимых действий экипажа в нормальных и аварийных ситуациях, отработка которых предусмотрена программой подготовки летного состава на данном типе УИП. При этом требования к УИП 1го, 2го и 3го, 4го классов очень похожи и они могут быть объединены в 2 группы с небольшими оговорками для каждого класса в своей группе. Требования к УИП 5го класса незначительны, так как 5ый класс УИП предназначен для тренировки летного состава выводу из СПП [13] и не требует отработки специальных навыков экипажа в нормальных и аварийных ситуациях по отношению к действиям над системами ВС. Поэтому требования к 5му классу УИП будут объединены с 1ым и 2ом классом.

Для 1го, 2го и 5го классов УИП должны применяться следующие требования к уровню имитации систем ВС:

- имитационные характеристики систем ВС должны быть достаточными для тренировки летного экипажа в рамках утвержденной программы подготовки летного состава;
- воспроизводимый функционал систем ВС должен в полной мере обеспечивать выполнение всех нормальных и аварийных процедур, предусмотренных для тренировки в рамках утвержденной программы подготовки летного состава.

Работа систем в нормальных и аварийных ситуациях должна имитироваться как минимум с учетом следующих требований:

- системы ВС должны, в достаточной для тренировки согласно утвержденной программы тренировок летного состава, мере точно имитировать работу систем конкретного самолета или класса ВС, включая взаимодействие между системами, при имитации действий экипажа на земле и в полете;

- работа систем УИП должна быть подтверждена данными об этих системах, предоставленными производителем ВС или изготовителем оборудования;
- при включении систем, их функционирование и отклик на органы управления системой должны правильно имитироваться УИП без ввода дополнительных команд с рабочего места инструктора.

Автоматы защиты сети должны быть смоделированы с учетом следующих минимальных требований:

- имитация АЗС, влияющих на показания приборов в кабине пилотов и выполнение нормальных и аварийных процедур должна быть выполнена функционально точно. АЗС, применение которых не предусмотрено программой подготовки летного состава, может быть выполнено не функционально или даже с использованием фотографических изображений;
- имитация АЗС для 5 класса УИП не требуется, так как при тренировке по выводу из СПП использование АЗС не требуется.

Показания приборов должны имитировать, как минимум, следующее:

- показания приборов имитируемого ВС или класса ВС должны автоматически реагировать на перемещение всех рычагов управления ВС, а также на изменении условий имитируемой внешней среды и имитацию обледенения;
- значения показаний приборов должны индицироваться в единицах измерения соответствующих типу или классу имитируемого ВС.

Системы связи и навигации должны имитировать, как минимум следующее:

- радиосвязное и навигационное оборудование, а так же аварийная и предупредительная сигнализации на УИП должны соответствовать используемому на типе или классе имитируемого ВС;
- данное оборудование должно быть установлено соответственно имитируемому классу ВС и функционировать в достаточной степени, для отработки всех учебных задач в соответствии с утвержденной программой подготовки летного состава.

Имитация противообледенительной системы должна удовлетворять следующим минимальным критериям:

- установленные противообледенительные системы должны соответствовать типу или классу имитируемого ВС и быть полностью функциональны;
- возможно использование упрощенных моделей для имитации обледенения крыла, СУ и ППД;
- при имитации обледенения должна присутствовать возможность имитации ухудшения аэродинамических характеристик и закупорки приемников полного и статического давления;
- должно имитироваться влияние включения противообледенительной системы на СУ (и если необходимо на другие системы ВС).

Для 5го класса УИП имитация противообледенительной системы и ее эффектов не требуется, так как данный тип УИП предназначен только для тренировки летного состава выводу из СПП и программой подготовки не предусмотрена тренировка в условиях обледенения. Если тренировка летного состава по выводу из СПП на конкретном типе ВС, предусматривает тренировку вывода из СПП в условиях обледенения, должны применяться требования, указанные выше для 1го и 2го классов УИП.

Для 3го и 4го классов УИП должны применяться следующие требования к уровню имитации систем ВС:

- системы ВС должны точно имитировать работу систем конкретного типа ВС, включая взаимодействие между системами, при имитации действий экипажа на земле и в полете, при выполнении нормальных и аварийных процедур;
- работа систем УИП должна быть подтверждена данными об этих системах, предоставленными производителем ВС или изготовителем оборудования;
- при включении систем, их функционирование и отклик на органы управления системами должны правильно имитироваться УИП без ввода дополнительных команд с рабочего места инструктора.

Работа систем в нормальных и аварийных ситуациях должна имитироваться как минимум с учетом следующих требований:

- системы ВС должны точно имитировать работу систем конкретного типа ВС, включая взаимодействие между системами, при имитации действий экипажа на земле и в полете, в нормальных и аварийных ситуациях;
- работа систем УИП должна быть подтверждена данными об этих системах, предоставленными производителем ВС или изготовителем оборудования;
- при включении систем, их функционирование и отклик на органы управления системой должны правильно имитироваться УИП без ввода дополнительных команд с рабочего места инструктора.

Все АЗС, которые могут использоваться при прохождении утвержденной программы подготовки летного состава должны быть функционально точно имитированы.

Показания приборов должны имитировать, как минимум, следующее:

- показания приборов имитируемого ВС должны автоматически реагировать на перемещение всех рычагов управления ВС и его систем, а так же на изменении условий имитируемой внешней среды, имитацию атмосферных возмущений и имитацию обледенения;
- значения показаний приборов должны индицироваться в единицах измерения соответствующих типу имитируемого ВС.

Системы связи и навигации должны имитировать, как минимум следующее:

- радиосвязное и навигационное оборудование, а так же аварийная и предупредительная сигнализации на УИП должны полностью соответствовать используемому имитируемому ВС;
- данное оборудование должно быть установлено и функционировать в точном соответствии имитируемому ВС, для отработки всех учебных задач в соответствии с утвержденной программой подготовки летного состава.

Имитация противообледенительной системы должна удовлетворять следующим минимальным критериям:

- установленные противообледенительные системы должны соответствовать конкретному типу имитируемого ВС и быть полностью функциональны;
- модели для имитации обледенения крыла, СУ и ППД должны полностью имитировать реальное ВС, при попадании в условия обледенения;
- при имитации попадания в условия обледенения должны достоверно имитироваться ухудшения аэродинамических характеристик, и возможность закупорки приемников полного и статического давления;
- должно в достаточной мере точно имитироваться влияние включения противообледенительной системы на СУ (и если необходимо на другие системы ВС).

### 3.5 Требования к звуковым эффектам

Имитация звуковых эффектов не является важным критерием оценки УИП, но все же может иметь достаточно большое значение, при проведении тренировки по некоторым видам программ подготовки летного состава.

УИП 1го и 2го классов используются только для отработки порядка выполнения полетных процедур и из-за малой значимости звуковых эффектов, при проведении такого рода подготовки летного состава, на УИП данных классов, применяемые к ним требования будут объединены.

Тренировки летного состава, предусмотренные программами подготовки на УИП 3го, 4го и 5го классов могут включать в себя упражнения, при выполнении которых, наличие правильной имитации звуковых эффектов может влиять на восприятие пилотом окружающей обстановки и понимание происходящих с ВС процессов. Поэтому к УИП данных классов применяются гораздо более жесткие требования, но они, с определенными оговорками для некоторых классов могут быть объединены.

Имитация звуковых эффектов для 1го и 2го классов УИП должна отвечать следующим минимальным требованиям:

- должны правильно имитироваться значительные шумы и звуки, которые присутствуют в кабине летного экипажа, характерные для имитируемого класса или типа ВС (имитация звуков в аварийной ситуации может быть ограничена только аварийной звуковой сигнализацией);
- шумы планера и двигателя ВС должны имитировать изменение режима работы СУ и изменение приборной скорости полета, а так же звуки, характерные для действий пилота или инструктора, для имитируемого типа или класса ВС;
- имитация звуков при аварии или превышении установленных для имитируемого типа или класса ВС ограничений может быть репрезентативной;

- имитация звуков окружающей обстановки и изменение метеоусловий не требуется, но если они имеются, то должны соответствовать имитируемым условиям внешней среды;

- регулировка громкости должна быть снабжена индикатором уровня громкости эффектов в кабине экипажа имитируемого типа или класса ВС;

- имитация направленности звуковой сцены не требуется.

Имитация звуковых эффектов для 3го, 4го и 5го классов УИП должна отвечать следующим минимальным требованиям:

- должны правильно и точно имитироваться все шумы и звуки, которые присутствуют в кабине летного экипажа, характерные для имитируемого типа ВС, которые могут присутствовать в рамках утвержденной программы подготовки летного состава (данный пункт не относится к УИП 5го класса, так как этот класс предназначен для тренировки летного состава выводу из СПП и точная имитация звуковой сцены в данном случае не является критичным фактором);

- шумы планера и двигателя ВС должны точно имитировать все изменения режима работы СУ и изменение приборной скорости полета, а так же звуки, характерные для действий пилота или инструктора в нормальных и аварийных ситуациях, для имитируемого типа ВС;

- имитация звуков окружающей обстановки и изменений метеоусловий должны точно соответствовать имитируемым условиям внешней среды (данный пункт не относится к УИП 5го класса, так как этот класс предназначен для тренировки летного состава выводу из СПП и точная имитация звуков внешней среды и метеоусловий в данном случае не являются критичным фактором);

- регулировка громкости должна быть снабжена индикатором уровня громкости эффектов в процентах от реальной громкости имитируемых эффектов в кабине экипажа имитируемого типа ВС. Полная громкость должна соответствовать громкости в кабине имитируемого ВС согласно полученным при испытаниях данным (для УИП 5го класса достаточно только наличия регулятора громкости звуковых эффектов);

- имитация звуков бафтинга при сваливании должна воспроизводиться как можно точнее имитируемому типу ВС;
- обязательна имитация звуков при аварии или превышении установленных для имитируемого ВС ограничений (для 5го класса УИП данная имитация может носить репрезентативный характер из за особенностей программы подготовки летного состава по выводу из СПП);
- направленность звуковой сцены может быть типовой.

### 3.6 Требования к визуальным эффектам

Имитация визуальных эффектов очень важна при проведении всех видов подготовки и переподготовки летного состава ГА, поэтому требования к этому виду имитационных характеристик УИП должны быть подробными и развернутыми.

Поскольку УИП 1го и 2го классов используются, согласно программ подготовки, только для отработки простых элементов и процедур летного состава и не предусматривают проведения углубленной летной подготовки с полной имитацией полета, то требования к ним, с точки зрения визуальных эффектов, являются довольно низкими и могут быть объединены.

УИП 3го и 4го классов используются для проведения окончательной подготовки и проведения проверок летного состава. Поэтому, предъявляемые к ним требования в области имитации визуальных эффектов достаточно высоки, но могут быть, с некоторыми оговорками объединены.

Для 1го и 2го классов УИП минимальными требования к имитации визуальных эффектов являются:

- имитация изображения условий окружающей среды может быть выполнена в репрезентативной форме и должна иметь лишь текстурированное изображение соответствующих элементов достаточное для использования УИП в рамках утвержденной программы подготовки летного состава;
- имитационные возможности системы визуальных эффектов в горизонтальной и вертикальной плоскостях должны обеспечивать возможность пилотирования по приборам и возможность перехода на визуальное пилотирование, при имитации захода с прямой по приборам;
- для каждого тренируемого пилота должно обеспечиваться поле обзора, как минимум 45 градусов в горизонтальной плоскости 30 градусов в вертикальной плоскости (в случае если для данного типа или класса

имитируемого ВС нет других, более жестких ограничений, исходя из конструкции);

- минимальное технологическое расстояние от пилота до экранов наблюдения за внекабинной обстановкой, должно быть не менее расстояния от пилота до любого прибора на передней приборной панели;

- разрешающая способность, яркость и коэффициент контрастности всех используемых дисплеев должны быть адекватны для беспрепятственного выполнения всех учебных задач, согласно утвержденной программы подготовки летного состава;

- коэффициент контрастности и яркость точечного источника света должны быть достаточны для беспрепятственного выполнения всех учебных задач, согласно утвержденной программы подготовки летного состава;

- для 1го и 2го классов УИП отсутствуют требования для имитации индикации на лобовом стекле (HUD) и к бортовой системе технического зрения с расширенными возможностями, так как использование данных устройств не предусмотрено программой подготовки летного состава на тренажерах данного класса;

- визуальные эффекты должны иметь возможность имитации восприятия видимого участка земной поверхности в пределах, достаточных для отработки всех задач, предусмотренных утвержденной программой подготовки летного состава, для УИП такого класса.

Для 3го и 4го классов УИП минимальными требованиями к имитации визуальных эффектов являются:

- имитация изображения условий окружающей среды должна иметь непрерывную зону обзора с эффектом бесконечной перспективы, выполненную с текстурированным изображением для обоих пилотов;

- поле обзора должно обеспечивать видимость, как минимум 120 градусов по горизонтали и 30 градусов по вертикали для УИП 3го класса;

- поле обзора должно обеспечивать видимость, как минимум 200 градусов по горизонтали и 45 градусов по вертикали для УИП 4го класса, с

возможностью выполнения сложных маневров захода на посадку, требующих непрерывного наблюдения ВПП;

- коллимированное визуальное изображение, для обоих пилотов должно быть непрерывным;
- система имитации визуальных эффектов не должна иметь оптических дефектов и разрывов, а так же изображений, которые могут создавать нереалистичные визуальные эффекты;
- разрешающая способность дисплея должна быть такой, что бы демонстрировать свободное восприятие тестовой картины, из объектов, с видимыми угловыми размерами, отсчитываемыми от точки положения глаз пилота и не превышающими [45] 2ух угловых минут, для УИП 4го класса и 4ех угловых минут, для УИП 3го класса (требуется предъявление ЗОС с расчетом разрешающей способности дисплеев);
- имитация точечных источников света должна быть различима, при размере источника света не более 5 угловых минут, для УИП 4го класса и не более 7ми угловых минут, для УИП 3го класса (в ЗОС необходимо подтверждение того, что в испытательном шаблоне использованы огни имитирующие освещение аэродрома);
- минимальный коэффициент контрастности экране дисплеев имитации закабинного пространства должен быть 5:1;
- минимальная величина коэффициента контрастности точечного источника света должна быть 25:1, для УИП 4го класса и 15:1, для УИП 3го класса;
- минимальная яркость точечного источника света должна быть 20 кд/м<sup>2</sup>, для УИП 4го класса и 18 кд/м<sup>2</sup>, для УИП 3го класса;
- минимальная яркость изображения дисплея, измеренная при помощи помощью растрового испытательного шаблона, должна быть 20 кд/м<sup>2</sup>, для УИП 4го класса и 18 кд/м<sup>2</sup>, для УИП 3го класса;
- индикация на лобовом стекле (HUD) (если установлена и ее использование оговорено в утвержденной программе по подготовки летного

состава) должна быть способна имитировать все предписанные возможности для каждой процедуры полета в нормальных и аварийных ситуациях;

- бортовая система технического зрения с расширенными возможностями визуализации (EFVS) [45] (если такая установлена и ее использование оговорено в утвержденной программе по подготовки летного состава) для 4го класса УИП, должна иметь соответствующие индикаторы и системы сигнализации, иметь полное аппаратное и программное обеспечение и функционировать так же, как на имитируемом типе ВС;

- изображение с бортовой системы технического зрения должно для 4го класса УИП, дублироваться на рабочем месте инструктора;

- минимальное количество имитируемых аэропортов, при использовании системы технического зрения для 4го класса УИП, должно быть не менее трех и должно быть способно имитировать точный заход на посадку по приборам и неточный заход на посадку с использованием системы вертикальной навигации ВС (если ее использование оговорено в утвержденной программе подготовки летного состава);

- бортовая система технического зрения с расширенными возможностями визуализации (EFVS) [45] (если такая установлена и ее использование оговорено в утвержденной программе по подготовки летного состава) для 3го класса УИП должна иметь соответствующие индикаторы и системы сигнализации, иметь полное аппаратное и программное обеспечение и функционировать так же или эквивалентно, как на имитируемом типе ВС;

- минимальное количество имитируемых аэропортов, при использовании системы технического зрения, для 3го класса УИП, должно быть не менее одного и должно быть способно имитировать точный заход на посадку по приборам и неточный заход на посадку с использованием системы вертикальной навигации ВС (если ее использование оговорено в утвержденной программе подготовки летного состава);

- для 3го класса УИП достаточна установка одного индикатора системы технического зрения с четким отображение изображения на рабочем месте пилотирующего пилота;

- для 3го и 4го классов УИП необходима правильная имитация видимого участка земли и пространственного положения ВС на финальном этапе захода на посадку с имитацией видимости по 2ой категории захода на посадку ИКАО (300м).

Для 5го классов УИП минимальными требования к имитации визуальных эффектов являются:

- имитация изображения условий окружающей среды должна иметь непрерывную зону обзора, выполненную с текстурированным изображением для обоих пилотов;

- поле обзора должно обеспечивать видимость, как минимум 200 градусов по горизонтали и 40 градусов по вертикали, с возможностью выполнения сложных маневров захода на посадку, требующих непрерывного наблюдения ВПП;

- коллимированное визуальное изображение не требуется, но параллакс должен составлять менее 10 градусов для каждого пилота, относительно точек зрения пилотов;

- система имитации визуальных эффектов не должна иметь оптических дефектов и разрывов, а так же изображений, которые могут создавать нереалистичные визуальные эффекты и иллюзии;

- разрешающая способность дисплея должна быть такой, что бы продемонстрировать свободное восприятие тестовой картины, из объектов, с видимыми угловыми размерами, отсчитываемыми от точки положения глаз пилота, не превышающими [45] 4ех угловых минут (требуется предъявление ЗОС с расчетом разрешающей способности дисплеев);

- имитация точечных источников света должна быть различима, при размере источника света не более 8 угловых минут (в ЗОС необходимо

подтверждение того, что в испытательном шаблоне использованы огни имитирующие освещение аэродрома);

- минимальный коэффициент контрастности экране дисплеев имитации закабинного пространства должен быть 5:1;
- минимальная величина коэффициента контрастности точечного источника света должна быть 10:1;
- минимальная яркость точечного источника света должна быть 18 кд/м<sup>2</sup>;
- минимальная яркость изображения дисплея, измеренная при помощи помощью растрового испытательного шаблона, должна быть 14 кд/м<sup>2</sup>;
- имитация индикации на лобовом стекле (HUD) не требуется, так как ее использование, при тренировке летного состава выводу из СПП не предусматривается программой подготовки летного состава;
- имитация бортовой системы технического зрения с расширенными возможностями визуализации (EFVS) [45] не требуется, так как ее использование, при тренировке летного состава выводу из СПП не предусматривается программой подготовки летного состава.

### 3.7 Требования к системе имитации акселерационных эффектов УИП

Имитация воспроизведения акселерационных эффектов не является обязательной для УИП 1го и 2го классов, так как они предназначены только для отработки процедур в нормальных и аварийных ситуациях и не применяются для тренировки техники пилотирования, согласно утвержденных программ подготовки летного состава. Но, если системы имитации акселерационных эффектов установлены на УИП такого класса дополнительно, то необходимо проведение специальной оценки этих систем, для того что бы доказать, что их использование не может оказать отрицательного эффекта при подготовке летного состава.

Минимальные требования к имитационным характеристикам акселерационных эффектов, для УИП 3го класса включают в себя следующее:

- имитируемые акселерационные эффекты должны восприниматься пилотами как ощутимые и соответствующие, для имитируемого типа ВС;
- акселерационные эффекты должны постоянно создавать правильные ощущения движения ВС, в рамках утвержденной программы подготовки летного состава;
- методы создания акселерационных эффектов конкретно не регламентируются;
- имитируемые ощущения могут быть представлены менее отчетливо, при проведении тренировок не по конкретному виду обучения. Интенсивность ощущений движения при этом может быть снижена;
- имитация акселерационных эффектов, в бти степенях свободы, должна быть репрезентативной имитируемому ВС (например, ускорение при контакте с ВПП должно зависеть от скорости снижения, непосредственно перед контактом);

- система подвижности должна иметь возможность воспроизводить акселерационные эффекты по Зем осям на уровне тех, которые может создавать система подвижности с бую степенями свободы и обеспечивать репрезентативную имитацию воспроизведения попадания ВС в режимы сваливания и СПП, при тренировке летного состава согласно утвержденной программы подготовки. Интенсивность имитации таких эффектов может быть частично уменьшена, а восприятие движения ВС может быть снижено;
- имитация эффектов движения должна иметь характерные вибрации, тряску и толчки, возникающие при эксплуатации ВС. Но сила воздействия таких эффектов может быть снижена. Данные эффекты должны воспроизводиться по Зем осям;
- должны воспроизводиться эффекты связанные с рулением ВС по аэродрому и рулежным дорожкам возникающие в продольном и боковом каналах в результате выполнения разворотов и ускорений, а так же эффекты тряски от неровностей на перроне, деформации стоек шасси, скольжения носового колеса, разрушения пневматиков, загрязнением подстилающей поверхности и работы антиюзовой автоматике, наезда на огни осевой линии РД и ВПП;
- при движении на земле и в полете, должны воспроизводиться характерные толчки, связанные с выпуском интерцепторов и закрылков, с включением реверса тяги двигателей, с выпуском и уборкой шасси, при атмосферных возмущениях (при имитации болтанки), а так же тряска при приближении к сваливанию (если применимо), при достижении критического числа Маха (скоростной бафтинг) и тряска от эффекта тяги, при включенных тормозах;
- толчки от касания земли основными и носовой/хвостовой стойками должны имитировать поперечные и продольные перегрузки, при посадке с имитацией бокового ветра;
- должны имитироваться акселерационные эффекты от неисправностей, отказов и повреждений двигателя, ассиметричная тяга СУ, удары по хвостовому оперению и гондолам СУ, эффекты выпуска турбины, приводимой в действие

набегающим потоком и другие неисправности, отработка выполнения которых оговорена в утвержденной программе подготовки летного состава;

- для винтовых ВС должна имитироваться вибрация от работы СУ на земле и в полете.

Минимальные требования к имитационным характеристикам акселерационных эффектов, для УИП 4го и 5го классов являются очень близкими, так как оба класса предусмотрены для отработки техники пилотирования и должны иметь высокие имитационные характеристики акселерационных эффектов. Поэтому требования к этим двум классам УИП будут объединены, с оговорками для 5го класса УИП, так как он предназначен для тренировки летного состава выводу из СПП и имеет более высокие требования к величине и длительности имитации перегрузок. Данные требования включают в себя следующее:

- имитируемые акселерационные эффекты должны восприниматься пилотами как ощутимые и соответствующие, для имитируемого типа ВС по бти степеням свободы;

- акселерационные эффекты должны постоянно создавать правильные ощущения движения ВС, в рамках утвержденной программы подготовки летного состава;

- имитация акселерационных эффектов, в бти степенях свободы, должна быть репрезентативной имитируемому ВС (например, ускорение при контакте с ВПП должно зависеть от скорости снижения, непосредственно перед контактом);

- имитация акселерационных эффектов в бти степенях свободы, при отработке сваливания ВС должны быть репрезентативными поведению имитируемого ВС. Так же для 5го класса УИП должна присутствовать возможность имитации попадания в СПП и выводу из них, с репрезентативным отражением возникающих при этом перегрузок по трем осям;

- система подвижности должна иметь возможность воспроизводить акселерационные эффекты по 3ем осям на уровне тех, которые может создавать

система подвижности с 6ю степенями свободы и обеспечивать репрезентативную имитацию воспроизведения попадания ВС в режимы сваливания и СПП (только для 5го класса УИП), при тренировке летного состава согласно утвержденной программы подготовки;

- имитация эффектов движения должна иметь характерные вибрации, тряску и толчки, возникающие при эксплуатации ВС. Сила воздействия таких эффектов должна точно отражать поведение настоящего ВС. Данные эффекты должны воспроизводиться по 3ем осям;

- должны воспроизводиться эффекты связанные с рулением ВС по аэродрому и рулежным дорожкам возникающие в продольном и боковом каналах в результате выполнения разворотов и ускорений, а так же эффекты тряски от неровностей на перроне, деформации стоек шасси, скольжения носового колеса, разрушения пневматиков, загрязнением подстилающей поверхности и работы антиюзовой автоматики, наезда на огни осевой линии РД и ВПП;

- при движении на земле и в полете, должны воспроизводиться характерные толчки, связанные с выпуском интерцепторов и закрылков, с включением реверса тяги двигателей, с выпуском и уборкой шасси, при атмосферных возмущениях (при имитации болтанки), а так же тряска при приближении к сваливанию (если применимо), при достижении критического числа Маха (скоростной бафтинг) и тряска от эффекта тяги, при включенных тормозах;

- тряска, при приближении к сваливанию, должна возникать на скоростях и при условиях, при которых она возникает на реальном ВС;

- толчки от касания земли основными и носовой/хвостовой стойками должны имитировать точные поперечные и продольные перегрузки, при посадке с имитацией бокового ветра или при посадке с боковым смещением;

- должны имитироваться акселерационные эффекты от неисправностей, отказов и повреждений двигателя, ассиметричная тяга СУ, удары по хвостовому оперению и гондолам СУ, эффекты выпуска турбины, приводимой в действие

набегающим потоком и другие неисправности, отработка выполнения которых оговорена в утвержденной программе подготовки летного состава;

- при проведении испытаний, система подвижности должна показать возможность имитировать входные сигналы с минимальной частотой от 20Гц;
- эффекты тряски, при приближении к сваливанию и при сваливании, должны демонстрироваться от порога чувствительности до имитации, характерной для данного типа ВС, тряски на критическом угле атаки. Данная имитация должна включать в себя возможность тряски по трем осям с типовыми амплитудой и частотой, характерной для имитируемого типа ВС;
- имитация вибрации приборов необходима только для УИП 4 класса, и ее наличие или отсутствие (если она считается важной) может быть согласовано с ВГА;
- для винтовых ВС должна имитироваться вибрация от работы СУ на земле и в полете.

### 3.8 Прочие требования к УИП разных классов

К прочим требованиям УИП разных классов относятся требования к имитации окружающей обстановки и УВД, требования к имитации внешних условий среды, требования к рабочему месту инструктора, требования к автоматическим сводкам погоды, к наличию трафика на аэродроме и в воздухе, фоновому радиообмену, базам навигационных данных, сдвигу ветра, воспроизведению картины рельефа местности, производительности компьютера УИП и транспортной задержке.

Рабочее место инструктора УИП всех классов должно быть установлено таким образом, что бы обеспечивать беспрепятственный обзор приборных досок и лобовых стекол пилотов, или же должно отображать показания всех приборов пилотов и картину моделируемой окружающей обстановки видимой экипажем, на дисплее рабочего места инструктора [30]. Со своего рабочего места инструктор должен иметь возможность слышать все переговоры экипажа и наблюдать за всеми манипуляциями экипажа с органами управления и системами имитируемого ВС, которые подразумевается использовать во время тренировки по утвержденной программе подготовки летного состава. Для УИП оснащенных системой имитации акселерационных эффектов, рабочее место инструктора должно быть закреплено и иметь систему привязных ремней, обеспечивающую безопасность во время проведения тренировок. Рабочее место инструктора должно быть оборудовано всем необходимым инструментарием для имитации аварийных и нештатных ситуаций, изменения имитационных характеристик условий внешней среды, имитации попадания в сложные метеоусловия, а так же иметь возможность останавливать полет, выполнять сброс введенных неисправностей и изменять как место, так и пространственное положение имитируемого ВС. Рекомендуется установка записывающей аппаратуры для возможности просмотра допущенных ошибок, при проведении послеполетных

разборов. На рабочем месте инструктора должны отражаться эксплуатационные характеристики имитируемого ВС, в соответствии с конкретной конфигурацией, и все выходы за летно-технические ограничения должны отображаться в удобной для использования инструктором форме.

Для тренировки по выводу из СПП на УИП 4го и 5го классов, у инструктора должна присутствовать возможность ввода попадания ВС в СПП предусмотренные утвержденной программой подготовки летного состава.

Для УИП 3го, 4го и 5го классов, на рабочем месте инструктора должна присутствовать возможность проведения комплексного автоматического тестирования программной и аппаратной части УИП для возможности быстрого и эффективного определения функционального состояния УИП.

Производительность компьютера УИП должна обеспечивать адекватный уровень воспроизведения имитационных характеристик, для проведения подготовки пилотов на УИП данного класса в соответствии с утвержденной программой подготовки летного состава.

Время транспортной задержки для УИП 1го и второго классов не должно превышать 200мс., а для УИП 3го, 4го и 5го классов 100мс. для систем подвижности и приборных систем и не более 120мс. для систем визуализации.

Для УИП 3го и 4го классов должна быть предусмотрена возможность имитации автоматических сводок погоды, трафика на аэродроме и в воздухе и окружающего УВД, фонового радиообмена в рамках необходимых для тренировки согласно утвержденной программы подготовки летного состава.

Имитации сдвига ветра и картины рельефа местности должны обеспечивать возможность тренировки пилотов согласно утвержденной программы подготовки летного состава для каждого класса УИП.

### Выводы по главе 3

Проблематика сертификации современных и перспективных УИП является сложным техническим вопросом, для решения которого необходимо не только разделение УИП на классы по степени их подобия реальному ВС, но и четкое формулирование требований к каждому классу УИП относительно всех его технических характеристик.

В третьей главе сформулирована необходимость разделения всех типов УИП на 5 классов и дано исчерпывающее обоснование такой классификации. Так же сформулированы требования к каждому классу УИП относительно минимальных имитационных характеристик кабины экипажа, органов управления, визуальных и звуковых эффектов, самолетных систем, рабочему месту инструктора, транспортной задержке, требования к системе подвижности и математической модели динамики полета и работы СУ.

Четкая формулировка необходимых минимальных имитационных характеристик для каждого класса УИП дает возможность производителям таких устройств грамотно формулировать техническое задание, на этапе проектировки УИП, а так же способствует правильной и прозрачной формулировке методов проведения валидационных испытаний и присвоения класса УИП.

В главе 1 таблица 1.2 приведена рекомендуемая ИКАО сводная матрица использования УИП, по имитационным характеристикам, для подготовки летного состава ГА по определенным видам тренировок, при разделении УИП на 7 классов. Но, из-за того, что такое разделение по классам на практике не используется ни в одной стране мира, а так же из-за не соответствия разделения на классы свидетельств авиационного персонала в России всем требованиям ИКАО и для приведения представленной методики сертификации УИП к мировым стандартам, в начале 3ей главы приведена сводная матрица использования УИП, по уровням имитационных характеристик, с разделением на

5 классов (таблица 3.1.1). Данная таблица позволяет определить возможность выполнения учебных задач согласно утвержденной программы подготовки летного состава, на УИП разных классов, согласно их имитационных характеристик.

## **Глава 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СЕРТИФИКАЦИИ УСТРОЙСТВ ИМИТАЦИИ ПОЛЕТА ДЛЯ ТРЕНИРОВКИ ЛЕТНОГО СОСТАВА ВЫВОДУ ИЗ СЛОЖНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОЛОЖЕНИЙ**

### **4.1 Методика проведения валидационных испытаний**

Валидационные испытания – это такие испытания объекта исследования, которые могут дать высокую уверенность в том, что УИП, будет последовательно, точно и правильно воспроизводить ВС и будет отвечать заранее установленным критериям приемлемости.

Как правило, квалификационную оценку УИП проводит группа специалистов, возглавляемая пилотом-инспектором ВГА, в состав которой также входят инженеры и пилоты, имеющие право на выполнение полетов на самолетах данного типа. Необходимо чтобы члены группы, проводящей оценку, обладали требуемыми навыками, опытом и специальными знаниями.

Точность воспроизведения функций систем ВС должна проверяться с рабочих мест каждого члена экипажа. Это включает порядок действий с использованием РЛЭ и карт контрольных проверок. Должна проводиться оценка пилотажных характеристик и технических характеристик работы систем УИП в том плане, как они соответствуют реальному самолету, а также воспроизводимым на УИП эффектам (например, визуальным эффектам и акселерационным эффектам) и функциям вспомогательных систем (например, с рабочего места инструктора (далее - РМИ)).

Следует проводить оценку тех характеристик УИП, которые имеют важное значение для подготовки и тестирования или проверки членов летных экипажей. Они включают реакцию УИП в продольном и боковом направлениях движения;

летно-технические характеристики на этапах взлета, набора высоты, крейсерского полета, снижения, захода на посадку и посадки; всепогодные полеты, а также проверки систем управления; проверки функций, выполняемых на рабочих местах пилотов, бортинженера и инструктора. Для гарантии правильности функционирования должна также оцениваться работа систем подвижности, визуализации и системы имитации звуковых эффектов.

Характеристики и работа систем УИП должны пройти объективную оценку путем сравнения результатов испытаний УИП с валидационными данными полученными при проведении летных испытаний ВС или из других утвержденных ВГА источников. Результаты валидационных, функциональных и субъективных испытаний, требующиеся для составления руководства по квалификационным испытаниям (далее - QTG), позволяют эксперту по оценке проводить "выборочную проверку" характеристик УИП с целью подтверждения того, что УИП правильно воспроизводит самолет и может успешно использоваться для проведения видов подготовки летного состава, предусмотренных утвержденной программы подготовки пилотов. Без такой "выборочной проверки" с использованием QTG невозможно проверить характеристики УИП в сроки, установленные для его нормативной оценки. Следует ясно понимать, что проверка экспертом с помощью QTG не обеспечивает тщательной проверки качества имитации во всех областях полета и работы систем. Предполагается, что полный цикл испытаний проводится изготовителем УИП и персоналом эксплуатанта УИП перед представлением УИП для проведения валидационной оценки.

Такое "углубленное" тестирование является важнейшей частью полного цикла испытаний и осуществляется с использованием документируемых приемочных процедур, в которых регистрируются результаты проведенных изготовителем испытаний. Такие процедуры позволяют проверить функциональные возможности и эффективность имитации многих характеристик, которые не рассматриваются в QTG. В целях облегчения проверки УИП с использованием QTG для записи результатов каждого валидационного испытания

должно использоваться соответствующее регистрирующее устройство, приемлемое для ВГА. Сделанные во время испытания записи следует сравнить с валидационными данными.

Валидационные испытания должны документироваться в QTG, с учетом следующего:

- В QTG должно быть четкое и ясное описание того, как устанавливается, настраивается и функционирует УИП при проведении каждого испытания. В QTG также требуется использовать управляющую программу для автоматического проведения испытаний УИП. Не предполагается и не допускается проведение испытаний каждой подсистемы УИП в отдельности. Чтобы гарантировать соответствие полной системы УИП предписанным стандартам, должны проводиться комплексные испытания УИП при наличии входных сигналов на рычагах управления пилота.

- В QTG обязательно должен быть представлен пояснительный материал, в котором указывается, как должно проводиться то или иное испытание (или серия испытаний), какие параметры задействованы/не задействованы/имеют ограничения, используется ли замкнутый или незамкнутый контур управления.

- Должна обеспечиваться возможность проведения в ручном режиме всех валидационных испытаний QTG, основанных на данных летных испытаний, чтобы можно было проверить результаты автоматического тестирования. Непродолжительные по времени испытания с входными сигналами простой формы должны легко проводиться в ручном режиме.

- Данные летных испытаний, которые отражают быстрые изменения измеряемых параметров, могут потребовать инженерной оценки при определении пригодности УИП. Такая оценка не должна ограничиваться одним параметром. Для полной оценки должны представляться все соответствующие параметры, связанные с конкретным маневром или режимом полета. В тех случаях, когда по графикам изменения параметров во времени трудно или невозможно сравнить данные УИП с данными ВС, различия должны обосновываться посредством сравнения других переменных параметров оцениваемого режима [45].

- Если предполагается эксплуатация УИП с необходимостью имитации нескольких вариантов двигателей или БРЭО то QTG должно включать дополнительные испытания тренажера с опциями двигателей и БРЭО если это вносит серьезные изменения в технологию работы экипажа или если двигатели сильно отличаются по характеристикам.

Цель перечисленных проверок состоит в том, чтобы как можно более объективно провести оценку УИП. Важно также определять приемлемость УИП для пилотов. Поэтому должны проводиться валидационные испытания УИП, а также функциональные и субъективные испытания. Валидационные испытания проводятся для объективного сравнения данных УИП и ВС, с целью гарантировать их соответствие имеющимся допускам. Функциональные испытания УИП - это объективные испытания систем УИП, проводимые на основе документации ВС. Субъективные испытания предназначены для оценки возможностей использования УИП в рамках типовой программы подготовки членов летных экипажей и для проверки правильности работы и характеристик управления УИП.

После проведения квалификационной оценки УИП полномочный орган, ответственный за надзор за деятельностью пользователя УИП, утверждает, какие учебные задачи можно выполнять на данном тренажерном устройстве. Такое заключение должно основываться на результатах квалификационной оценки УИП, наличии соответствующего УИП, опыте пользователя УИП и программе подготовки персонала, в рамках которой планируется использовать УИП, а также на опыте и квалификации пилотов, которых планируется обучать. В результате этого процесса выдается разрешение на использование УИП в рамках утвержденной программы подготовки персонала.

Если в процессе оценки УИП возникают трудности, связанные с каким-либо конкретным валидационным испытанием, то его можно повторить для того, чтобы выяснить, является ли причиной трудностей с проведением испытания оборудование или ошибка персонала. Если после этого проблема с испытаниями

не решена, то эксплуатанту УИП следует быть готовым предложить результаты альтернативного испытания, связанные с проблемным испытанием.

При необходимости признания квалификационной оценки УИП, проведенной другим государством, следует руководствоваться документом 9841 ИКАО «Руководство по утверждению организаций по подготовке летных экипажей» [34], в котором содержатся инструктивные указания относительно признания другими государствами результатов квалификационной оценки УИП, проведенной каким-либо государством, включая первоначальную квалификационную оценку УИП. Альтернативой использованию данного документа, для признания квалификационной оценки другого государства, может являться только проведение новой квалификационной оценки согласно правилам государства эксплуатанта УИП.

## **4.2 Методика валидационных испытаний системы имитации акселерационных эффектов в частотной области**

Для управления состоянием самолета пилоты непрерывно используют информационные сигналы, поступающие с приборной и внешней визуальной информацией, а так же с ответной реакцией на перемещение органов управления всего планера ВС. Следовательно, система имитации акселерационных эффектов УИП должна соответствовать объективным критериям летно-технических характеристик, а также должна обеспечиваться возможность ее настройки на воспроизведение акселерационной информации в месте расположения кресла пилота, чтобы воспроизводились линейные и угловые ускорения ВС, субъективно ощущаемые пилотом при выполнении предписанного минимального набора маневров. Кроме того, реакция системы воспроизведения акселерационных воздействий должна быть повторяемой.

Испытание системы имитации акселерационных эффектов проводится с целью объективного измерения частотной реакции всей системы имитации акселерационных эффектов и для определения взаимосвязанных степеней свободы системы имитации акселерационных эффектов. Испытания, частотных характеристик системы имитации акселерационных эффектов, сосредоточены только на механических характеристиках аппаратного оборудования. Ощущаемые пилотом движения в значительной степени зависят от алгоритма воспроизведения акселерационных воздействий и его реализации в УИП. В ходе этого испытания количественно определяются реакции системы воспроизведения акселерационных воздействий в контуре от выходного сигнала имитатора динамики полета до реакции платформы имитации акселерационных эффектов.

Характеристики системы воспроизведения акселерационных воздействий оказывают прямое влияние на восприятие пилотом управляющих воздействий при тренировке на УИП, особенно в ручном режиме пилотирования. Оценка

пилотом адекватности воспроизведения движения УИП в значительной мере зависит от воспринимаемых ощущений моделируемого самолета, и, кроме того, на эти ощущения оказывает влияние сама система воспроизведения акселерационных воздействий. Основным элементом в системе имитации акселерационных воздействий является алгоритм управления перемещением подвижной платформы, представляющий собой набор блоков управления, преобразующих выходные сигналы с имитатора динамики полета в команды на перемещение платформы системы имитации акселерационных эффектов.

Схема работы алгоритма воспроизведения акселерационных эффектов приведена на рисунке 4.1.

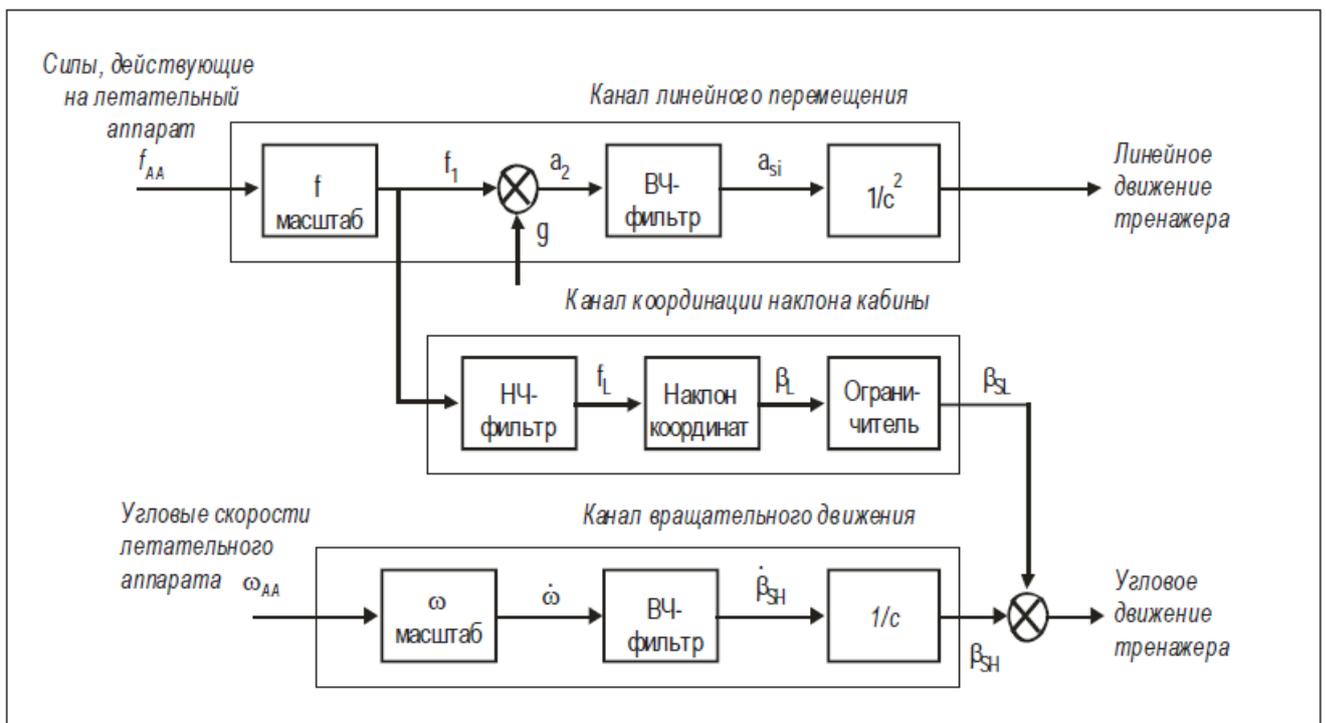


Рисунок 4.1 - Схема работы алгоритма воспроизведения акселерационных эффектов.

На рис. 4.1 ВЧ-фильтр и НЧ-фильтр обозначают соответственно фильтр верхних частот и фильтр нижних частот. Масштабные коэффициенты  $f$  и  $\omega$  выбираются таким образом, чтобы при ослаблении входных сигналов подвижная платформа не выходила за установленные механические ограничения.

Для того чтобы УИП воспроизводило ощущения, характерные воспринимаемым на ВС, параметры алгоритма управления перемещением

подвижной платформы обычно настраивает проводящий квалификационную оценку пилот во время приемочных испытаний при различных моделируемых режимах полета. Как правило, для настройки системы воспроизведения акселерационных воздействий используются субъективные ощущения пилота. Однако в результате изменчивых предпочтений среди пилотов, а также изменчивости ощущений одного и того же пилота в разные дни это не обеспечивает последовательно достоверную и воспроизводимую настройку системы воспроизведения акселерационных воздействий. Исходя из вышесказанного, настройку системы акселерационных эффектов рекомендуется проводить объективным способом, с применением разработанного в данной работе программного обеспечения, описанного во 2ой главе (п. 2.3.2), с приведенным полным текстом программы в приложении 2 настоящей работы.

При проведении данного испытания важно определять исходные сигналы в местоположении пилота в кабине ВС, а не в центре тяжести самолета. Это важно, поскольку именно их ощущает пилот, находящийся на своем рабочем месте. Ответная реакция УИП измеряется в местоположении пилота в УИП. Это дает информацию о преобразовании движений самолета в воспринимаемые пилотом движения кабины УИП, что показано на схеме сигналов на рис. 4.2. Измеренная частотная характеристика системы имитации акселерационных эффектов характеризует взаимозависимость между реакцией платформы имитации акселерационных эффектов, по сравнению с входным сигналом.

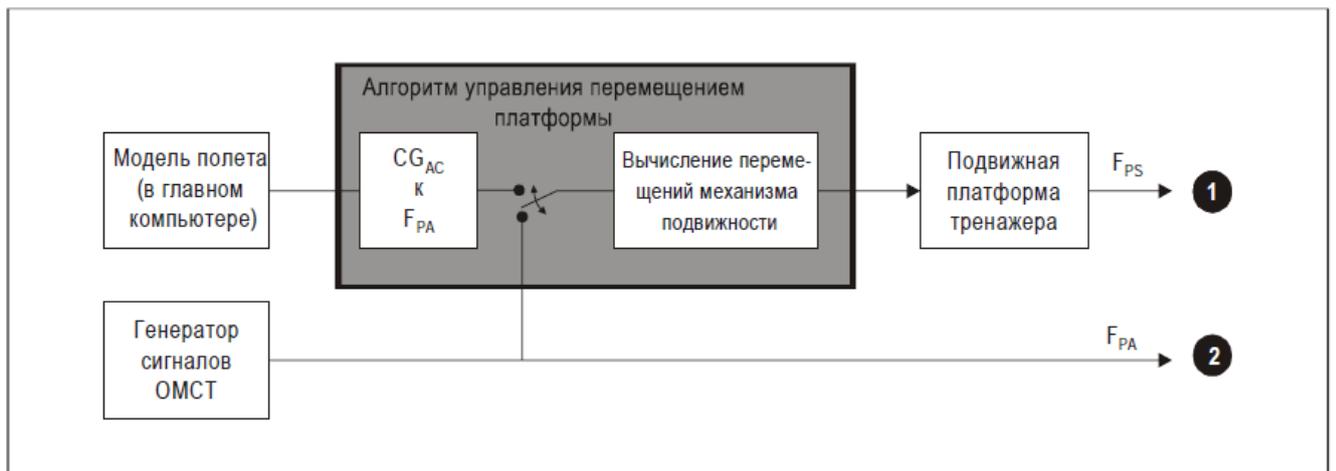


Рисунок 4.2 Схема преобразования выходного сигнала модели динамики полета самолета в ответную реакцию платформы УИП.

В этом случае положение подвижной платформы определяется как совокупность процессов, необходимых для преобразования движений в точке нахождения пилота в кабине ВС в ответную реакцию платформы системы имитации акселерационных эффектов УИП в точке нахождения пилота в кабине УИП. Применительно к эксплуатационному использованию тренажерного устройства, это включает в себя алгоритм воспроизведения акселерационных воздействий, в том числе расчет всех специальных эффектов и бафтинга, обратные преобразования привода и законы управления, необходимые для обеспечения управления движениями платформы в замкнутом контуре. Все эти аспекты учитываются в целом для того, чтобы зафиксировать транспортные задержки, вносимые этими процессами, и задержки в соответствующем компьютерном оборудовании, используемом в системе имитации акселерационных эффектов.

Подвижная платформа УИП представляет собой механическое оборудование, используемое для воспроизведения движения (рис. 1.3). Согласно критерию, лежащему в основе методики проведения объективного испытания системы имитации акселерационных эффектов, для максимально реалистичной имитации движения самолета необходимо, чтобы в ограниченном диапазоне частот, важном для ручного управления, при прямом преобразовании и с отдельными перекрестными связями, модуль всей системы был высоким (близким

к 1), а фаза должна быть небольшой (близкой к 0). Таким образом, объективное испытание системы имитации акселерационных эффектов, проводится для оценки модуля и фазы УИП в определенном частотном диапазоне относительно этого критерия.

В идеальном случае УИП должен воспроизводить вращательное и поступательное движение по мере их возникновения на ВС. Однако, это физически возможно только на УИП 5го класса в связи с ограничениями подвижной платформы УИП 2-4го классов. В результате, для создания эффекта поступательного и вращательного движения ВС поступательные и вращательные движения УИП воспроизводятся в сочетании. Наиболее важными, для методики проведения объективного испытания системы имитации акселерационных эффектов, с точки зрения моделирования движения и восприятия их пилотом были определены следующие частотные характеристики:

Вращательная ответная реакция УИП, вызванная только вращательным движением самолета.

Ответная реакция УИП по перегрузке, вызванной только поступательным движением самолета.

Угловые ускорения УИП, вызванные только поступательным движением самолета.

Поступательная ответная реакция УИП на только вращательное движение самолета.

Первые две зависимости имеют большое значение для точности моделирования движений. В частотном диапазоне, важном для ручного пилотирования, они требуют высокой точности в отношении движений ВС и незначительного искажения фазы. Две другие характеристики обеспечивают получение информации о перекрестном влиянии ответной акселерационной реакции УИП и могут использоваться для создания иллюзии окружающей ВС обстановки.

#### **4.2.1. Методика проведения объективного испытания системы имитации акселерационных эффектов**

Объективное испытание системы имитации акселерационных эффектов должно проводиться отдельно в одной или двух конфигурациях ВС с реализацией настройки алгоритма воспроизведения акселерационных воздействий на земле, а затем в полете. Если на конкретном УИП эти настройки не меняются на земле и в полете, то допускается проведение одной группы испытаний.

Объективные валидационные испытания, описанные ниже, предназначены для квалификационной оценки системы имитации акселерационных эффектов УИП как с точки зрения технических характеристик, так и точности воспроизведения ощущений движения.

Измерение частот. Целью проведения этих испытаний является определение частотных характеристик всей системы воспроизведения акселерационных воздействий для указанных выше четырех характеристик. Частоты входных сигналов для этих измерений приведены в таблице 4.1.

Взаимосвязь между частотой и соответствующим модулем "М" и соответствующей фазой определяет частотную характеристику системы. В рамках объективных испытаний системы имитации акселерационных эффектов необходимо проводить измерение на 12 дискретных частотах для каждой степени свободы. Следует отметить, что по мере накопления опыта проведения таких испытаний для конкретного применения точное число необходимых дискретных частот может измениться.

Испытания должны проводиться путем подачи в точке выходного сигнала имитатора динамики полета синусоидальных входных сигналов с дискретными частотами, преобразованных с учетом местоположения пилота, непосредственно перед расчетами формирования акселерационных воздействий и измерения реакции платформы УИП. Значения двенадцати дискретных частот для этих

испытаний колеблются в диапазоне от 0,100 рад/с до 15,849 рад/с и приведены в таблице 4.1. Взаимосвязь между частотой и соответствующим измеренным модулем и фазой определяет передаточную функцию системы. Во время испытания должны проводиться измерения для каждой степени свободы на двенадцати указанных частотах.

Таблица 4.1 Частоты входных сигналов испытания и необходимые измерения модуля и фазы [33]

№ входного сигнала	Частота (рад/сек)	Частота (Гц)	Амплитуда (м/с <sup>2</sup> )	Модуль -М	Фаза -φ
1	0,100	0,0159	1,00		
2	0,158	0,0251	1,00		
3	0,251	0,0399	1,00		
4	0,398	0,0633	1,00		
5	0,631	0,1004	1,00		
6	1,000	0,1591	1,00		
7	1,585	0,251	1,00		
8	2,512	0,399	1,00		
9	3,981	0,633	1,00		
10	6,310	1,004	1,00		
11	10,000	1,591	1,00		
12	15,849	2,515	1,00		

В данном испытании определяются количественные характеристики реакции системы воспроизведения акселерационных воздействий от выходного сигнала имитатора динамики полета до реакции подвижной платформы. Другие испытания системы имитации акселерационных эффектов, такие как определение реакции системы имитации акселерационных эффектов в зависимости от частоты входного сигнала, сосредоточены только на механических характеристиках аппаратного оборудования системы имитации акселерационных эффектов. Назначение этих испытаний состоит в том, чтобы подготовить записи о количественных характеристиках реакции всей системы имитации

акселерационных эффектов в зависимости от частоты входного сигнала в виде передаточных соотношений для характерных степеней свободы в определенном диапазоне частот. Диапазон должен быть характерным для диапазона режимов ручного управления для конкретного типа самолета и УИП, который определен на время квалификационных испытаний. Измерения в данных испытаниях должны включать комбинированное влияние алгоритма акселерационных воздействий, динамические характеристики платформы системы имитации акселерационных эффектов и транспортную задержку, связанные с воспроизведением акселерационных воздействий и системы управления. В перечень измерений следует включать характерные частотные характеристики, определяющие способность УИП воспроизводить поступательное и вращательное движение самолета, а также перекрестные зависимости. При моделировании продольного ускорения вперед УИП мгновенно ускоряется вперед в продольном направлении, воспроизводя начальное воздействие. Это является прямой передаточной зависимостью. Одновременно с этим носовая часть УИП поднимается вверх в следствии использования низкочастотного фильтра для создания устойчивой характерной силы. Наклон, создаваемый устойчивой характерной нагрузкой, и угловые скорости и ускорения, появляющиеся с ее возникновением, являются взаимосвязанными. Характерная сила необходима для восприятия устойчивой характерной перегрузки на ВС, в то время как угловые скорости и ускорения не возникают на ВС и должны быть минимизированы.

Во время проведения объективного испытания системы имитации акселерационных эффектов для необходимых измерений иницируются степени свободы отдельно для тангажа, крена и рыскания и вводятся модифицированные входные сигналы для продольного, бокового и вертикального движения. Для каждой дискретной частоты входного сигнала, определенной в таблице 4.1, должно указываться измеренное соотношение модуля и фазы. Это может быть сделано вручную (измеряя амплитуду и фазу на результирующих графиках), или с использованием соответствующих цифровых методов.

В то время как в таблице 4.1 указываются частоты, на которых должны выполняться эти измерения, вместо этого могут использоваться комбинации синусоидальных входных сигналов, чтобы сократить общее время испытаний. Если используется такой метод, то необходимо позаботиться о том, чтобы получить правильные результаты.

В зависимости от частоты дискретизации для суммы синусоидальных сигналов на входе и на выходе, потребуется общая длина перспективы входного сигнала от 200 до 300 секунд.

Модуль  $M$  и фаза  $\varphi$  определяются следующим образом:

$M(\omega) = \text{амплитуда выходного сигнала } u(\omega) / \text{амплитуда входного сигнала } i(\omega)$

$\varphi(\omega) = \Delta t \omega 360 / 2\pi$

#### **4.2.2. Методика проведения испытания амплитуды входных сигналов системы имитации акселерационных эффектов**

Ключевой целью испытаний по измерению амплитуды входных сигналов является измерение ответной реакции системы воспроизведения акселерационных воздействий в пределах механических ограничений по перемещению платформы.

Для проведения испытаний системы воспроизведения акселерационных эффектов, в диапазоне важном для ручного пилотирования, должны быть определены амплитуды входных сигналов, характерные для имитируемого ВС.

Испытания системы воспроизведения акселерационных воздействий предназначены для того, чтобы количественно определить ее ответную реакцию на нормальные управляющие входные сигналы при выполнении маневров (т. е. не резкие или чрезмерно сильные управляющие воздействия) с линейной реакцией для сохранения согласованности. Однако приводить систему в действие необходимо таким образом, чтобы ответная реакция измерялась с высоким соотношением сигнала к шуму и без чрезмерного задействования возможных нелинейных элементов в системе воспроизведения акселерационных воздействий.

Регистрация данных измеряемых параметров каждого из испытаний, должна включать модуль и фазу. Модуль обозначает коэффициент амплитуды, равный отношению выходного сигнала к входному сигналу, выраженный в безразмерных величинах в случае прямых передаточных зависимостей и в размерных величинах в случае перекрестных зависимостей. Фаза характеризует запаздывание по частоте между выходным и входным сигналами и выражается в градусах.

Испытания должны проводиться в конфигурации УИП, представляющей алгоритм управления перемещениями платформы во время выполнения полета в определенном режиме. Если параметры алгоритма управления перемещениями платформы отличаются в наземном режиме (например, при рулении или разбеге

при взлете), испытания необходимо повторить для этой конфигурации. Если они должны выполняться, то рекомендуемыми условиями на земле являются скорость руления от 10 уз, до 80 уз.

Для проведения этих испытаний, с генератора сигналов в систему воспроизведения акселерационных воздействий вводится конкретный тест-сигнал, как это показано на рисунке 4.2. Во время этих испытаний система воспроизведения акселерационных воздействий стимулируется тестовыми сигналами, аналогичными выходным сигналам с имитатора динамики полета УИП. Тестовый сигнал представляет переменные состояния самолета. Указанные переменные должны соответствовать обычно используемым в конкретной системе воспроизведения акселерационных воздействий, т. е. если изготовитель УИП использует угловую скорость вместо углового положения, необходимо генерировать соответствующие входные сигналы.

Амплитуды входных сигналов по перегрузке определяются следующим уравнением с использованием амплитуд  $A$ , приведенных в таблице 4.2.2.1:

$$f_{a/c}^{x,y,z}(t) = A \sin(\omega t).$$

Амплитуды входных сигналов вращения, соотношения между угловым положением, угловой скоростью и угловым ускорением представлены в таблице 4.2., а соответствующие им амплитуды в таблице 4.3. Данные уравнения действительны только для частоты " $\omega$ " в рад/с. Эти испытания могут проводиться с входными сигналами углового положения, угловой скорости или углового ускорения, в зависимости от входных сигналов, реализованных в УИП.

Таблица 4.2 Амплитуды входных сигналов вращения [33]

	Тангаж	Крен	Рыскание
Угловое положение	$\theta_{a/c}(t) = A \sin(\omega t)$	$\varphi_{a/c}(t) = A \sin(\omega t)$	$\psi_{a/c}(t) = A \sin(\omega t)$
Угловая скорость	$q_{a/c}(t) = A \omega \cos(\omega t)$	$p_{a/c}(t) = A \omega \cos(\omega t)$	$r_{a/c}(t) = A \omega \cos(\omega t)$
Угловое ускорение	$\dot{q}_{a/c}(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t)$	$\dot{p}_{a/c}(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t)$	$\dot{r}_{a/c}(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t)$

Таблица 4.3 Амплитуды входных сигналов вращения, определяемые угловым положением, угловой скоростью и угловым ускорением [33]

№ входного сигнала	Частота (рад/сек)	Частота (Гц)	Амплитуда углового положения (гр)	Амплитуда угловой скорости (гр/с)	Амплитуда углового ускорения (гр/с <sup>2</sup> )
1	0,100	0,0159	6,000	0,600	0,060
2	0,158	0,0251	6,000	0,948	0,150
3	0,251	0,0399	3,984	1,000	0,251
4	0,398	0,0633	2,513	1,000	0,398
5	0,631	0,1004	1,585	1,000	0,631
6	1,000	0,1591	1,000	1,000	1,000
7	1,585	0,251	0,631	1,000	1,585
8	2,512	0,399	0,398	1,000	2,512
9	3,981	0,633	0,251	1,000	3,981
10	6,310	1,004	0,158	1,000	6,310
11	10,000	1,591	0,100	1,000	10,000
12	15,849	2,515	0,040	0,631	10,000

Во время объективных испытаний системы имитации акселерационных эффектов требуется проводить измерение частотной характеристики реакции системы воспроизведения акселерационных воздействий с учетом различия исходного местоположения пилота в самолете и исходного местоположения пилота в УИП. Для испытаний, определенных в таблице 4.4 необходимо провести шесть независимых испытаний (по одному для каждого входного сигнала ВС). Испытания 1 и 2, испытания 3 и 4, испытания 6 и 7 и испытания 8 и 9 должны проводиться с одним входным сигналом при одновременном измерении двух выходных ответных реакций. Причиной этого является измерение в ходе одного испытания и прямых ответных и перекрестных реакций.

Таблица 4.4 Матрица испытаний системы имитации акселерационных эффектов с номерами испытаний [33]

Входной сигнал ВС	Ответная реакция УИП					
	Тангаж	Крен	Рысканье	Продольное движение	Поперечное движение	Движение по вертикали
Тангаж	1			2		
Крен		3			4	
Рысканье			5			
Продольное движение	7			6		
Поперечное движение		9			8	
Движение по вертикали						10

Частотные характеристики описывают зависимости между движениями самолета и движениями УИП, как указано в таблице 4.4. Описание испытаний:

1. Реакция УИП по тангажу на входной сигнал тангажа ВС;
2. Реакция УИП по ускорению в продольном движении на входной сигнал тангажа ВС;
3. Реакция УИП по крену на входной сигнал крена самолета;
4. Реакция УИП по ускорению в поперечном движении на входной сигнал крена ВС;
5. Реакция УИП по рысканию на входной сигнал рыскания ВС;
6. Реакция УИП в продольном движении на входной сигнал продольного перемещения ВС;
7. Реакция УИП по тангажу на входной сигнал ускорения в продольном движении ВС;
8. Реакция УИП в поперечном движении на входной сигнал поперечного перемещения ВС;

9. Реакция УИП по крену в ответ на входной сигнал ускорения в поперечном движении ВС;

10. Реакция УИП в вертикальном движении на входной сигнал вертикального перемещения ВС;

Испытания 1, 3, 5, 6, 8 и 10 представляют прямые передаточные зависимости, а испытания 2, 4, 7 и 9 представляют перекрестные зависимости. Результаты данных испытаний должны представляться в отношении модуля и фазы каждого из объективных испытаний системы имитации акселерационных эффектов, определенных в таблице 4.4, и по каждой частоте, указанной в таблице 4.1. По результатам проведенных испытаний должны быть представлены десять таблиц. Результаты также должны быть представлены графически для каждого компонента в матрице режимов испытаний в виде графика Боде с модулем и фазой вдоль вертикальной оси и частотой в рад/с вдоль горизонтальной оси. Границы допустимых отклонений модуля и фазы для всех десяти испытаний указаны в таблицах 4.5 – 4.14 [33]. Эти границы допустимых отклонений были определены в результате анализа систем имитации акселерационных эффектов восьми УИП ведущих производителей УИП и проведенного анализа.

Примеры получаемых графиков Боде представлены на рисунке 4.3

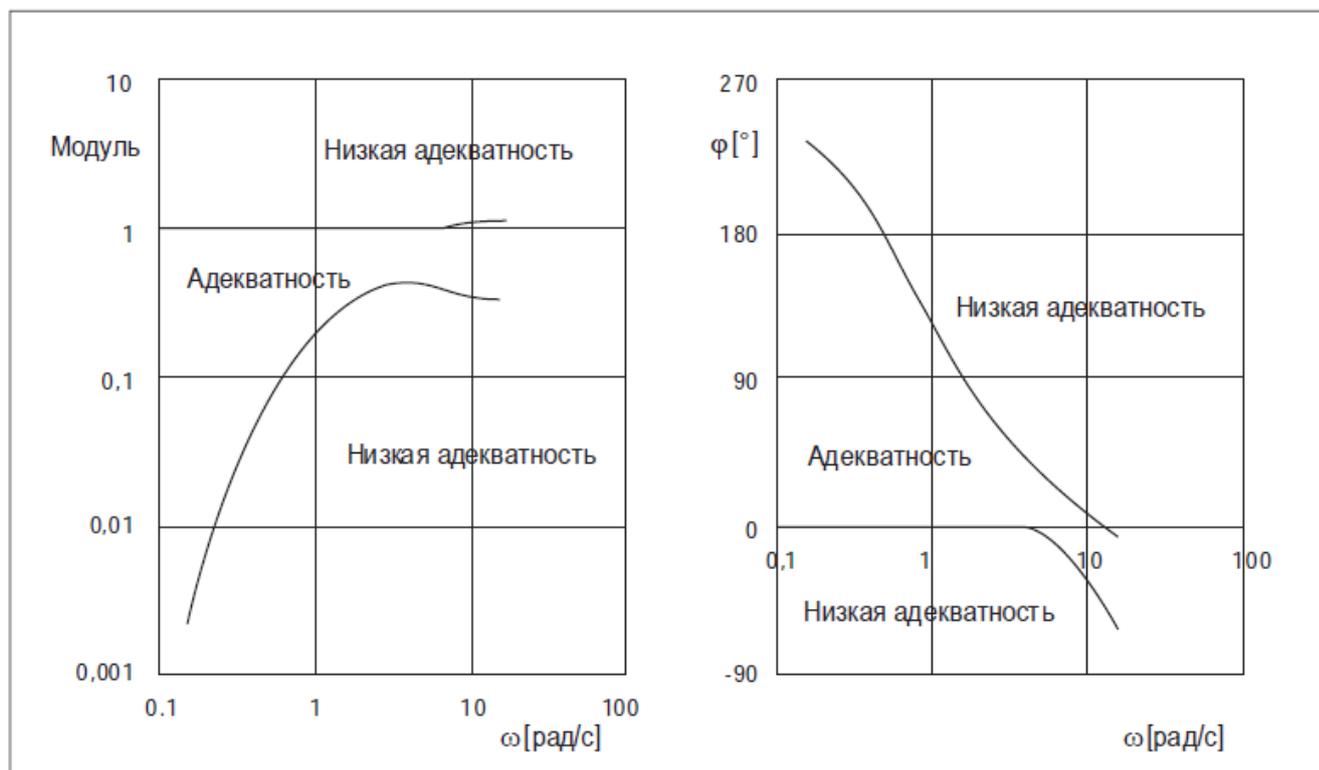


Рисунок 4.3 Примеры получаемых графиков Боде

Поскольку эти испытания демонстрируют дополнительные модуль и фазу, вводимые системой имитации акселерационных эффектов УИП, критерии, на основании которых проводится объективных испытаний системы имитации акселерационных эффектов, подразумевают, что важно обеспечивать достаточно высокое значение модуля и сравнительно низкое значение фазы для испытаний 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9 и 10. Испытания 2 и 4 определяют нежелательные движения и должны иметь относительно низкие модули. Следует обратить внимание, что когда модуль незначительный, фазовые ошибки соответственно играют меньшую роль.

Области приемлемой адекватности воспроизведения, рекомендованные ИКАО, приведены в таблицах 4.5 – 4.14 [33] в зависимости от условий полета, как максимально и минимально допустимые модуль и фаза частотной характеристики. Характеристики систем имитации акселерационных эффектов должны находиться в пределах максимальных и минимальных границ допустимых изменений адекватности воспроизведения.

Таблица 4.5 Границы адекватности воспроизведения для модуля и фазы частотной характеристики для испытания 1 [33]

Частота (рад/с)	Модуль		Фаза (гр)	
	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум
0,1000	1,0000	0,5830	2,124	-7,061
0,1585	1,0000	0,5827	1,602	-9685
0,2512	1,0000	0,5797	3,076	-14,185
0,3981	1,0000	0,5435	6,375	-18,268
0,6310	1,0000	0,4803	13,359	-19,125
1,0000	1,0000	0,4408	18,153	-14,888
1,5850	1,0755	0,4044	18,200	-13,063
2,5120	1,1653	0,3805	18,300	-23,504
3,9810	1,1761	0,3481	18,339	-33,079
6,3100	1,2282	0,3110	16,701	-37,583
10,0000	1,2972	0,2607	8,964	-48,343
15,8490	1,2974	0,2526	-3,000	-70,541

Таблица 4.6 Границы адекватности воспроизведения для модуля и фазы частотной характеристики для испытания 2 [33]

Частота (рад/с)	Модуль		Фаза (гр)	
	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум
0,1000	0,050	0,000	180,000	-90,000
0,1585	0,050	0,000	153,181	-116,819
0,2512	0,050	0,000	126,044	-143,956
0,3981	0,050	0,000	99,016	-170,984
0,6310	0,047	0,000	71,996	-198,004
1,0000	0,038	0,000	45,000	-225,000
1,5850	0,027	0,000	18,181	-251,819
2,5120	0,021	0,000	-8,956	-278,956
3,9810	0,021	0,000	-35,984	-305,984
6,3100	0,021	0,000	-63,004	-333,004
10,0000	0,021	0,000	-90,000	-360,000
15,8490	0,021	0,000	-116,819	-386,819

Таблица 4.7 Границы адекватности воспроизведения для модуля и фазы частотной характеристики для испытания 3 [33]

Частота (рад/с)	Модуль		Фаза (гр)	
	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум
0,1000	1,000			
0,1585	1,000	0,002	238,809	0,000
0,2512	1,000	0,012	218,808	0,000
0,3981	1,000	0,042	193,142	0,000
0,6310	1,000	0,104	160,237	0,000
1,0000	1,000	0,199	123,919	0,000
1,5850	1,000	0,307	91,470	0,000
2,5120	1,000	0,398	65,983	0,000
3,9810	1,000	0,426	44,115	0,000
6,3100	1,007	0,394	25,551	-11,747
10,0000	1,104	0,358	10,422	-32,346
15,8490	1,132	0,344	-4,276	-61,569

Таблица 4.8 Границы адекватности воспроизведения для модуля и фазы частотной характеристики для испытания 4 [33]

Частота (рад/с)	Модуль		Фаза (гр)	
	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум
0,1000	0,1800	0,0001	290	70
0,1585	0,1800	0,0001	263	44
0,2512	0,1800	0,0001	236	18
0,3981	0,1800	0,0001	209	-8
0,6310	0,1800	0,0001	182	-34
1,0000	0,0895	0,0001	155	-60
1,5850	0,447	0,0001	128	-86
2,5120	0,221	0,0001	101	-112
3,9810	0,110	0,0001	74	-138
6,3100	0,110	0,0001	47	-164
10,0000	0,110	0,0001	20	-190
15,8490	0,110	0,0001	-7	-216

Таблица 4.9 Границы адекватности воспроизведения для модуля и фазы частотной характеристики для испытания 5 [33]

Частота (рад/с)	Модуль		Фаза (гр)	
	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум
0,1000	1,0000			
0,1585	1,0000	0,0002	205,571	0,000
0,2512	1,0000	0,0020	184,672	0,000
0,3981	1,0000	0,100	162,452	0,000
0,6310	1,0000	0,0358	137,846	0,000
1,0000	1,0000	0,1574	111,264	0,000
1,5850	1,0000	0,2748	84,075	0,000
2,5120	1,0000	0,3434	57,893	0,000
3,9810	1,0000	0,3481	34559	-3,155
6,3100	1,0000	0,3672	15,671	-17,260
10,0000	1,0000	0,3819	-0,257	-35,691
15,8490	1,0000	0,3321	-21,476	-61,278

Таблица 4.10 Границы адекватности воспроизведения для модуля и фазы частотной характеристики для испытания 6 [33]

	Модуль		Фаза (гр)	
	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум
0,1000	1,0000	0,4983	0,000	-,728
0,1585	1,0000	0,5571	0,000	-9,993
0,2512	1,0000	0,5464	0,000	-16,133
0,3981	1,0000	0,4905	0,000	-33,732
0,6310	1,0000	0,3581	2,116	-62,645
1,0000	1,0000	0,1000	6,427	-97,015
1,5850	1,0000	0,1000	88,567	-189,130
2,5120	1,0000	0,1294	172,898	-155,592
3,9810	1,0000	0,1626	135,606	-87,596
6,3100	1,0000	0,1609	86,135	-86,752
10,0000	1,0000	0,1206	63,372	-110,460
15,8490	1,1115	0,0564	53,757	-151,068

Таблица 4.11 Границы адекватности воспроизведения для модуля и фазы частотной характеристики для испытания 7 [33]

Частота (рад/с)	Модуль		Фаза (гр)	
	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум
0,1000	5,721	2,894	-1,687	-7,480
0,1585	5,715	3,241	-1,921	-9,759
0,2512	5,698	3,160	-3,247	-15,377
0,3981	5,628	2,846	-1,995	-32,297
0,6310	5,848	2,016	0,779	-56,854
1,0000	5,662	1,200	-7,696	-78,855
1,5850	5,103	0,411	-26,388	-114,064
2,5120	4,042	0,143	-39,054	-155,006
3,9810	2,903	0,047	-70,614	-176,185
6,3100	1,693	0,015	-113,010	-193,390
10,0000	0,832	0,005	-154,536	-208,439
15,8490	0,370	0,002	-184,930	-238,245

Таблица 4.12 Границы адекватности воспроизведения для модуля и фазы частотной характеристики для испытания 8 [33]

Частота (рад/с)	Модуль		Фаза (гр)	
	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум
0,1000	1,0000	0,3103	0,000	-8,465
0,1585	1,0961	0,3355	0,000	-12,366
0,2512	1,0979	0,3144	0,000	-19,548
0,3981	1,0988	0,2631	0,000	-30,681
0,6310	1,0882	0,1724	0,000	-48,655
1,0000	1,0532	0,0400	27,399	-83,909
1,5850	1,0000	0,0627	102,943	-148,567
2,5120	1,0000	0,1200	135,772	-150,148
3,9810	1,0000	0,3247	117,522	-99,978
6,3100	1,0000	0,4448	62,714	-51,655
10,0000	1,0000	0,3429	42,305	-79,292

Таблица 4.13 Границы адекватности воспроизведения для модуля и фазы частотной характеристики для испытания 9 [33]

Частота (рад/с)	Модуль		Фаза (гр)	
	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум
0,1000	6,279	1,993	178,49	172,43
0,1585	6,279	2,105	179,91	167,21
0,2512	6,279	2,049	179,57	160,23
0,3981	6,269	1,925	178,84	149,61
0,6310	6,265	1,630	177,62	133,20
1,0000	6,263	1,043	174,32	110,65
1,5850	5,601	0,486	163,13	67,11
2,5120	4,593	0,204	152,69	22,48
3,9810	2,954	0,081	108,60	0,62
6,3100	1,715	0,032	70,73	-16,13
10,0000	0,899	0,013	30,13	-27,50
15,8490	0,414	0,005	-1,96	-53,85

Таблица 4.14 Границы адекватности воспроизведения для модуля и фазы частотной характеристики для испытания 10 [33]

Частота (рад/с)	Модуль		Фаза (гр)	
	Максимум	Минимум	Максимум	Минимум
0,1000	1,0000			0,000
0,1585	1,0000	0,0001	280,382	0,000
0,2512	1,0000	0,0003	260,530	0,000
0,3981	1,0000	0,0013	238,435	0,000
0,6310	1,0000	0,0041	213,109	0,000
1,0000	1,0000	0,0111	185,979	0,000
1,5850	1,0000	0,0246	154,825	0,000
2,5120	1,0000	0,0447	123,413	0,000
3,9810	1,0000	0,0755	94,706	0,000
6,3100	1,0000	0,1301	68,148	0,000
10,0000	1,0000	0,2043	40,922	-21,483
15,8490	1,0000	0,2867	10,539	-50,328

Критерии воспроизведения акселерационных воздействий определяются в частотном поле с указанием областей для нормальной адекватности воспроизведения и низкой адекватности воспроизведения. Границы основаны на том, что предпочтительно, чтобы эффект движения имел высокий коэффициент усиления и малую фазу, или чтобы представить эффекты движения пилоту, как можно более похожие на те, которые присутствуют на ВС в реальной ситуации. Это, однако, практически не всегда выполнимо. Поэтому применяется подход на основе статистических результатов достоверных измерений в рамках объективных испытаний системы имитации акселерационных эффектов 4го класса УИП. Границы, основанные на среднем показателе в  $\pm 2$  раза относительно стандартного отклонения для каждого испытания, определяющего границы для областей адекватности воспроизведения и низкой адекватности воспроизведения. Границы углов фазы испытаний 2 и 4 могут рассматриваться как признак возможных ошибок в частотных характеристиках, но не имеют существенного значения для акселерационных эффектов, где модуль для этих испытаний уже небольшой.

Испытания стабильности системы имитации акселерационных эффектов проводятся с целью подтвердить, что с течением времени качество программного и аппаратного обеспечения системы имитации акселерационных эффектов не изменилось и не ухудшилось. Испытания позволяют более точно определить те изменения, которые отрицательно повлияли на уровень важного для тренировок пилотов воспроизведения акселерационных воздействий, который был сертифицирован во время первоначальной квалификационной оценки. Для проведения таких испытаний эксплуатантом УИП выбираются два произвольных испытания на земле и в полете и проводится сравнительный анализ показателей первоначальной оценки УИП с показателями, полученными при проведении испытаний стабильности системы имитации акселерационных эффектов.

Альтернативным методом проведения валидационных испытаний системы имитации акселерационных эффектов УИП является применение разработанного

в данной работе программного обеспечения и методики проведения таких испытаний, описанной в п.2.3.2, 2ой главы данной работы.

### **4.2.3 Методика сертификации систем имитации акселерационных эффектов УИП, предназначенных для тренировки по выводу из сложных пространственных положений**

Перспективные УИП, отнесенные к 5му классу имитационных характеристик, имеют техническую возможность имитации попаданий ВС в СПП и требуют применения новых подходов к процессу сертификационных испытаний их систем имитации акселерационных эффектов. В качестве основного метода проведения таких валидационных испытаний, предлагается проведение серии испытаний, с применением программного обеспечения, разработанного и описанного во 2ой главе данной работы.

Имитация сваливания и попадания в СПП являются сложными имитационными характеристиками УИП, из-за сложности создания правильных математических моделей сваливания и попадания в СПП, большого количества возможных СПП, и неоднородности воздушной среды. Проверить точность имитации срывных характеристик довольно сложно. Поэтому данные проверки в настоящее время выполняются при помощи субъективных испытаний системы имитации акселерационных эффектов. Но, для ухода от субъективной проверки, предлагается проведение валидационных испытаний с имитацией выполнения фигур простого, сложного и высшего пилотажа (в зависимости от возможностей ВС).

При моделировании аэродинамических характеристик, в ЗОС должны указываться источники данных, использованных для разработки аэродинамической модели. Особый интерес представляет отображение тестовых точек в форме графика области рабочих режимов полета в виде зависимости "альфа/бета" (угла атаки от угла скольжения) для разных конфигураций закрылков. Области примеров рабочих режимов полета можно найти в добавлении 3-D к документу "Учебное пособие по выводу самолета из сложных

пространственных положений (AURTA)" (см. раздел 2.3 главы 2). Что касается данных летных испытаний, то список типов маневров, используемых для определения аэродинамической модели в диапазонах изменения углов атаки, больших, чем углы атаки, соответствующие первым признакам сваливания, должен представляться для каждого положения закрылков. Для полномасштабной подготовки пилотов к действиям в случае режима полного сваливания, когда отклонения угла атаки могут кратковременно превышать значение критического угла атаки во время восстановления управляемости, валидационные оценки модели и/или анализы должны проводиться для углов атаки, по крайней мере, до 10 градусов превышения критического угла атаки. В тех случаях, когда в наличии имеются только ограниченные данные для моделирования и/или для проведения валидационной оценки характеристик сваливания, в связи с необходимостью обеспечения безопасности полетов, предполагается, что поставщик данных должен предпринять разумные попытки разработать модель сваливания с помощью аналитических методов, а также использовать для этого наилучшие из имеющихся данных.

Для проведения валидационных испытаний системы имитации акселерационных эффектов УИП 5го класса рекомендуется проверка имитационных характеристик при выполнении следующих фигур:

- Глубокие виражи, с креном 30, 45 и 60 градусов;
- Штопор;
- Бочка;
- Петля Нестерова (если позволяет конструкция ВС);
- Переворот (если позволяет конструкция ВС).

Разработанное программное обеспечение прошло испытания по записи графиков прироста перегрузки, при выполнении данных фигур на ВС Як-52 и УИП Боинг 747-400 и Боинг 737-800. Полученные данные приведены на рисунках 4.4- 4.9. (Некоторые графики представлены для ознакомления с возможностями ПО, а не для получения коэффициента имитации акселерационных характеристик УИП).

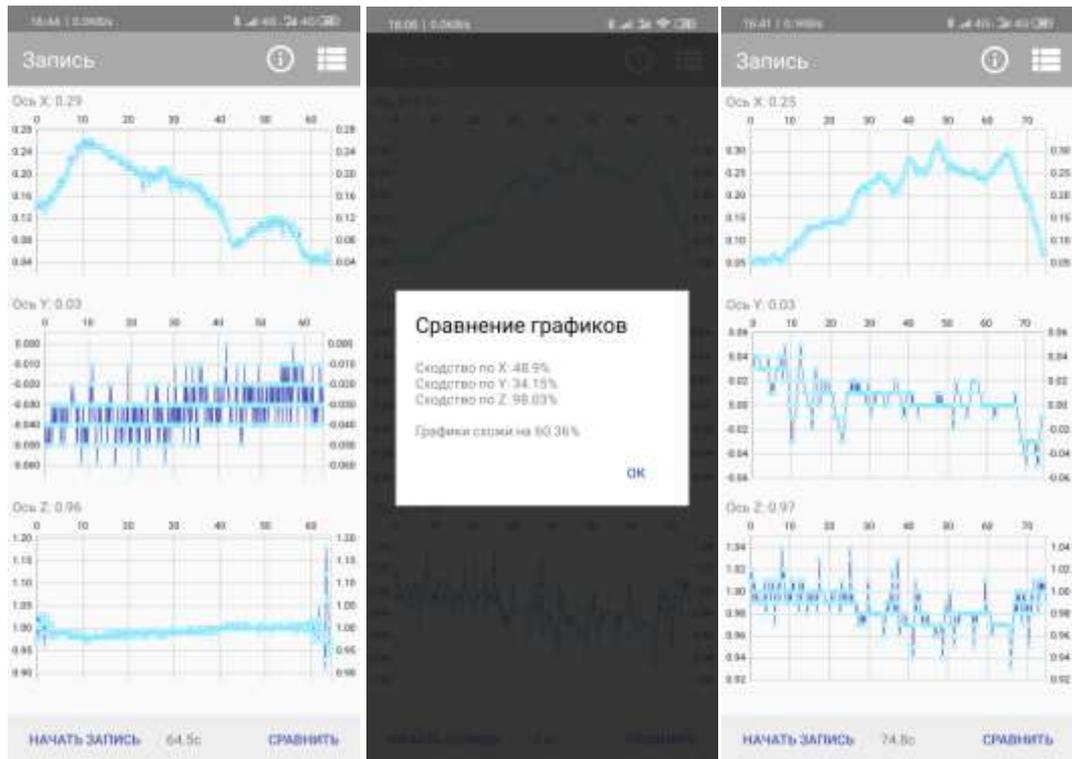


Рисунок 4.4 Слева направо графики прироста перегрузки при выполнении выража с креном 60 градусов на УИП Боинг 737, Боинг 747 и результаты сравнения полученных графиков.

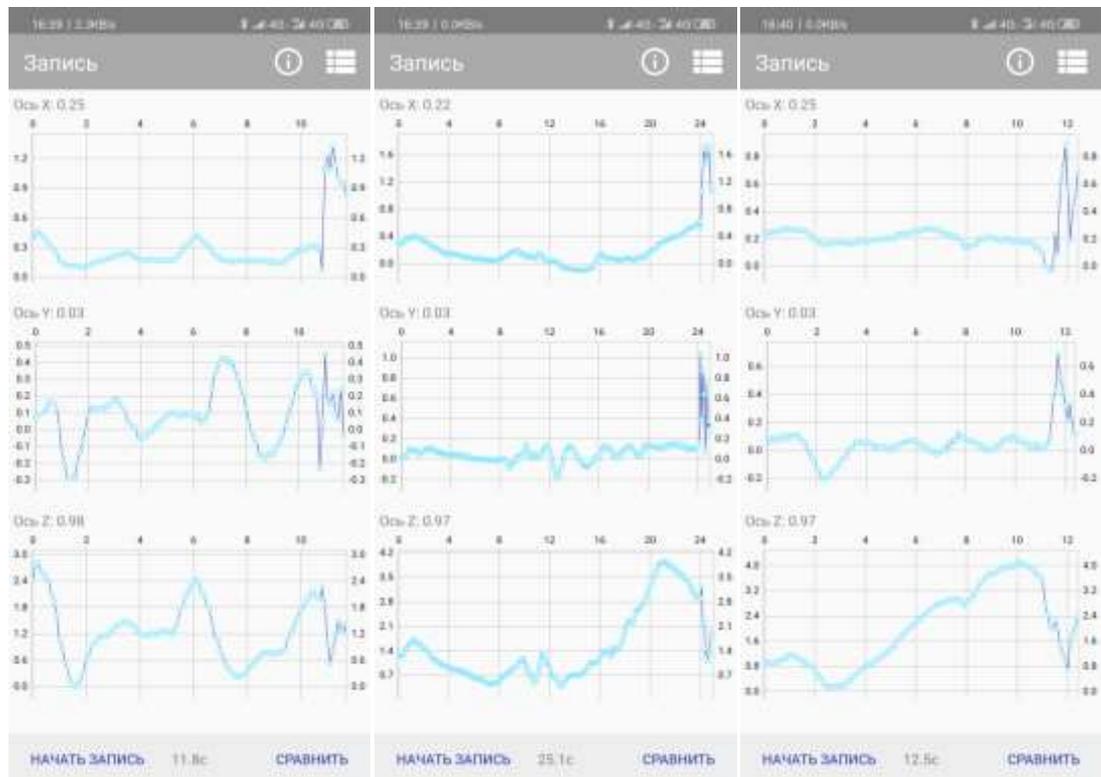


Рисунок 4.5 Слева направо графики прироста перегрузки при выполнении правой и левой бочки, штопора, переворота на ВС Як-52.

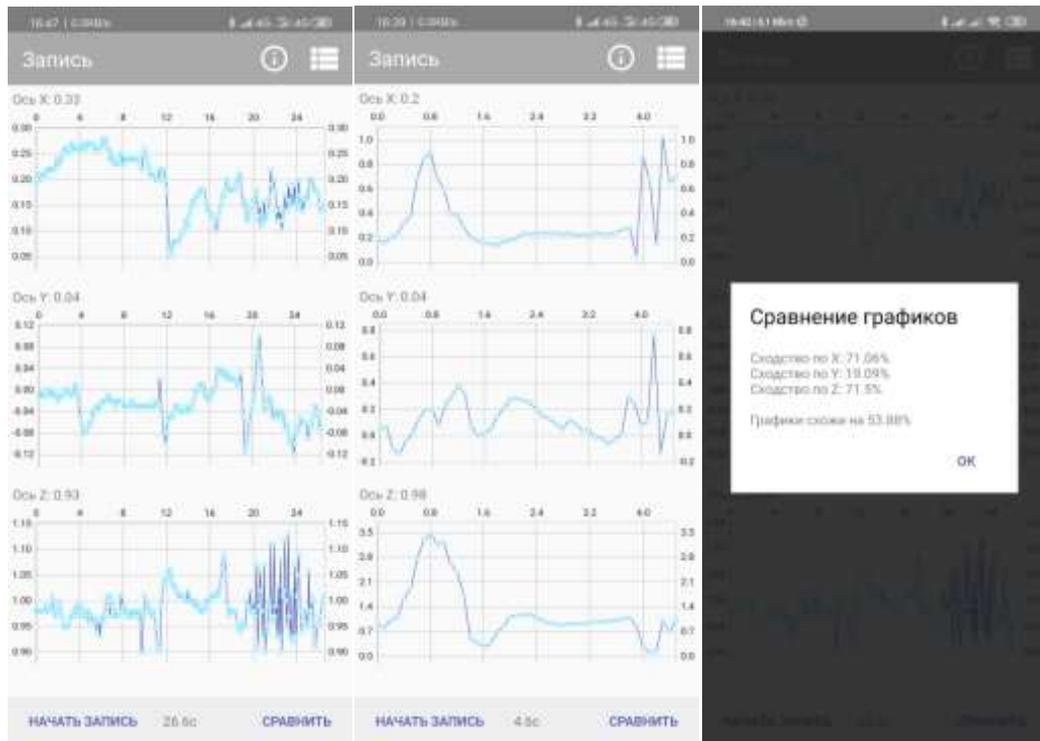


Рисунок 4.6 Слева направо графики прироста перегрузки при выполнении правой бочки на УИП Боинг 747-400 и ВС Як-52 и результаты сравнения полученных графиков.

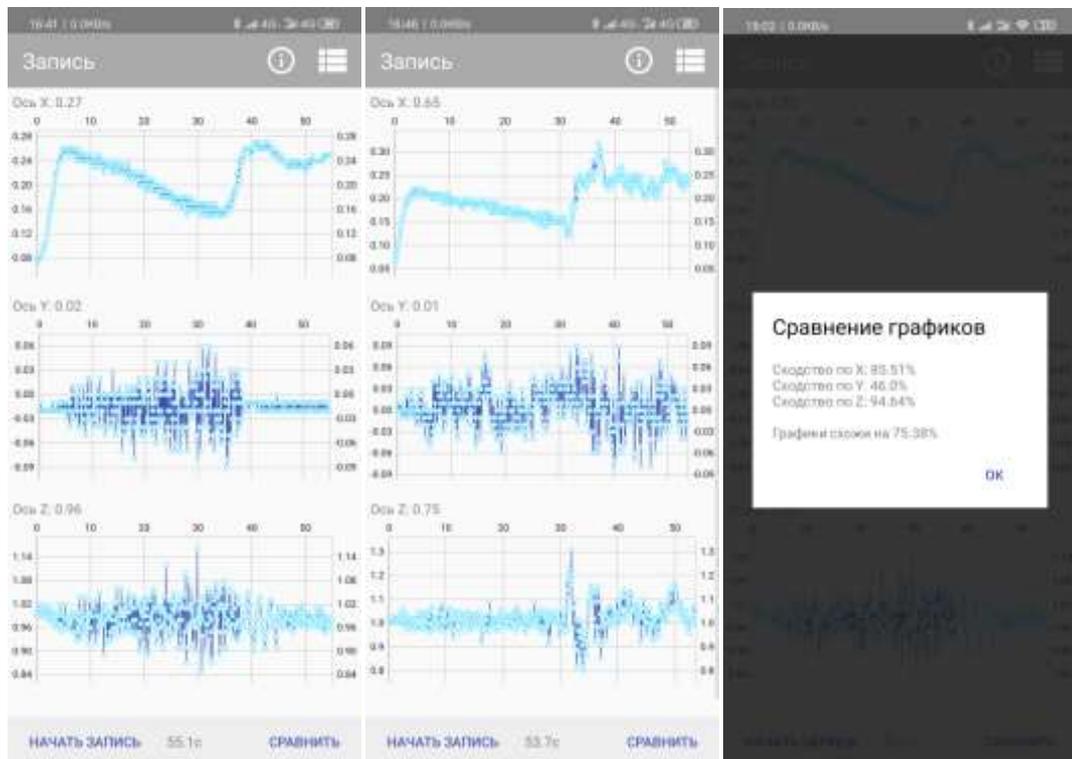


Рисунок 4.7 Слева направо графики прироста перегрузки при выполнении взлета на УИП и ВС Боинг 747-400 и результаты сравнения полученных графиков.

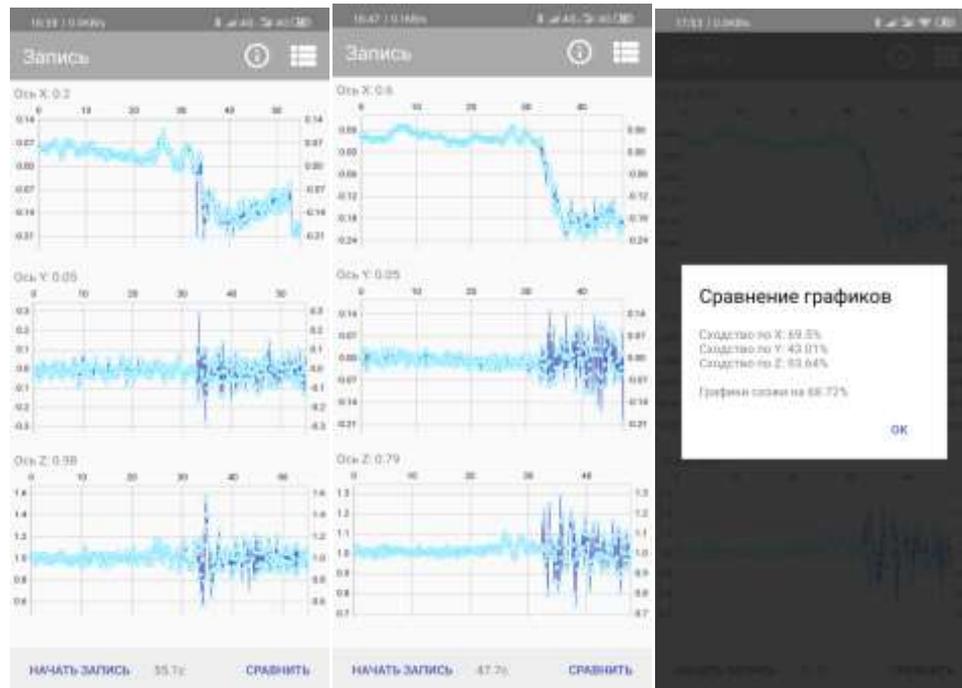


Рисунок 4.8 Слева направо графики прироста перегрузки при выполнении посадки на ВС Боинг 747-400 в ручном и автоматическом режиме и результаты сравнения полученных графиков.

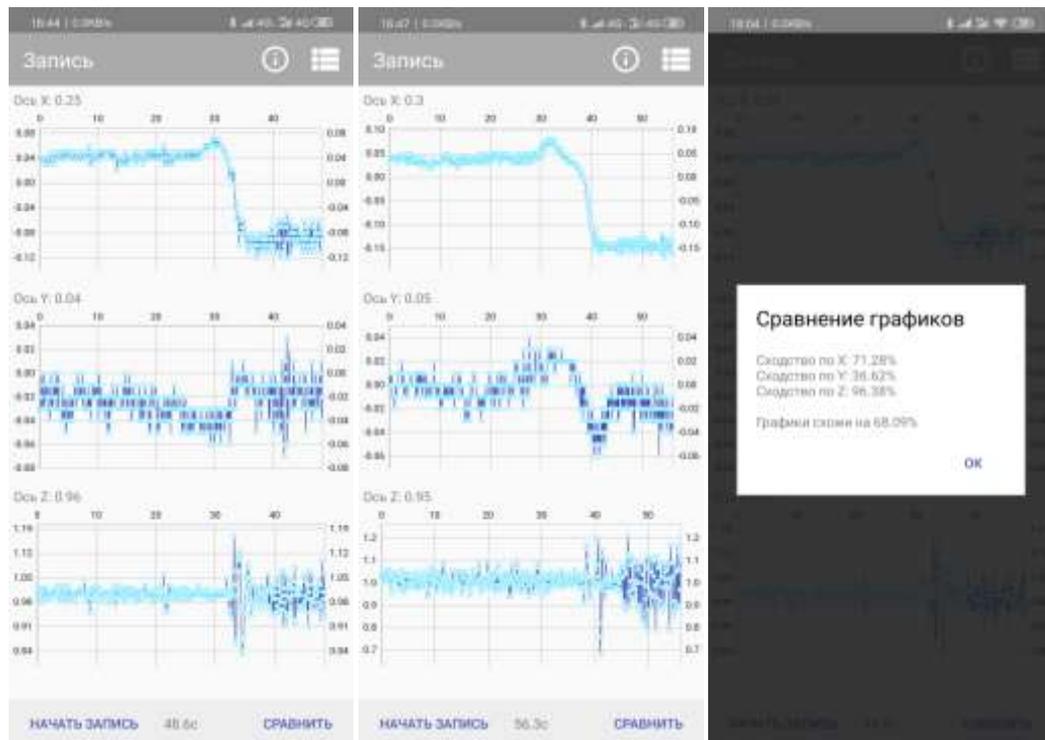


Рисунок 4.9 Слева направо графики прироста перегрузки при выполнении посадки УИП Боинг 737-800 и УИП Боинг 777-300 и результаты сравнения полученных графиков.

Основным методом проверки адекватности имитируемых характеристик является сравнение полученных на ВС и УИП графиков прироста перегрузки с помощью математического алгоритма специально разработанного в данной работе.

Как видно из полученных графиков и сравнений, разработанное программное обеспечение является полностью функционирующим и пригодным к применению, при проведении валидационных испытаний современных и перспективных УИП, способных имитировать попадания в СПП.

Также необходимо отметить, что проведенные испытания не могут в полной мере определить степень имитационных характеристик УИП, так как отсутствовала техническая возможность проведения испытаний в СПП с записью графиков прироста перегрузки на ВС Боинг 747-400. Но из рисунка 4.6 видно, что график прироста перегрузки на реальном ВС более плавный, нежели на УИП, а так же видно, что УИП нестабильно имитирует прирост перегрузки, при выводе из бочки по вертикальной оси. Данные погрешности УИП вызваны ограничениями имитации акселерационных эффектов гироскопов и недостатками применяемой в УИП математической модели. Из рисунка 4.4 видно, что разные типы УИП воспроизводят одни и те же имитации по разному. Графики на этом рисунке хотя и похожи внешне, но коэффициент подобия составляет всего 60 процентов. Это связано в некоторой степени с погрешностью в технике пилотирования, выполнявших фигуры пилотов, но в большей степени с различностью математической модели воспроизведения акселерационных эффектов у разных производителей УИП. В тоже время, при проведении испытаний посадки в автоматическом режиме на УИП Боинг 737-800 и Боинг 777-300, коэффициент подобия, рассчитанный программой составил более 68 процентов (рисунок 4.9), что говорит о том, что при производстве испытаний системы имитации акселерационных эффектов, необходимо в большей степени использовать алгоритмы автоматического управления ВС с помощью автопилота, что обеспечит уменьшение влияния погрешностей в технике пилотирования разных пилотов и сведет к минимуму методическую погрешность измерений.

На рисунке 4.7 видно, что подобие графиков прироста перегрузки по трем осям, при выполнении взлета на ВС Боинг 747-400 и на УИП этого же типа, при тех же внешних условиях, является очень высоким и равно 75 процентам. Что говорит о хорошем уровне имитационных характеристик испытуемого ВС в областях прироста перегрузки, характерны для производства линейных полетов.

На рисунке 4.8 видно, что при сравнении графиков перегрузки, при производстве посадки на ВС Боинг 747, при одинаковых массах, положении закрылков и внешних условиях в автоматическом и ручном режиме коэффициент подобия составил более 68 процентов. Что говорит о том, что при ручном пилотировании вносится незначительная методическая погрешность измерений, порядка 5 процентов. Большинство проведенных испытаний современных УИП закончились с результатом от 60 до 70 процентов схожести графиков прироста перегрузки.

Ограничения для производства валидационных испытаний, при попадании в СПП, с помощью разработанного программного обеспечения подробно изложены в п.2.3.2 настоящей работы.

Исходя из всего вышесказанного предлагается ввести допустимый уровень подобия УИП реальному ВС, для УИП 4го класса равный 70 процентам. Так как протестированные современные УИП ведущих производителей оказались неспособны к более высокому уровню имитации, и потому что данный уровень имитационных характеристик является приемлемым, для тренировки летного состава полетам без имитации попаданий в СПП. В тоже время, для УИП 5го класса, способных имитировать попадания в СПП, предлагается установить допустимый уровень имитационных характеристик акселерационных эффектов на уровне 65 процентов, из-за того что данные УИП пока находятся на этапе разработки и технической доводки, и потому что имитация попаданий в СПП сама по себе является более сложным видом имитационных характеристик и требует более широкого валидационного допуска.

Несмотря на то, что данное программное обеспечение создано для ухода от субъективной оценки УИП, при проведении валидационных испытаний системы

имитации акселерационных эффектов УИП, на первоначальном этапе, рекомендуется полностью не отказываться от проведения субъективных испытаний, для сбора большего количества статистических данных.

Субъективная оценка модели сваливания должна быть оценена пилотом-экспертом в данной области, обладающим знаниями в отношении эффектов, необходимых для достижения требуемых целей подготовки, а также опытом сваливания на самолете моделируемого типа. И в некоторых случаях может оказаться уместным для ведомства гражданской авиации (ВГА) провести консультации с изготовителем ВС относительно назначения эксперта в данной области. Эксперт в данной области не должен назначать себя сам. Назначение эксперта в данной области определяется конкретным типом самолета и выполняемыми маневрами, а также тем, насколько опытен пилот-эксперт в данной области и не имеет перерывов в летной практике в отношении выполнения маневров на ВС данного типа. Окончательная оценка и утверждение эксплуатанта УИП должны быть выполнены пилотом-экспертом в данной области, который знает требования к подготовке выполнению учебных задач, связанных с обучением пилотов умению выходить из сваливания и СПП. Цель субъективной оценки заключается в том, чтобы обеспечить дополнительный уровень защиты, с тем чтобы гарантировать адекватность воспроизведения характеристик УИП и не допустить вредоносных тренировок летного состава ГА. Ее предназначение состоит в том, чтобы первоначальная квалификационная оценка имитации проводилась только один раз экспертом в данной области. Объективные записи могут быть сделаны позже и использоваться уже без участия эксперта в данной области для проведения первоначальной или периодических квалификационных оценок УИП для ВС такой же конструкции, аналогичной модели или серии самолетов. Такая оценка может проводиться на УИП эксплуатанта или в процессе контролируемого технического моделирования. Техническое моделирование может затем быть использовано для обеспечения проведения в дополнение к модели сваливания объективных испытаний в рамках

валидационной оценки, и представления инструктивного материала в рамках субъективной оценки эксплуатанту УИП для оценки реализованной модели.

Так же, при проведении такой субъективной оценки, могут быть получены графики прироста перегрузок, при попадании в сваливание и СПП, необходимые для проведения объективной валидационной оценки УИП с помощью предложенного программного обеспечения.

### 4.3 Методика валидационных испытаний системы визуализации

Система визуализации является одной из основных систем УИП, так как до 90 процентов информации человек получает с помощью зрения. Поэтому к системам визуализации применяются очень строгие требования и их испытания должны проводиться в строгом соответствии с методикой валидационных испытаний.

Валидационные испытания систем визуализации должны начинаться с измерения углов обзора, доступных экипажу. При испытаниях углы зоны обзора должны измеряться с использованием шаблона, представляющего собой матрицу из черных и белых квадратов размером  $5^\circ$ , которые заполняют всю визуальную картину [45]. Требования к углам обзора для разных классов УИП приведены в п.3.6 настоящей работы.

При проведении измерений из точки положения глаз первого и второго пилотов, центр изображения должен располагаться между  $0^\circ$  и  $2^\circ$  по горизонтали и в пределах  $\pm 0,25^\circ$  по вертикали относительно осевой линии УИП с учетом расчетного вертикального смещения. Разница измерений из положения между точками расположения глаз по горизонту не должна превышать  $1^\circ$ .

Эти допуски основываются на расстоянии между глазами первого и второго пилотов до  $\pm 53,3$  см. В случае превышения указанного расстояния должно предоставляться объяснение о необходимости дополнительного допуска.

Абсолютные геометрические параметры любой точки изображения не должны отличаться более чем на  $3^\circ$  от теоретического положения. Этот допуск относится к центральному участку с углами обзора  $200^\circ$  на  $40^\circ$ . Для углов обзора большего размера за пределами этой зоны не должно быть отвлекающих разрывов в изображении.

Проверка относительных геометрических параметров проводится с целью продемонстрировать отсутствие значительных изменений размера в

представляемом изображении на малых углах обзора. При высокой степени детализации изображения системы визуализации человеческий глаз очень восприимчив к изменениям геометрических размеров. При значительном увеличении изображения на небольшой площади картины может возникнуть эффект "скольжения" изображения как по поверхности зеркала.

Типичная система зеркал на основе конфигурации Майлара обычно создает форму "ванны", которая может вызывать увеличения или эффекты "наплыва" в нижней и верхней части изображения. Эти эффекты могут особенно отвлекать внимание в нижней половине изображения при воспроизведении визуальной обстановки на заключительном этапе захода на посадку и поэтому должны быть минимизированы.

Существующие технологии еще не позволяют изготавливать зеркала идеальной сферической формы, и поэтому применяемые допуски предназначены для того, чтобы ограничивать действие этих эффектов до приемлемого уровня.

На рис. 4.10 показано поле обзора  $200^\circ$  на  $40^\circ$ , разделенное на три зоны, для установления допусков при испытании относительных геометрических параметров изображения.

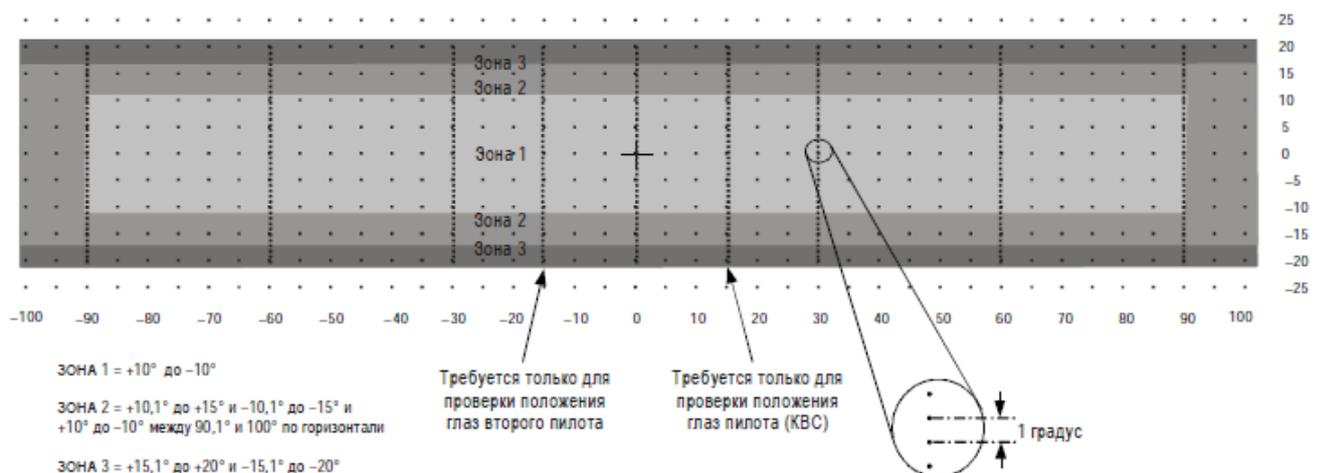


Рис. 4.10 Схема испытаний относительной геометрии с указанием зон [33]

Испытание относительных геометрических параметров должно проводиться следующим образом:

а) из точки положения глаз КВС измерить расположение каждой из видимых точек, размещенных с шагом  $5^\circ$  на вертикальных и горизонтальных

линиях. На азимутах  $-90$ ,  $-60$ ,  $-30$ ,  $0$  и  $+15$  градусов следует измерить через  $1$  град. положение всех видимых точек, начиная с  $-10^\circ$ . До самой низкой видимой точки. Для ускорения процесса валидационных испытаний могут быть измерены не все изображенные на схеме точки, но в случае если результаты наблюдений вызывают вопросы, могут быть произведены все измерения;

b) из точки положения глаз второго пилота измерить расположение каждой из видимых точек, размещенных с шагом  $5^\circ$  на вертикальных и горизонтальных линиях. На азимутах  $+90$ ,  $+60$ ,  $+30$ ,  $0$  и  $-15$  градусов следует измерить через  $1^\circ$  положение всех видимых точек, начиная с  $-10$  и до самой низкой видимой точки. Для ускорения процесса валидационных испытаний могут быть измерены не все изображенные на схеме точки, но в случае если результаты наблюдений вызывают вопросы, могут быть произведены все измерения;

c) относительное расстояние между точками не должно превышать следующих допусков при сравнении интервалов между двумя соседними парами точек:

- Зона 1  $< 0,075$  град/град;
- Зона 2  $< 0,15$  град/град;
- Зона 3  $< 0,2$  град/град;

d) при измерениях с интервалами в  $5^\circ$  допуски следует умножать на 5, например, один интервал  $5^\circ$  не должен превышать  $(5 * 0,075) = 0,375^\circ$  больше или меньше чем соседний интервал в зоне 1;

e) для углов обзора большего размера за пределами этой зоны не должно быть отвлекающих внимание разрывов в изображении.

При проведении периодических испытаний рекомендуется использовать оптическое устройство контроля. Это устройство обычно представляет собой портативный тестер с предельным калибром для проверки сохранения относительного расположения изображения.

Для оценки видимого участка земли, при испытании системы визуализации УИП, выбираются относительная высота и дальность видимости на ВПП (RVR) с целью создания визуальной картины, позволяющей без затруднений оценить

точность воспроизведения воздействий (калибровка RVR), и по которой можно легко определить точность пространственного положения моделируемого ВС (осевую линию и наклон глиссады), используя огни подхода/огни ВПП и приборное оборудование кабины экипажа.

Это испытание предназначено для оценки факторов, влияющих на точность визуальной картины, воспроизводимой для пилота на высоте принятия решения (DH) при заходе на посадку по ILS [45].

В QTG должен указываться источник данных, т. е. опубликованная высота принятия решения, используемые аэродром и ВПП, расположение глиссадной антенны системы посадки по приборам (ILS) (на аэродроме и ВС), исходная точка положения глаз пилота, угол отсечки кабины экипажа и т. д., которые используются для точных расчетов видимого участка земли (VGS) (см. рис. 4.11).

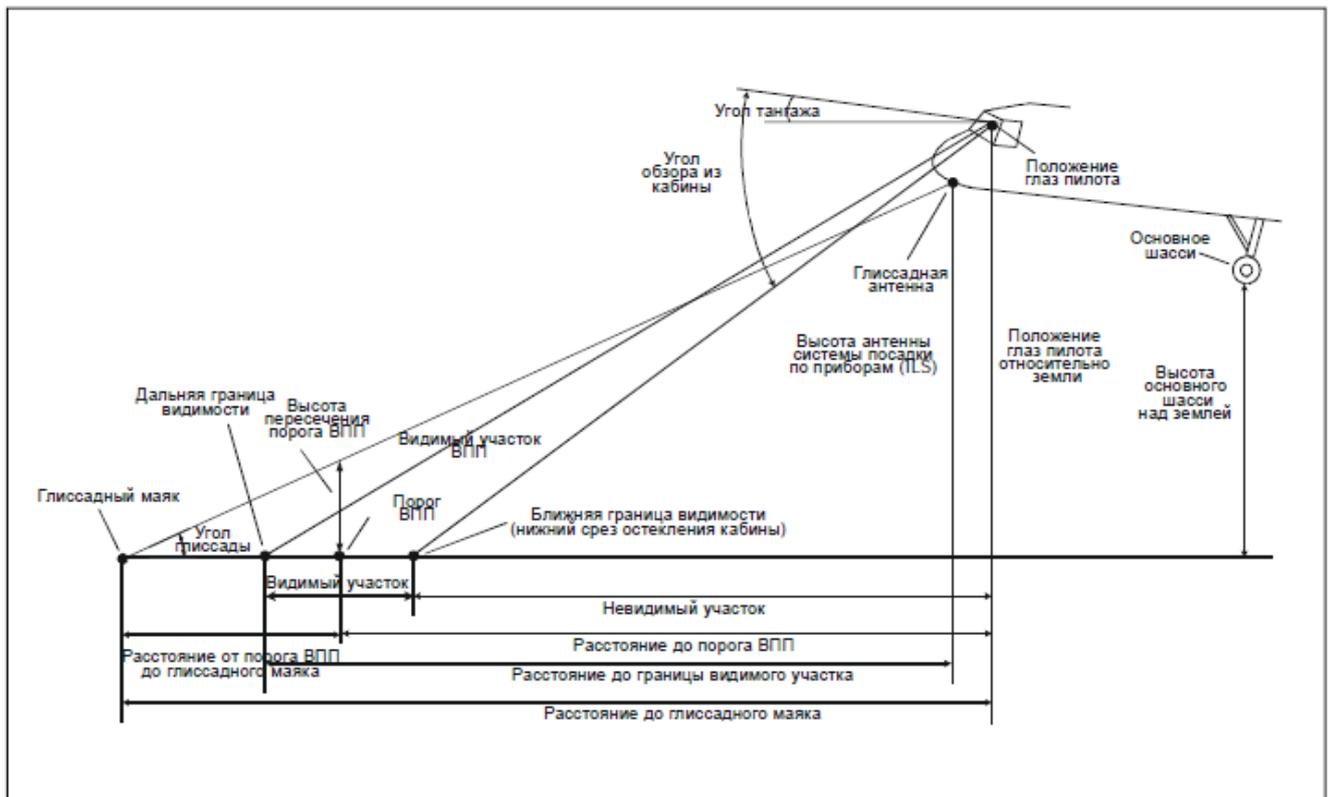


Рисунок 4.11 Расчеты содержания видимого участка земли [33]

Рекомендуется автоматический вывод моделируемого самолета в заданную точку согласно схеме посадки по приборам. После выполнения такого вывода следует проявлять особую тщательность, чтобы пространственное положение и угол тангажа самолета были правильными (характерными для данного участка

полета). Выполнение захода на посадку в ручном режиме или на автопилоте также должно давать приемлемые результаты. В УИП должны быть видны те входные огни ВПП, которые должны быть видны согласно расчетам [45].

Геометрические параметры окончательного изображения, представляемого каждому пилоту, должны отвечать установленным критериям, описанным в п.3.6 настоящей работы. Это предполагает, что отдельные оптические компоненты прошли проверку и продемонстрировали достаточно адекватные характеристики, чтобы обеспечить требуемый конечный результат.

Разрешающая способность системы визуализации УИП может быть продемонстрирована методом испытания объектов, занимающих необходимый визуальный угловой диапазон в каждом канале, который используется в изображении, на уровне глаз пилотов.

Объект, расположенный напротив глаз пилота, и соответствующий 2м угловым минутам для УИП 3-5го классов и 4ем угловым минутам для УИП 1-2го классов должен быть четко различим пилотом. При проведении испытаний в горизонтальной плоскости для демонстрации можно использовать разметку входного торца ВПП. Такое же испытание должно производиться и в вертикальной плоскости.

Размер точечного источника света должен измеряться с помощью тестового шаблона, состоящего из расположенного в центре одного ряда световых точек белого цвета, отображаемых горизонтальной и вертикальной строками [45].

Необходимо продемонстрировать, что световые точки могут перемещаться относительно уровня глаз пилота вдоль всех осей.

В точке, в которой модуляция света в каждом визуальном канале становится заметной, следует произвести расчет для определения интервалов между световыми точками [45].

Максимальные размеры для точечного источника света указаны в п.3.6 для каждого класса УИП.

Коэффициент контрастности поверхности должен измеряться при помощи растрового тестового шаблона, который будет заполнять все визуальное изображение.

При использовании тестового шаблона, такой шаблон должен состоять из квадратов белого и черного цветов с размерами  $5^\circ$ , и белый квадрат должен находиться в центре каждого канала.

При этом измерения следует проводить на центральном ярком квадрате, с использованием апертурного фотометра с шагом в  $1^\circ$ . Яркость при этом должна составлять не менее  $7 \text{ кд/м}^2$  (2 фут-ламберт).

Измерять следует соседние темные квадраты (любые). Коэффициент контрастности – это величина яркости яркого квадрата, деленная на величину темного квадрата. Во время тестирования коэффициента контрастности уровень освещения в задней части кабины УИП и в кабине летного экипажа УИП должны быть как можно более низкими.

Измерение коэффициента контрастности точечного источника света необходимо проводить при помощи тестового шаблона, который показывает область более  $1^\circ$  площади, заполненной точечными источниками света белого цвета, при сравнении с соседним фоном. В результате этого испытания модуляция точечных источников света (далее – ТИС) должна быть лишь немного заметной при тестировании каллиграфических систем и совсем не заметной при тестировании растровых систем.

Во время тестирования яркости фона, необходимо, чтобы яркий квадрат находился вне поля обзора фотометра.

Для тестирования яркости точечных источников света, такие источники необходимо воспроизводить в виде матрицы, которая должна образовывать квадрат.

При тестировании каллиграфических систем визуализации точечные источники света должны лишь сливаться. При тестировании растровых систем визуализации точечные источники света должны перекрываться таким образом, чтобы квадрат был сплошным.

Для тестирования яркости поверхности, яркость должна измеряться на белом растре, при это необходимо использовать апертурный фотометр с полем зрения  $1^\circ$ . При этом не должны применяться ТИС.

При проведении этого испытания возможно использование каллиграфических возможностей оборудования в целях усиления яркости растрового изображения.

Для тестирования уровня черного и последовательной контрастности нужно установить фотометр неподвижно таким образом, что бы обеспечивался обзор передней центральной области каждого дисплея.

При этом в кабине должна быть создана максимально возможная темнота, а все проекторы следует выключить. После этого необходимо измерить показания оставшегося естественного освещения на дисплее.

После этого необходимо включить проекторы, и отобразить на них черный многоугольник. Затем нужно второй раз измерить показания и зафиксировать различие между этими показаниями и показаниями уровня естественного освещения.

Для светоклапанных проекторов необходимо провести измерения белого многоугольника с полной яркостью. В случае если данное испытание не проводится, необходимо что бы производитель представил ЗОС.

Для испытания размытости движения следует использовать тестовый шаблон, который представляет собой решетку, состоящую из пяти ярко белых квадратов, которые должны уменьшаться по ширине зазоров черного цвета между ними. Диапазон ширины зазоров черного цвета должен выходить за пределы требуемого различимого зазора сверху и снизу с шагом в  $1$  угловую минуту.

Данный шаблон должен вращаться с требуемой скоростью. При проведении испытаний по двум осям, нужно использовать две решетки из квадратов, одна решетка, должна вращаться по курсу, а другая по тангажу. Если данное испытание не может быть проведено из-за технических ограничений дисплея, то необходимо провести консультации с ВГА для возможной замены или отмены данного испытания.

В приведенных ниже пунктах описывается процесс объективного измерения степени контрастности лазерной спекл-структуры (для лазерных проекционных систем визуализации) и анализируется зернистая структура спекла, а также особое внимание уделяется изменению яркости, вносимой самим спеклом.

Контраст спекл-структуры измеряется довольно часто при многих вариантах применения. Следует отметить, что в контрасте спекл-структуры не учитывается размер зерен, т. е. пространственная длина волны спекл-структуры.

Для определения степени контрастности спекл-структуры, вследствие своеобразного характера спекла, адекватной мерой его количественного измерения служит среднеквадратичное отклонение, взятое из теории статистики. При случайном распределении, среднеквадратичное отклонение количественно выражает величину отклонения от среднего значения.

Применительно к профилю интенсивности освещенной поверхности, контраст спекла «С» является среднеквадратичным отклонением, нормализованным до среднего значения.

При профиле интенсивности  $I(x, y)$  в рассматриваемом поле обзора контрастность спекла  $C$  можно определить как [33]:

$$C = \frac{\sqrt{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}}{\langle I \rangle};$$

где средний оператор  $\langle I \rangle$ , действующий на профиле  $I(x, y)$ , определяется как:

$$\langle I \rangle := \frac{1}{A} \times \int_{FOV} I(x, y) dA$$

следовательно:

$$C = \frac{\sqrt{A \times \int_{FOV} (I(x, y))^2 dA - (\int_{FOV} I(x, y) dA)^2}}{\int_{FOV} I(x, y) dA};$$

Профиль интенсивности  $I(x, y)$  можно измерить с помощью ПЗС-камеры. Настройка измерения (выбор объективов и матрицы ПЗС) гарантирует, что

проблема гранулярности спекла может быть легко решена. Следовательно, гранулярность чипа ПЗС должна быть больше размера пикселя.

При дискретном характере чипа ПЗС,  $I(x, y)$  переводится в матрицу  $I_{m,n}$ , и при этом [33]:

$$\frac{1}{A} \times \int_{FOV} I(x, y) dA$$

переводится в:

$$\frac{1}{m \times n} \times \sum_{FOV} I_{m,n}$$

и следовательно:

$$C = \frac{\sqrt{m \times n \times \sum_{FOV} I_{m,n}^2 - (\sum_{FOV} I_{m,n})^2}}{\sum_{FOV} I_{m,n}};$$

Где  $\Sigma$  – это оператор суммирования;

$A$  - площадь;

$C$  – контрастность спекла;

$FOV$  – поле обзора;

$I$  – интенсивность;

$m$  – количество строк пикселей в  $FOV$ ;

$n$  – количество столбцов пикселей в  $FOV$ .

Поскольку определение  $C$  также зависит от низкочастотных изменений профиля поля обзора ( $FOV$ ), то либо освещенность и отражательная способность экрана должны быть однородными, либо измеряемый профиль распределения интенсивности должен корректироваться с учетом этих изменений. Это можно осуществить, используя подходящий ВЧ фильтр, например, проводя оценку на достаточно маленьких  $FOV$ , в которых низкочастотные изменения незначительны.

С целью учесть субъективный характер спекла, следует использовать  $f$ -число (или  $f\#$ , которое иногда называют фокусным соотношением, выражающим

диаметр  $D$  входного зрачка, деленный на фокусную длину  $f$ , то есть  $D/f$  объектива как можно ближе к человеческому глазу. Рекомендуется  $f\# - 1/16$ .

Если контрастность спекла превышает 10%, то начинается нарушение изображения. Отвлекающая модуляция в виде наложения изображения снижает воспринимаемость проецируемого изображения и затем ухудшает воспринимаемое разрешение. При контрастности спекла ниже 10% разрешение и фокус остаются без изменений.

При установке в системе визуализации УИП твердотельных осветителей, следует учитывать что срок эксплуатации проекторов, в которых используются такие осветители, как светодиоды или лазеры, дольше, чем проекторов, которые освещаются лампами. Однако существующие осветители, в которых используются светодиоды или лазеры, теряют свое преимущество в длительности эксплуатации, если необходимо обеспечивать интенсивность точечного источника света 30 кд/м<sup>2</sup> (8,8 фут-ламберт). Это ограничение считается допустимым, если учитывать преимущества твердотельных осветителей. Поэтому такие устройства требуются только в тех случаях, когда необходимо обеспечивать 20 кд/м<sup>2</sup> (5,8 фут-ламберт) яркости точечного источника света.

Реализовать эту возможность можно будет тогда, когда твердотельные осветители будут технически способны обеспечивать в полной мере интенсивность 8,8 фут-ламберт. Кроме того, есть дополнительные подтверждения последними достижениями в производстве твердотельных осветителей, что в ближайшем будущем отпадет необходимость учитывать это ограничение.

Производительность системы визуализации УИП демонстрируется с применением визуальной картины, которая должна передаваться теми же режимами формирования изображений, которые будут использоваться при обучении пилотов. Все необходимые ТИС, движущиеся объекты и поверхности должны воспроизводиться одновременно.

Минимальная системная производительность демонстрируемая при имитации дневного времени суток должна составлять не менее 10 тысяч текстурированных поверхностей, 6 тысяч ТИС и 16 движущихся объектов. А при

имитации ночного времени суток и сумерек не менее чем 10 тысяч видимых текстурированных поверхностей, 15 тысяч ТИС и 16 движущихся объектов.

Для испытания системы индикации на лобовом стекле (HUD) должно демонстрироваться её функционирование в полном объеме на всех режимах полета. Тангаж и крен должны согласовываться с показаниями приборов ВС. Оптическая ось HUD должна выравниваться относительно центра сферического шаблона представленного изображения с допуском  $\pm 6$  угловых минут [45].

#### **4.4 Методика валидационных испытаний системы имитации звуковых эффектов**

Звуковая среда внутри ВС очень сложная и может изменяться в зависимости от таких условий как, конфигурация ВС, воздушная скорость, высота полета, режим работы двигателя, атмосферные условия и т. д. Поэтому, звуки в кабине экипажа представляют собой важный компонент функциональной среды кабины экипажа и обеспечивают получение экипажем важной информации. Звуковые воздействия в полете могут либо помогать экипажу, например предупреждения о возникновении нештатной ситуации, либо затруднять работу экипажа, отвлекая или раздражая его. Для обеспечения эффективной подготовки пилотов УИП должно воспроизводить звуки в кабине экипажа, соответствующие звукам воспринимаемым пилотом в кабине реального ВС в штатной, нештатной и аварийной ситуациях. Поэтому эксплуатант УИП должен тщательно анализировать фоновые шумы, присутствующие в местоположении УИП.

При проведении объективных и валидационных испытаний для определения соответствия УИП всем необходимым требованиям необходимо продемонстрировать возможности УИП по созданию звуковой обстановки, которая характерна и типична для восприятия пилотом. Важным компонентом воспроизведения полного спектра звуков является соблюдение объективных критериев.

В случае возможности эксплуатации УИП с имитацией альтернативной силовой установки, любой режим, определенный изготовителем ВС как значительно отличающийся вследствие изменения силовой установки (двигателя или воздушного винта), должен представляться для оценки как часть QTG.

Информация относительно звуковой сцены в кабине ВС, предоставляемая изготовителю УИП, должна соответствовать действующему изданию документа ИАТА "Flight Simulation Training Device Design and Performance Data

Requirements" [83]. Такой пакет данных должен включать информацию о калибровке и частотных характеристиках звуковой сцены.

Оборудование, которое будет использоваться при проведении испытаний системы имитации звуковых эффектов должно соответствовать приведенным ниже стандартам или превышать их:

- ANSI S1.11-2004 «Спецификация для наборов октавных, полуоктавных и третьоктавных полосовых фильтров» [74];
- IEC 61094-4-1995 «Измерительные микрофоны». Частотные характеристики микрофона, используемого для записи звуков УИП, должны быть, по крайней мере, такими же, как и у микрофона, используемого для записи звуков утвержденного набора данных<sup>1</sup>.

Если при выполнении обычных полетов используется гарнитура, она должна использоваться и при оценке УИП.

Воспроизводящее оборудование. Для первоначальной оценки рекомендуется иметь в наличии такое воспроизводящее оборудование, как ноутбук, наушники, а также записи утвержденного набора данных, чтобы можно было провести субъективное сравнение результатов, полученных на УИП, с утвержденными ВГА данными.

Квалификационная оценка УИП проводится при максимальном уровне громкости, соответствующем фактическому уровню громкости утвержденного набора данных. Если максимальный уровень громкости не выбран, то инструктору должна предоставляться индикация о нештатной установке, чтобы предотвратить незапланированную работу при таком уровне громкости.

Фоновый шум включает шум в УИП, создаваемый гидравлической системой и системой охлаждения УИП, которые не связаны с самолетными шумами, а также посторонними шумами из других помещений здания. Фоновый

---

<sup>1</sup> Источник: Specifications for working standard microphones, Measurement microphones - Part 4 / IEC 61094-4 ED. 1.0 B:1995 // international electrotechnical commission // Nov, 1995

шум может оказывать серьезное воздействие на правильное моделирование звуков ВС, поэтому необходимо обеспечивать уровень фонового шума ниже звуков, создаваемых ВС. В некоторых случаях для компенсации фонового шума можно увеличивать уровень громкости имитируемых звуков. Применение увеличения уровня громкости для глушения фонового шума должно быть ограничено установленными допусками максимальной громкости и мнением эксперта, проводящего оценку УИП.

Приемлемость уровней фонового шума зависит от нормальных уровней звуков в ВС или воспроизводимом классе ВС. Уровни фонового шума меньше, чем указаны ниже, могут считаться приемлемыми (см. рис. 4.12) [45]:

- 70 дБ / 50 Гц;
- 55 дБ / 1000 Гц;
- 30 дБ / 16 кГц.

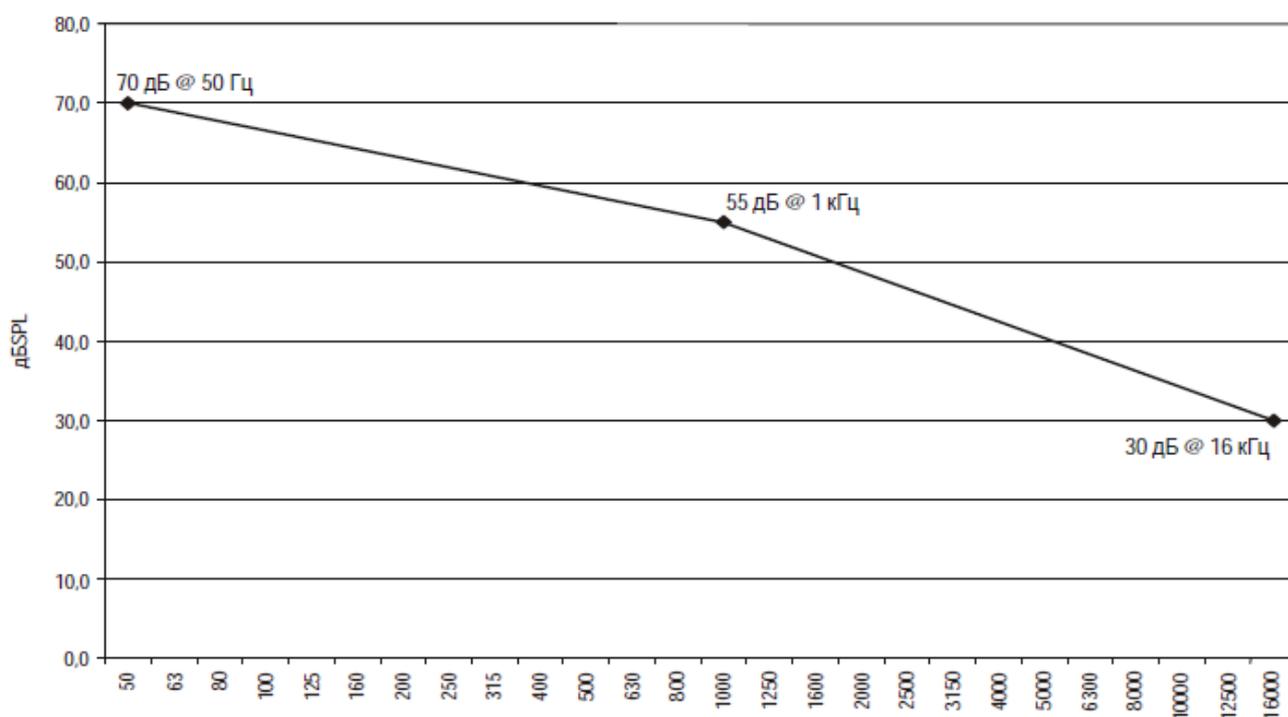


Рисунок 4.12 Частота полосы в 1/3 октавы (Гц)

Данные ограничения применимы для уровней фонового шума ненормированного диапазона полосы частот 1/3 октавы. Соответствие фонового шума данным ограничениям может не обеспечивать приемлемый уровень шума в

УИП. Звуки ВС ниже этих ограничений требуют тщательного рассмотрения и могут потребовать установления более низких ограничений на фоновый шум.

При проведении периодических оценок УИП может проводиться новое измерение фонового шума. При периодической оценке допуски амплитуды полосы 1/3 октавы не могут отличаться от первоначальных результатов более чем на  $\pm 3$  дБ.

Если результаты периодической оценки частотных характеристик и фонового шума УИП не выходят за пределы допуска относительно результатов первоначальной оценки, и эксплуатант УИП может подтвердить, что не произошло изменений аппаратного и программного обеспечения, которые могли бы повлиять на результаты испытаний, то проводить повторные проверки во время периодических оценок не требуется. Если во время периодических оценок испытания проводятся повторно, то результаты можно сравнивать с результатами первоначальной оценки, а не с основными данными самолета.

При первоначальной оценке должны быть представлены графики частотных характеристик для каждого канала. Эти графики могут использоваться и при периодической оценке. Применяются следующие допуски:

- амплитуды для полосы частот 1/3 октавы при периодической оценке не должны отличаться более чем на  $\pm 5$  дБ для трех последовательных полос по сравнению с первоначальными результатами;
- средняя величина суммы абсолютных разностей между результатами первоначальной и периодической оценки не должна превышать 2 дБ (см. таблицу 4.15).

При использовании установленных допусков необходимо учитывать дефекты записей с самолета, чтобы обеспечить имитацию, характерную для самолета.

Таблица 4.15 Пример допусков при периодических испытаниях частотных характеристик [33]

Средняя частота полосы	Результаты первоначальной оценки (дБ)	Результаты периодической оценки (дБ)	Абсолютная разность
50	75,0	73,8	1,2
63	75,9	75,6	0,3
80	77,1	76,5	0,6
100	78	78,3	0,3
125	81,9	81,3	0,6
160	79,8	80,1	0,3
200	83,1	84,9	1,8
250	78,6	78,9	0,3
315	79,5	78,3	1,2
400	80,1	79,5	0,6
500	80,7	79,8	0,9
630	81,9	80,4	1,5
800	73,2	74,1	0,9
1000	79,2	80,1	0,9
1250	80,7	82,8	2,1
1600	81,6	78,6	3,0
2000	76,2	74,4	1,8
2500	79,5	80,7	1,2
3150	80,1	77,1	3,0
4000	78,9	78,6	0,3
5000	80,1	77,1	3,0
6300	80,7	80,4	0,3
8000	84,3	85,5	1,2
10000	81,3	79,8	1,5
12500	80,7	80,1	0,6
16000	71,1	71,1	0,0
		Среднее значение:	1,1

#### 4.5 Методика валидационных испытаний динамической системы управления

Испытания динамической системы управления на УИП очень важны, так как имитируемые усилия должны в точности повторять усилия появляющиеся на ВС на разных режимах и этапах полета, в нормальных и аварийных ситуациях. Суть данных испытаний заключается в измерении усилий на органах управления УИП на различных этапах полета и сравнение полученных данных, с данными полученными при испытаниях ВС.

При проведении испытаний системы управления необходимо измерять положения штурвала, РУД(ов) и рычагов управления механизацией в зависимости от усилия приложенного к соответствующим органам управления или от времени.

Альтернативой использования внешнего тестового оборудования на штурвальной колонке и других органах управления при проведении данного испытания является применение регистрирующих приборов, встроенных в УИП. При проведении такой проверки, данные, фиксируемые оборудованием УИП, могут сразу регистрироваться и сопоставляться с данными полученными при испытаниях ВС. Если это контрольно-измерительное оборудование УИП было поверено с помощью внешнего измерительного оборудования, и при соблюдении условия, что в MQTG имеется подтверждение удовлетворительных результатов проведенного измерения, это оборудование может быть использовано при проведении и первоначальных, и периодических оценочных испытаний для выполнения измерений.

Проверку встроенного в УИП оборудования динамической системы управления при помощи внешних измерительных устройств следует проводить повторно после проведения существенных модификаций или ремонта системы. Использование встроенного оборудования и контроля позволяет не тратить время на установку внешних измерительных датчиков и устройств тем самым сильно

экономит время. При производстве статических и динамических испытаний динамической системы управления должны использоваться те же данные о величинах усилий и давления, которые были получены при производстве валидационных испытаний.

Проведение статистических испытаний динамической системы управления УИП с использованием дублирующего комплекта органов управления полетом необходимо только в том случае, если органы управления не имеют между собой механического соединения.

Наибольшее значение при проведении таких испытаний придается калибровке органов управления по крену, тангажу и рысканью. Непрерывный ход рычага/педали/рычага управления носовым колесом, от упора до упора, должен соответствовать ходу рычага на реальном ВС.

Допуски на усилия рычагов управления по крену и тангажу составляют:

- $\pm 0,9$  даН (деканьютон) (2 фунт - силы) по усилию страгивания;
- $\pm 2,2$  даН (5 фунт - силы) или  $\pm 10$  % от усилия;
- $\pm 2$  град. по углу отклонения руля высоты или элеронов;
- $\pm 3$  град. по углу отклонения интерцепторов (при проведении испытаний по каналу крена) [45].

При проведении испытаний усилий на органах управления по тангажу, также необходимо провести испытания системы тряски ручки управления/штурвала, при приближении к режимам сваливания (если такая система установлена на ВС). Допуск по величине усилий, при работе этой системы не должен превышать:

- $\pm 10$  % или 2,2 даН (5 фунт - силы) от усилия на ручке/штурвале управления.

При проведении этого испытания, в качестве валидационных данных должны использоваться проектные данные изготовителя ВС или данные летных испытаний ВС.

- Допуски по усилиям на педалях управления рысканьем составляют:
- $\pm 2,2$  даН (5 фунт - силы) по усилию страгивания;

- $\pm 2,2$  даН (5 фунт - силы) или  $\pm 10$  % от усилия;
- $\pm 2$  град. по углу отклонения руля направления [45].

Допуски по усилиям на рычаге управления носовым колесом составляют:

- $\pm 0,9$  даН (2 фунт - силы) по усилию страгивания;
- $\pm 1,3$  даН (3 фунт - силы) или  $\pm 10$  % от усилия;
- $\pm 2$  град. по углу поворота носового колеса [45].

Допуск триммера по тангажу в зависимости от положения поверхности управления:

- $\pm 0,5$  град. по углу отклонения триммера.

Целью данного испытания является в сравнение показаний индикатора положения триммера на УИП с запрограммированными величинами рычагов управления УИП.

Скорость триммирования по тангажу, при этом должна быть  $\pm 10$  % от величины скорости триммирования (град./с) или  $\pm 0,1$  град./с по скорости триммирования.

Для ВС использующих компьютерную систему управления необходимо применять типовые условия летных испытаний.

Допуск усилий на педалях тормоза в зависимости от давления в тормозной системе и усилий:

- $\pm 2,2$  даН (5 фунт - силы) или  $\pm 10$  % от усилия;
- $\pm 1,0$  МПа (150 фунт/кв. дюйм) или  $\pm 10$  % от давления в тормозной системе [45].

При проведении проверки соответствия возможно использование расчетов компьютера УИП. При проведении статического наземного испытания ВС, для сбора данных, нужно регистрировать величины давления в гидравлической системе в зависимости от положения педалей. Необходимо проверять отдельно правую и левую педали.

Данный вид испытаний не проводится для УИП 1го и 2го класса, так как они имеют только ознакомительные функции в плане пилотирования типа или класса ВС и не предназначены для отработки навыков техники пилотирования.

#### **4.6 Методика испытаний по определению транспортной задержки и времени запаздывания**

Целью данных испытаний является подтверждение того что демонстрируемая в УИП транспортная задержка не превышает установленный период времени. Данные испытания по определению величины транспортной задержки нужны для демонстрации приемлемости моделируемых характеристик при первоначальной квалификационной оценке, а затем используются для безрегрессионного тестирования при каждой периодической оценке для подтверждения того, что архитектура программного обеспечения УИП не ухудшилась.

Транспортная задержка должна измеряться от входа управляющего сигнала через интерфейс, через каждый модуль главного компьютера УИП и обратно через интерфейс на системы имитации акселерационных эффектов, приборного оборудования и визуализации. Измеренная транспортная задержка не должна превышать установленные допуски.

Максимальная измеренная задержка между входным и выходным сигналами не должна быть больше 100/200 мс для системы имитации акселерационных эффектов и приборов и 120/200 мс для системы визуализации в зависимости от класса УИП. Точка отсчета определяется по переднему фронту входного и выходного сигналов, так как они четко определяются.

Испытание по определению транспортной задержки системы визуализации должно включать режимы ее работы в ночное и дневное время, при этом требуется, чтобы ответная реакция системы имитации акселерационных эффектов происходила до окончания просмотра первого кадра, с новой информацией.

Во всех случаях в результате многих указанных в QTG испытаний динамических характеристик, а также субъективных испытаний управления, демонстрируется, что имитация по своим ответным реакциям динамически

эквивалентна самолету. Поэтому необходимо измерять только максимальное увеличение времени, добавленное различными интерфейсами и вычислительными элементами УИП, которые отсутствуют на ВС. Для этого сигнал обрабатывается при прохождении по всей системе – от первого входного сигнала, поступившего на первый датчик от штурвала или рычага (органа) управления, и далее через все последующие вычислительные устройства и назад до физического обратного воздействия на пилота, осуществленного через системы визуализации, отображения приборной информации или системы имитации акселерационных эффектов гироплатформы.

Для более эффективного отслеживания прохождения сигнала возможно использование метода квитиования от элемента до элемента, позволяющего увидеть передний фронт сигнала в любой точке системы. При этом следует отметить, что сигнал должен проходить через каждый элемент архитектуры аппаратного и программного обеспечения, а моделирование следует проводить в нормальном режиме со всеми задействованными элементами программного обеспечения.

Для УИП имитирующих самолеты с электронным управлением, измеренная транспортная задержка на пути между управляющим входным сигналом пилота и результирующим выходом, будет включать элементы задержки самого самолета. Это могут быть задержки, создаваемые БРЭО систем управления полетом или системами индикации. Поскольку целью испытания по измерению величины транспортной задержки является только измерение времени транспортной задержки, характерного для УИП, а не самолета, из времени задержки, измеренного в результате испытания, следует вычесть время пропускной способности элементов БРЭО самолета. Время пропускной способности должно основываться на данных, предоставленных изготовителем самолета или БРЭО.

Для самолетов с компьютерным управлением, в отношении которых установлено, что путь передачи данных по информационному каналу к оборудованию в самолете подвержен воздействию асинхронизма компьютера и шины данных, неопределенности или "вибрации (дрожанию)" порядка величины,

аналогичного величине допуска для транспортной задержки, заявления о соответствии (ЗОС) будет достаточно вместо проведения эксплуатационного испытания. Это опциональное заявление о соответствии (ЗОС) должно подтверждать эквивалентность модели реальному самолету, а также предоставлять рациональное объяснение статистической неопределенности.

Схема испытания по определению транспортной задержки и времени запаздывания представлена на рисунке 4.13.

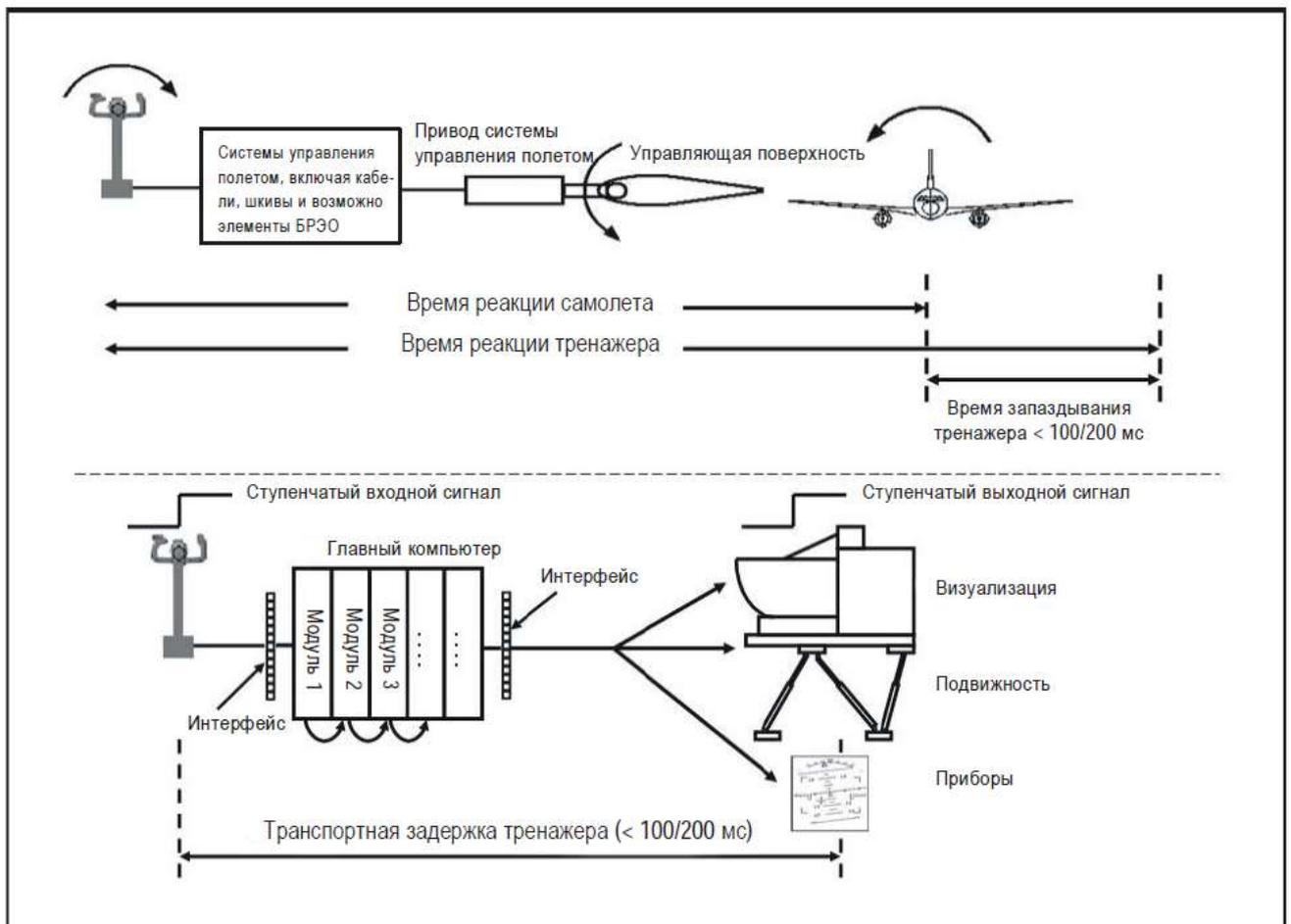


Рисунок 4.13 «Схема испытания по определению транспортной задержки и времени запаздывания» [33]

Для определения времени запаздывания на ВС с неэлектронной системой управления необходимо провести девять испытаний. Испытания должны проводиться для конфигураций взлета, крейсерского полета и захода на посадку, по трем осям. Следует использовать те допуски, которые установлены для испытаний транспортной задержки. Для обеспечения испытаний по определению времени запаздывания необходимы данные летных испытаний.

Целью испытаний по определению времени запаздывания является сравнение зарегистрированной ответной реакции УИП с данными полученными при испытаниях ВС в конфигурациях взлета, крейсерского полета и захода на посадку, при подаче пилотом резких входных сигналов на органы управления полетом по всем осям вращения. Делается это для того, чтобы проверить, что время ответной реакции систем УИП по сравнению со временем ответной реакции ВС (согласно данным, представленным изготовителем ВС) не превышает разрешенных допусков, указанных в таблицах валидационных испытаний и, что акселерационные и визуальные воздействия соответствуют ответной реакции настоящего ВС. При определении времени ответной реакции ВС предпочтение отдается ускорению по соответствующей оси вращения.

Поскольку используемый при испытаниях допуск представляет собой малую величину времени, измеряемую в мс, для получения значимого результата испытаний важно очень точно измерять ответные реакции УИП и ВС.

Испытание времени ответной реакции ВС представляет собой проверку синхронизации систем имитации акселерационных эффектов, визуализации и приборного оборудования кабины летного экипажа с целью определения величины запаздывания, вносимого компьютерной системой УИП. Поскольку в качестве исходных данных используются данные ВС, необходимо определять время ответной реакции ВС для каждого испытания, с тем чтобы отделить время ответной реакции УИП.

Трудно установить момент начала движения ВС в результате отклонения пилотом рычага управления по выбранной оси, поскольку маловероятно, что входной сигнал был ступенчатым. В целях установления точной методики определения первоначального движения самолета, для проведения таких испытаний необходимо определить первоначальное движение как точку, в которой угловое ускорение по соответствующей оси достигает 10% от максимального углового ускорения. Временем ответной реакции самолета считается интервал времени между отклонением пилотом органа управления и

моментом, когда самолет достигнет 10% своего максимального ускорения в миллисекундах.

Время ответной реакции системы имитации акселерационных эффектов УИП – это измеряемое в мс время между моментом отклонения пилотом органа управления и первым различимым движением гиropлатформы системы имитации акселерационных эффектов, которое будет зафиксировано установленными на ней акселерометрами.

Временем запаздывания системы имитации акселерационных эффектов называется время ответной реакции УИП (системы имитации акселерационных эффектов) минус время ответной реакции самолета в мс. Эта величина времени подлежит проверке на соответствие допускам.

Время ответной реакции системы визуализации УИП – это измеряемое в мс время между моментом отклонения пилотом органа управления и первым различимым визуальным изменением, соответствующим системе визуализации.

Время запаздывания системы визуализации – это время ответной реакции УИП (системы визуализации) минус время реакции самолета в мс. Эта величина времени подлежит проверке на соответствие допускам.

Время ответной реакции системы визуализации измеряется до начала кадра, в котором произошли изменения.

Время ответной реакции приборов в кабине летного экипажа УИП – это измеряемое в мс время между моментом отклонения пилотом органа управления и первым различимым изменением показаний выбранного прибора в кабине летного экипажа.

Время запаздывания приборов в кабине летного экипажа – это время ответной реакции УИП (прибора в кабине летного экипажа) минус время реакции самолета в м/с.

#### 4.7 Функциональные и субъективные испытания

Потребность в проведении функциональных и субъективных испытаний появляется из - за необходимости подтверждения того, что в результате произведенного моделирования ВС была получена полностью работоспособная, интегрированная, приемлемая копия ВС. Необходимо, чтобы субъективное испытание охватывало те области режимов полета, которые могут быть в достаточной мере усвоены обучаемым пилотом. Как и валидационные испытания, функциональные и субъективные испытания, проводимые во время первоначальной оценки, являются лишь "выборочной проверкой", а не строгой экспертизой качества моделирования во всех областях режимов полета и функционирования систем УИП. Эксплуатант УИП должен провести приемосдаточные испытания УИП с помощью производителя еще до того, как тренажерное устройство будет представлено экспертам ВГА для первоначальной оценки.

Функциональные испытания должны проводиться согласно логической последовательности операций в полете одновременно с оценкой летно-технических характеристик и пилотажных качеств УИП. Это также позволяет УИП функционировать в течение двух-трех часов в режиме реального времени, без перестановки этапов полета или "замораживания", предоставляя тем самым доказательство надежности [79]. Для экономии времени, функциональные и субъективные испытания УИП рекомендуется проводить совместно с программой проведения сертификационных испытаний системы имитации акселерационных эффектов с помощью разработанного программного обеспечения представленной выше в п.2.3.2., так как она имеет логическую последовательность, подходящую для проведения функциональных и субъективных испытаний, и эти испытания могут быть проведены одновременно. Полезным источником материалов для руководства при проведении функциональных и субъективных испытаний

является документ RAeS "Aeroplane Flight Simulator Evaluation Handbook", том II.[73]

В процессе проведения функциональных/субъективных испытаний, необходимо придерживаться приведенных ниже рекомендаций и последовательности действий.

Перед проведением функциональных и субъективных испытаний, необходимо проверить, что конструкция и функции всех переключателей и индикаторов в кабине летного экипажа идентичны установленным в имитируемом ВС.

Во время запуска двигателя/ей необходимо проверить процедуры нормального, альтернативного и нештатного запуска и останова двигателя.

В процессе руления необходимо проверить процедуры буксировки ВС, движение на тяге собственных двигателей, приемистость двигателя на земле, усилия на РУДах, имитацию проскальзывания носового колеса в разворотах, средства руления, работу тормозной системы в нормальном режиме и имитацию руления при низкой видимости.

При проведении взлета, необходимо учитывать ограничения по скорости и сдвигу ветра и отказы соответствующих систем ВС. На взлете необходимо проверить управляемость ВС (также при максимальном боковом ветре), взлет с уменьшенной тягой двигателей, взлет с грунта (если применимо), взлет с коротких ВПП и при ограниченной видимости, работу шасси и механизации крыла, возможность выполнения прерванного взлета с максимальной скорости принятия решения, продолженный взлет с отказом критического двигателя, возможности набора высоты при наличии отказов двигателей и систем.

В крейсерском полете необходимо проверить возможности изменения воздушной скорости в горизонтальном полете, ЛТХ, управляемость на больших и малых скоростях и высотах, имитацию затягивания в пикирование, бафтинга, предсрывной тряски и раскачки типа «голландский шаг», развороты на разных скоростях и с разными углами крена, маневрирование с нерабочим/ми

двигателями, отказы систем управления, возможности планирования и точность отображения местности.

При выполнении захода на посадку необходимо провести проверку имитации возможности захода на посадку по всем точным и неточным навигационным системам, тренировка которых предусмотрена программой подготовки летного состава на данном типе ВС в ручном и автоматическом режимах. Данные характеристики должны быть проверены с отказом различных систем управления и двигателя, которые предусмотрены в программе подготовки летного состава на данный тип ВС. Так же должны быть проверены имитации работы выпуска шасси, закрылков и воздушных тормозов.

При имитации ухода на второй круг следует проверить имитационные характеристики работы механизации и двигателей при выполнении маневра в ручном и автоматическом режимах (если применимо), работу системы предупреждения о сдвиге ветра.

При проведении проверки имитационных возможностей УИП на посадке проверяется работа тормозов и интерцепторов в ручном и автоматических режимах, работа антиюзовой автоматики и стояночного тормоза, выдерживание направления на пробеге (при максимальном значении боковой составляющей ветра), проверка работы устройств реверса тяги СУ.

## 4.8 Квалификационная оценка УИП новых типов ВС

Квалификационная оценка – это процедура подтверждения соответствия технических характеристик, имитационных возможностей и квалификационной оценки УИП, полученной при его первичных валидационных испытаниях с учетом его старения и износа.

До ввода в эксплуатацию нового ВС или его модификации обычно невозможно получить от производителя ВС окончательно утвержденные данные о его летно-технических характеристиках, пилотажных качествах, системах или БРЭО. Для снижения до минимума соответствующих рисков во время подготовки пилотов следует принимать все необходимые меры для получения окончательных данных в возможно кратчайший срок. В целях организации переподготовки первых летных экипажей до ввода первого ВС в эксплуатацию, возможно использование предварительных данных, предоставленных производителем ВС для промежуточной квалификационной оценки УИП.

Возможности прохождения подготовки летными экипажами должны оцениваться ВГА, которое может установить ограничения по времени, ограничения в видах и программах подготовки или другие ограничения до тех пор, пока не будет окончательно определен уровень квалификации УИП.

Учитывая последовательность событий и время, которое требуется для получения окончательных данных, ВГА может согласиться с просьбой об использовании некоторых частично подтвержденных предварительных данных о ВС и его системах, а также первоначальных данных о БРЭО для составления необходимого графика программы подготовки, сертификации и ввода в строй пилотов.

Квалификационная оценка УИП должна проводиться на основе утвержденных данных. Если эксплуатант УИП хочет пройти квалификационную оценку на основе предварительных данных, то ему следует обратиться в ВГА

сразу же, как станет ясно, что для квалификационной оценки УИП потребуется проведение особых мероприятий или же станет понятно, что для этого потребуется использовать предварительные данные.

Изготовителям ВС и УИП также должна быть направлена информация о такой необходимости, и с ними следует согласовать сроки представления данных и план проведения испытаний. В планах должно предусматриваться проведение периодических встреч заинтересованных сторон для регулярного обмена информацией о состоянии проекта.

Что касается новых типов ВС, то для предварительной квалификационной оценки УИП могут быть использованы данные изготовителя ВС, частично подтвержденные данными летных испытаний. Однако сразу после появления данных изготовителя, полученных во время сертификации типа самолета, должна проводиться повторная квалификационная оценка УИП. График проведения повторной квалификационной оценки должен согласовываться ВГА, эксплуатантом УИП, изготовителем УИП и изготовителем ВС.

Точная процедура получения согласия ВГА на использование предварительных данных зависит от каждого конкретного случая и конкретного производителя. Программа разработки и испытаний каждого нового ВС, составленная изготовителем, предназначена для решения задач конкретного проекта и в ней могут отсутствовать какие-то мероприятия или их последовательность, которые есть в программе другого изготовителя или того же изготовителя, но составленной для другого ВС. По этой причине невозможно установить предписанный безвариантный порядок получения согласия на использование предварительных данных. В этом случае необходимо согласовать с ВГА возможность использования имеющихся валидационных данных для первоначальной валидационной оценки.

Описание рекомендованных необходимых для моделирования и валидации УИП данных, которые представляются изготовителем самолета, приведено в документе ИАТА "Flight Simulation Training Device Design and Performance Data Requirements"[18].

Должна обеспечиваться гарантия, что предварительные данные – это наилучшие представленные изготовителем данные, отображающие ВС, и должна быть обоснованная уверенность в том, что окончательные данные почти не отличаются от предварительных данных, которые в дальнейшем будут только уточнены, и что они не являются всего лишь расчетными данными [82].

Предварительные данные, которые были использованы для промежуточной квалификации, не предполагается использовать в течение нечетко ограниченного периода времени. Окончательные данные от изготовителя ВС должны быть получены в течение шести месяцев после ввода в эксплуатацию самолета, или в сроки, согласованные между ВГА, эксплуатантом УИП и изготовителем ВС, но обычно не позже чем через год после ввода ВС в эксплуатацию. В случае подачи заявки на проведение временной квалификационной оценки с использованием предварительных данных, эксплуатант УИП и ВГА должны согласовать программу обновления. В программе, как правило, указывается, что обновленные окончательные данные должны быть установлены на УИП в течение шести месяцев после их выпуска, но не позднее двух лет, если только не существует каких-либо особых обстоятельств или согласован другой график.

Обновление БРЭО на УИП должно проводиться одновременно с обновлением аппаратного и программного обеспечения БРЭО ВС. Допустимый разрыв времени между обновлениями ВС и УИП не является фиксированной величиной, однако он должен быть минимальным. Этот период зависит от масштаба обновлений, а также от того, затрагивает ли это QTG или программу обучения и проверки пилотов.

Разрешенные различия между вариантами БРЭО ВС и УИП и их влияние на квалификационную оценку УИП должны быть согласованы эксплуатантом УИП и ВГА. В ходе согласования программы квалификационных испытаний целесообразно проводить консультации с изготовителем УИП.

Ниже приведены примеры расчетных данных и источники, которые могут быть использованы при составлении плана проведения предварительной квалификационной оценки УИП.

План предварительной квалификационной оценки должен включать разработку QTG с использованием имеющихся данных летных испытаний и математического моделирования.

Для обеспечения надлежащей проверки двух наборов данных, изготовитель ВС должен сравнить характеристики реакции имитационной модели с данными летных испытаний при тех же входных сигналах и тех же атмосферных условиях, которые были зарегистрированы в ходе летных испытаний [82]. Реакции модели должны быть результатом моделирования, при котором перечисленные ниже системы функционировали бы интегрировано и в соответствии с расчетными данными, представленными производителю УИП:

- силовая установка;
- аэродинамические системы;
- массовые характеристики;
- рычаги управления;
- система обеспечения устойчивости и управляемости;
- тормозная система/шасси.

Для оценки пилотажных качеств и летно-технических характеристик при квалификационных испытаниях УИП новых типов самолетов целесообразно привлекать квалифицированных пилотов ВГА или пилотов-испытателей изготовителя самолета.

При внесении изменений в конструкцию ВС в процессе эксплуатации ВС, оказывающих значительное влияние на летно-технические характеристики ВС или на технологию работы экипажа, производитель УИП должен внести изменения в УИП, получив новые данные испытаний ВС от производителя ВС. (возможно получение данных только о тех характеристиках ВС, на которые оказала влияние модернизация). После модернизации УИП, должны быть внесены изменения в QTG и проведены новые испытания УИП, которые могут ограничиваться только испытание модернизированных систем.

#### **4.9 Периодические оценки и представление данных валидационных испытаний**

Периодические оценки УИП могут проводиться календарно или по отработанному количеству часов (что наступит раньше), а так же после ремонта, смены места установки или модернизации УИП. Сроки проведения периодических оценок устанавливаются ВГА на основании обоснованных рекомендаций изготовителя УИП.

В ходе проведения первоначальной квалификационной оценки УИП составляется MQTG. Это основной документ, с которым, с учетом внесенных в него поправок и изменений, сравниваются результаты испытаний при периодической оценке УИП.

Процесс первоначальной и периодических оценок зависит от уровня адекватности оцениваемой характеристики УИП. Составление MQTG является важным шагом при подготовке к проведению последующих периодических оценок.

Принятый в настоящее время метод представления данных результатов валидационных испытаний при периодической оценке предусматривает сопоставление этих данных с результатами MQTG или стандартом справочных данных путем наложения графиков с этими результатами на графики с утвержденными данными.

Результаты испытаний тщательно анализируются на соответствие допускам. Этот процесс может быть длительным, особенно в тех случаях, когда в данных прослеживаются быстрые изменения или явные отклонения, требующие инженерной оценки применения допусков. В таких ситуациях решением является сравнение полученных результатов с данными MQTG, и если отличий нет, то испытание считается принятым. Эксплуатант УИП и ВГА выявляют отличия в

результатах валидационных испытаний УИП с момента первоначальной квалификационной оценки.

Для УИП 1го, 2го и 3го классов, при наличии незначительных отклонений от MQTG, результаты испытаний считаются приемлемыми, если при сравнении с утвержденными данными они укладываются в границы допусков.

Метод представления результатов валидационных данных испытаний при периодической оценке, описание которого приведено ниже, предлагается исключительно в целях повышения эффективности проведения эксплуатантами УИП периодических валидационных испытаний УИП. Повышение эффективности зависит от возможности немедленно определять любые отличия между данными MQTG и результатами испытаний при периодической оценке независимо от опыта лиц, которые проводят или оценивают испытание.

На практике этот метод может применяться только при использовании в УИП системы автоматического тестирования, использование которой настоятельно рекомендуется для доказательства повторяемости результатов валидационных испытаний.

Эксплуатантам УИП рекомендуется сравнивать результаты периодических валидационных испытаний с данными MQTG или стандартом справочных данных. В связи с тем, что каждый результат испытаний в MQTG в принципе является "эталонным" для испытания УИП, то любые различия в результатах валидационных испытаний будут очевидны. Замеченное в установленном УИП различие может свидетельствовать об изменении его характеристик. Если не производились какие-либо модификации программного обеспечения или изменения оборудования, то различие может свидетельствовать об износе оборудования или о каких-либо других отклонениях или ухудшении характеристик. Постоянно повторяющийся результат периодических валидационных испытаний, отличающийся от данных MQTG для нового УИП, может также свидетельствовать об ошибках испытаний в MQTG, и они должны быть обновлены. Это следует делать во время первой(ых) периодической(их) оценки(ок) УИП.

У эксплуатанта УИП должна быть возможность сравнивать результаты периодических испытаний с результатами MQTG или стандартом справочных данных. Кроме того, должна обеспечиваться возможность нанесения на график результатов валидационных испытаний, полученных как в автоматическом (если используется), так и в ручном режиме тестирования.

Для всех классов УИП любые различия между результатами испытаний при периодической оценке и данными MQTG или стандартом справочных данных являются вероятным признаком изменения характеристик тренажерного устройства, что может привести к некачественной или даже вредной подготовке летного состава на данном УИП. При повторной оценке должен проводиться анализ всех выявленных отличий между данными MQTG и результатами повторных испытаний УИП, особенно если эти различия выходят за пределы допусков, и их нельзя обосновать, но решение об этом принимается эксплуатантом УИП и\или ВГА.

В случаях, когда проведенный анализ показывает отклонение полученных на УИП данных от MQTG на значения выше соответствующих допусков, данное устройство должно выводиться из эксплуатации до проведения необходимых доработок и новой квалификационной оценки, или понижаться в классе использования до приемлемого согласно допусков уровня.

## Выводы по главе 4

В 4ой главе разработана и сформулирована методика сертификации современных и перспективных УИП всех классов. Разработаны методики проведения валидационных испытаний систем имитации акселерационных эффектов, систем воспроизведения визуальных и звуковых эффектов, динамических систем управления и определения транспортной задержки. Даны рекомендации по допускам для всех перечисленных выше систем, которые могут применяться при проведении валидационных испытаний УИП.

При разработке методики испытаний системы имитации акселерационных эффектов предложено использование созданного программного обеспечения, доказана его работоспособность, эффективность и пригодность для использования в процессе проведения валидационных испытаний систем имитации акселерационных эффектов УИП при имитации сваливания и попаданий в СПП.

Приведены примеры графиков прироста перегрузки по трем осям и их сравнение, при попадании ВС Як-52 в СПП и имитации таких СПП на УИП Боинг 747-400 и Боинг 737-800.

Разработаны подробные рекомендации по проведению валидационной оценки системы имитации акселерационных эффектов перспективных УИП, способных имитировать попадания в СПП.

Приведена разработанная согласно документов ИКАО методика проведения функциональных и субъективных испытаний УИП а так же испытаний по определению транспортной задержки и времени запаздывания.

Даны рекомендации по квалификационной оценке УИП новых типов, проведению периодических оценок и представлению валидационных данных таких испытаний.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования, его цель достигнута в полном объеме. Решена научная задача по генерации методики сертификации современных и перспективных устройств имитации полета, предназначенных для тренировки летного состава выводу из сложных пространственных положений. Полученная методика учитывает все современные требования, применяемые к устройствам имитации полета, мировой опыт в сфере сертификации подобных устройств и нормативно правовую базу по данной тематике.

В данной работе получены следующие результаты:

1. Проведен анализ требований нормативных документов применяемых при производстве и сертификации технических средств обучения, предназначенных для подготовки летного состава в Российской Федерации и других странах.

2. Рассмотрены требования, предъявляемые при сертификации устройств имитации полета, предназначенных для первоначальной подготовки, переучивания и поддержания квалификации летного состава гражданской авиации.

3. Исследован широкий спектр технических средств обучения летного состава, применяемый в авиационных учебных центрах.

4. Произведен анализ методик сертификации устройств имитации полета применяемых в других странах и рекомендации международной организацией гражданской авиации (ИКАО) по данному вопросу.

5. На основании проведенного анализа программ подготовки летного состава гражданской авиации в вузах и на авиапредприятиях, произведено обоснование необходимости проведения тренировок летного состава гражданской авиации выводу из сложных пространственных положений и необходимости

возвращения данного вида тренировки в программу первоначальной подготовки летного состава в стенах учебных заведений ГА.

6. Разработаны требования к устройствам имитации полета способным имитировать попадания в сложные пространственные положения и выход из них.

7. Создано программное обеспечение, предназначенное для проведения валидационных испытаний систем имитации акселерационных эффектов устройств имитации полета. Для данной программы создан алгоритм сравнения графиков прироста перегрузки по трем осям с расчетом коэффициента подобия УИП реальному ВС в автоматическом режиме.

8. Проведены испытания данного ПО, и доказана его работоспособность и эффективность.

9. На данное ПО получено свидетельство о регистрации Роспатента (Приложение 1).

10. Для проведения испытаний специально разработан и изготовлен с применением технологии 3D печати, держатель мобильного устройства в кабине летного экипажа УИП и ВС.

11. Сформулирована методика проведения сертификационных испытаний системы имитации акселерационных эффектов УИП с помощью созданного программного обеспечения.

12. На основании рекомендаций международной организации гражданской авиации (ИКАО) и мировой практики, сформулирована необходимость разделения УИП на классы по уровням имитационных характеристик и обоснованно количество этих классов

13. Разработаны минимальные требования к компоновке кабин и усилиях на рычагах управления, к математической модели полета и двигателя, к уровню имитации самолетных систем, к звуковым эффектам, к визуальным эффектам и системам имитации акселерационных эффектов УИП разных классов.

14. Сгенерирована методика проведения валидационных испытаний систем имитации акселерационных эффектов УИП, систем визуализации, систем имитации звуков, динамической системы управления, измерения транспортной

задержки и времени запаздывания, проведения функциональных и субъективных испытаний, квалификационной оценки УИП новых типов ВС, проведения периодических оценок УИП и представления валидационных данных.

15. Создана методика сертификации устройств имитации полета для тренировки летного состава по выводу из сложных пространственных положений.

Процесс сертификации и правила ее проведения очень важны в современном мире они помогают стандартизировать большое количество процессов, что делает данные процессы проще, регламентированнее и безопаснее.

Рекомендуется имплементация результатов полученных в данной работе в документы регламентирующие процесс проведения сертификации УИП в России и применение новейших УИП, способных имитировать попадания в СПП, что позволит существенно улучшить уровень безопасности полетов в нашей стране.

Дальнейшие перспективы разработки темы исследования представляют проведение большего количества испытаний УИП и получение достаточного объема данных для полного ухода от субъективной оценки УИП, а так же совершенствование алгоритма сравнения графиков прироста перегрузки, для проведения еще более точных измерений и анализа данных, при проведении сертификационных испытаний.

Все вышесказанное дает основания говорить о том, что цель диссертационного исследования достигнута в полном объеме.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

- АТ – авиационный тренажер;
- АЗС – автомат защиты сети;
- АП – авиаперсонал;
- АУЦ – авиационный учебный центр;
- БД – база данных;
- БРЭО – бортовое радиоэлектронное оборудование;
- БСТО – бортовая система технического обслуживания;
- ВГА – ведомство ответственное за вопросы гражданской авиации в стране;
- ВПП – взлетно-посадочная полоса;
- ВС – воздушное судно;
- ВСУ – вспомогательная силовая установка;
- ГА – гражданская авиация;
- ДПАП – департамент подготовки авиационного персонала;
- ЗОС – заявление о соответствии;
- ИАТА – международная ассоциация воздушного транспорта;
- ИДУСС – интерактивные действующие учебные стенды самолета;
- ИКАО – международная организация гражданской авиации;
- ИКЛ – интерактивная кабина летчика;
- ИТП – инженерно-технический персонал;
- КПД – коэффициент полезного действия;
- КТЭС – комплексный тренажер экипажа самолета;
- КУЛП – курс учебной летной подготовки;
- ЛА – летательный аппарат;
- НГАТ – Нормы годности авиационных тренажеров 1998г.;
- НИИСУ – Научно-исследовательский институт стандартизации и унификации;

НОК – независимая оценка квалификации;

ОВЧ – очень высокая частота;

ОМСТ – методика проведения объективного испытания системы имитации акселерационных эффектов

ПВП – правила визуальных полетов;

ПО – программное обеспечение;

ППП – полет по приборам;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

РД – рулежная дорожка;

РЛС – радиолокационная система;

РСНВ – режим самовращения несущего винта (авторотация);

РУД – рычаг управления двигателем;

СМУ – сложные метеорологические условия;

СПО – специальное программное обеспечение;

СПП – сложное пространственное положение;

ТАСП – тренажер аварийно-спасательной подготовки;

ТО и Р – техническое обслуживание и ремонт;

УИП – технические средства обучения;

УВД – управление воздушным движением;

УИП – устройство имитации полета;

УК АСП – учебный класс аварийно-спасательной подготовки;

УКК – учебный компьютерный класс;

УМ – учебный материал;

УТО – учебно-тренировочная организация;

УТС – учебно-тренировочное средство;

УТЦ – учебно-тренировочный центр;

ФАП – федеральные авиационные правила;

ФЗ – федеральный закон;

АС – консультативный циркуляр;

ACARS – двусторонняя система связи между экипажем ВС и диспетчером УВД;

ARINC – корпорация «Авиационное радио»;

ASOS – автоматическая система наблюдения за поверхностью (АСНВ);

ATA – Ассоциация воздушного транспорта Америки;

ATIS – служба автоматической передачи информации в районе аэродрома;

ATPL – свидетельство линейного пилота;

AWOS – станция автоматического наблюдения за погодой;

BARO-VNAV – барометрическая вертикальная навигация;

CAVOK – кодовое слово, обозначающее хорошую погоду;

CBT – техническое обучение персонала с использованием компьютеров;

CFIT – столкновение исправного воздушного судна с землей;

CFR – свод федеральных нормативных актов;

CPL – свидетельство коммерческого пилота;

CQ – поддержание квалификационного уровня;

CR – квалификационная отметка о классе;

DGPS – дифференциальная глобальная система определения местоположения;

DME – дальномерное оборудование;

EASA – европейское агентство по авиационной безопасности;

EFVS – система технического зрения;

EGPWS – усовершенствованная система предупреждения о близости земли;

EPR – степень повышения давления в двигателе;

FAA – федеральное агентство воздушного транспорта США;

FANS – система навигационного прогноза;

FAR – федеральные авиационные нормативные акты;

FCL – лицензирование летных экипажей;

FMS – система управления полетом;

FOT – работы по тестированию оборудования;

FPTD – тренажерное устройство обучения летным процедурам;

FSD – устройство имитации полета;

GBAS – наземная система функционального дополнения с широкой зоной действия;

GLS – система посадки по системе GBAS;

GNSS – глобальная навигационная спутниковая система;

GPS – глобальная система определения местоположения;

GPWS – система предупреждения об опасном сближении с землей;

HUD – устройство визуализации технического зрения слепой посадки;

IATA – международная ассоциация воздушного транспорта;

ICAO – международная организация гражданской авиации;

ILS – система посадки по приборам;

Ю – проводимые эксплуатантом первоначальная подготовка и проверки;

IR – подготовка пилотов с целью выдачи отметки о праве на полеты по приборам;

IR (I,R) – квалификационная отметка о праве на полеты по приборам;

JAA – объединенное управление гражданской авиации Европы;

LMS – система управления обучением;

LOC – работы по осмотру ВС;

LOC/LLZ – курсовой радиомаяк системы посадки по приборам;

LOC-BC – курс по обратному лучу курсового радиомаяка;

LOS – ограниченный участок с препятствиями или имитация условий, приближенных к реальным (в зависимости от контекста);

MEL – минимальный перечень оборудования;

MFTD – тренажерное устройство наземного обслуживания с функцией полета;

MLS – микроволновая система посадки;

MMEL – минимальный перечень оборудования предоставляемый фирмой изготовителем ВС;

MPL – свидетельство пилота многочленного экипажа;

MTD – тренажерное устройство наземного обслуживания;

- RAPI – указатель траектории точного захода на посадку;
- PINS – точка в пространстве;
- PPL – свидетельства частного пилота;
- QFE – установка высотомера по атмосферному давлению на уровне превышения конкретной точки;
- QNH – установка высотомера по атмосферному давлению, приведенному к уровню моря;
- QRH – справочник экипажа ВС, предназначенный для устранения неисправностей в полете;
- QTG – справочник предназначенный для квалификационной оценки УИП;
- R/I – снятие установка оборудования;
- RAeS – королевское авиационное общество;
- Re – восстановление навыков пилотирования;
- RL – подготовка и проверки для подтверждения свидетельства;
- RNAV – зональная навигация;
- RNP – требуемые навигационные характеристики;
- RNP APCH – заход на посадку на основе RNP с требуемым разрешением;
- RO – проводимые эксплуатантом переподготовка и проверки;
- RVR – дальность видимости на ВПП;
- SBAS – система зональной навигации;
- SCORM – Эталонная модель объектов общедоступного содержимого;
- SDF – упрощенный курсовой маяк;
- SGH – работы по наземному обслуживанию воздушного судна;
- SPL – уровень звукового давления;
- SPL RMS – среднеквадратичное значение уровня звукового давления;
- STD – устройство комплексной лётной подготовки;
- STOL – относящиеся к самолетам короткого взлета и посадки;
- T – подготовка, которая засчитывается как подготовка к выдаче свидетельства, квалификационной отметки или к присвоению квалификации, но

не является завершенной подготовкой, поскольку характеристики используемого тренажера не отвечают требованиям к подготовке;

TCAS – система выдачи информации о воздушном движении и предупреждения столкновений;

TDP – точка принятия решения о взлете;

TGL – листок временного руководства;

TP – подготовка, которая засчитывается как подготовка для выдачи свидетельства, получения квалификационной отметки, для присвоения квалификации. Уровни адекватности всех характеристик тренажера должны соответствовать типу тренажера, требуемому для подготовки и такой тренажера может применяться для контроля навыков;

TR – подготовка пилотов с целью выдачи отметки о праве полета на типе ВС;

TR (I,R) – подготовка и проверки для получения квалификационной отметки о типе (первоначальное получение, подтверждение);

TST – тренажер на сенсорных дисплеях;

TSTF – тренажер на сенсорных дисплеях с функцией полета;

VASIS – система визуальной индикации глиссады;

VGS – Видимый участок земной поверхности;

VMT – виртуальный тренажер наземного обслуживания.

VNAV – система вертикальной аэронавигации;

VOR – всенаправленный ОБЧ - радиомаяк;

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиационные тренажеры «Динамика» 20 лет / ЗАО ЦНТУ «Динамика». - М., 2009. 37 с.
2. Аксенов, В.Г. Отечественное авиатренажеростроение реалии, проблемы и перспективы / В.Г. Аксенов // Аэрокосмический курьер. 2005. - № 2. - С.64-66.
3. Аралов, Г.В. В погоне за виртуальной реальностью / Г.В. Аралов // Гражданская авиация. 2008. - № 7. - С.38-42.
4. Безопасность полетов летательных аппаратов / под ред. В. С. Иванова. — М.: Изд-во ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 2003. — 365 с.
5. Бирюков, В.В. Вывод из сваливания: нужно уметь, можно научить // Авиа транспортное обозрение АТО. 2013. № 136. С. 136-138.
6. Бодрунов, С.Д. Авиационное тренажеростроение в России, история, современное состояние, перспективы развития // Тренажерные технологии и симуляторы: Сборник докладов конференции. — С-Петербург, 2002. — С.4-12.
7. Будылина, Е.А. Аналитическое определение имитационных характеристик тренажных и обучающих комплексов / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, С.А. Пылайкин // Фундаментальные исследования. – 2014. – №6-4. – С. 698-702.
8. Введение в математическое моделирование : учеб. пособие для студ. вузов / В. Н. Ашихмин и др.; под ред. П. В. Трусова. М.: Логос, 2007. — 440 с.
9. «Воздушный кодекс Российской Федерации» от 19.03.1997 №60-ФЗ (ред. от 13.07.2015) (с изм. и доп., вступ. в силу с 24.07.2015); ФАВТ.М. 2015. – С.46-98.

10. Головнин, С.М. Риск потери навыка решения проблем пилотами гражданской авиации в условиях неопределённости // Вестник Московского авиационного института. 2018. Т. 25. № 2. С.184-190.

11. Дегтярев, В.С. Проблематика сертификации современных и перспективных авиатренажеров / В.С. Дегтярев, О.Ф. Машошин, М. В. Кулаков // Инновации в гражданской авиации, - 2018. №1. С.84-89.

12. Дегтярев, В.С. Использование акселерометров мобильных устройств в целях проведения сертификационных испытаний авиатренажеров / В.С. Дегтярев, О.Ф. Машошин, А.В. Дегтярева // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации. Сборник трудов VIII Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. 2019. С.20-24.

13. Дегтярев, В.С. Проблематика обучения летного состава гражданской авиации выводу из сложных пространственных положений / В.С. Дегтярев, О.Ф. Машошин, А.В. Дегтярева // Вестник ГОСНИИ ГА, - 2020, №30, С.78-85.

14. Дегтярев, В.С. Проблематика оценки имитации акселерационных эффектов полнопилотажными авиационными тренажерами / В.С. Дегтярев // Вестник ГОСНИИ ГА, - 2021, № 36, С.39-48.

15. Деревянчук Д.М., Методы автоматического расчета режимов разгона и торможения в авиационных тренажерах // Методы и средства измерения в системах контроля и управления: Труды международной конференции. — Пенза, 2002. — С.150-151.

16. Деревянчук, Д.М. Коррекция динамических характеристик авиационного тренажера на основе алгебраических инвариантов // Тренажерные технологии и симуляторы: Материалы второй научно-технической конференции. — С.-Петербург, 2003. — С.26-31.

17. ИАТА: «Разработка авиационного технического средства обучения. Рекомендации по техническим характеристикам». – 4-е изд. - 2008.

18. ИАТА: «Требования к данным, необходимым при проектировании авиационных тренажеров (АТ), а также при определении и оценке характеристик АТ» – 7-е изд. – 2009.

19. ИАТА: «Инструктивный материал и передовая практика внедрения программы подготовки пилотов самолетов с многочленным составом летного экипажа» – 2-е изд. – 2015.

20. ИАТА: «Требования к данным конструкции и к данным характеристик авиационных тренажеров» – 2-е изд. 2015.

21. Кадышев, С. Ю. Создание программного тренажера для обучения летного состава посадке на ВПП, расположенную на неровном рельефе, при сложных метеорологических условиях / С. Ю. Кадышев // Вестник МГТУ ГА. — 2007. -№ 108.-С.129-131.

22. Коваленко, П. А. Иллюзии полета (Авиационная делиалогия). Методические рекомендации / П. А. Коваленко, В. А. Пономаренко, А. В. Чунтул. М., 2006. - 376 с.

23. Козлов, В.В. Человеческий фактор : история, теория и практика в авиации / В.В. Козлов. — М. : Полиграф, 2002. — 280 с.

24. Кольцов, С.Е. Тренажерный парк гражданской авиации РФ / С.Е. Кольцов // Форум : Журнал компании АО ЦНТУ «Динамика». – 2016. – No 1(17). – С.8-9.

25. Кольцов, С.Е. Результаты работ по допуску в эксплуатацию новых тренажеров для подготовки авиAPERсонала гражданской авиации [Текст] / С.Е. Кольцов // Авиатренажеры, учебные центры и авиAPERсонал-2012: IV Междунар. конф. — М.: Динамика, 2012. – С.8-10.

26. Красовский, А.А. Основы теории авиационных тренажеров / А.А. Красовский. — М.: Машиностроение, 1995. 303 с.

27. Курс учебно-летной подготовки на самолете Як-18Т для курсантов высших летных училищ - М. . Воздушный транспорт, 1981. С.18-35.

28. Лебедев, А. М. Компьютерные технологии обучения / А.М. Лебедев, Ю.В. Пугачев, Т. Н. Кодратова // Современные научно-технические проблемы гражданской авиации : сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф. — М. : МГТУ ГА, 1996. С.247-248.

29. Литвиненко, А.А. Анализ состояния российского рынка авиационных технических средств обучения / А.А. Литвиненко // Авиатренажеры, учебные центры и авиаперсонал-2012: IV Между- нар.конф. - М.: Динамика, 2012. С. 5–8.

30. Любезнов, В.К. Технические средства системы представления пилотажной информации инструктору авиационного тренажера : автореферат дис. канд. техн. наук : 05.13.05 / В.К. Любезнов. — Пенза, 1992. 21 с.

31. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) : Doc. 9859-AN/460. — Монреаль : ICAO, 2006.

32. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) ИКАО. Конвенция о международной гражданской авиации (Чикагская) – 9-ое изд., : Doc. 7300 – Монреаль : ICAO, 2006.

33. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) ИКАО. Руководство по критериям квалификационной оценки авиационных тренажеров. Часть 1,– Самолеты. 4-е изд. : Doc. 9625 – Монреаль : ICAO, 2015. С.38-459.

34. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) Руководство по утверждению учебных организаций. 3-е изд. : Doc. 9841 – Монреаль : ICAO, 2018

35. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) Правила навигационного обслуживания. Подготовка персонала.– 2-е изд. : Doc. 9868 – Монреаль : ICAO, 2016.

36. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) Руководство по подготовке для предотвращения попадания самолетов сложные пространственные положения и вывода из них - 1-ое изд. : Doc. 10011 - Монреаль : ICAO, 2014.

37. Мудров, А.П., Фаизов М.Р. Исследование движения сферического тренажера / А.П Мудров., М.Р. Фаизов // Вестник Московского авиационного института. 2019. Т. 26. № 1. С.182-191.

38. Найда, В.А. Организационно-методические аспекты внедрения в учебный процесс авиационных тренажеров западного производства. / В.А. Найда, С.Н. Яблонский // Научный вестник МГТУ ГА. – 2013. – № 197 (11). – С.94-96.

39. Нормы годности авиационных тренажеров для подготовки авиаперсонала воздушного транспорта: утв. зам. директора ФАС России 15.05.1998. - М.: ГосНИИ ГА, 1998. 108 с.

40. Овчаров, В.Е. Человеческий фактор в авиационных происшествиях // Межгос. авиац. ком., Междунар. акад. пробл. человека в авиации и космонавтике. – М.: АВИКОС, 2005. – 80 с.

41. Попов, О.С. Задачи построения компьютерных систем обучения для пилотов гражданской авиации. // В. : Авиакосмическое приборостроение, №9, 2003. С. 38-40.

42. Приказ Минтранса РФ от 12.09.2008 г. № 147 (ред. от 10.02.2014 г.) «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Требования к членам экипажа воздушных судов, специалистам по техническому обслуживанию воздушных судов и сотрудникам по обеспечению полетов (полетным диспетчерам) гражданской авиации».

43. Приказ Минтранса РФ от 10.02.2014г. № 32 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Требования, предъявляемые к оформлению и форме свидетельств авиационного персонала гражданской авиации».

44. Приказ Минтранса РФ от 08.02.2019г. № 46 «Об утверждении порядка допуска к применению тренажерных устройств имитации полета, применяемых в целях подготовки и контроля профессиональных навыков членов летных экипажей гражданских воздушных судов».

45. Приказ Минтранса РФ от 12 июля 2019 года №229 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Требования к тренажерным устройствам имитации полета, применяемым в целях подготовки и контроля профессиональных навыков членов летных экипажей гражданских воздушных судов и порядок их применения».

46. Проблемы подготовки авиационных специалистов гражданской авиации : сб. науч. тр. по материалам науч.-метод. конф. (Ульяновск, 6—7 мая 1998 г.) / УВАУ ГА. Ульяновск : УВАУ ГА, 1999. - 190 с.

47. Проблемы подготовки авиационных специалистов гражданской авиации : Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров : сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф. / под ред. А. И. Годунова ; ПГУ. Пенза : ПГУ, 1998. - 152 с.

48. Программа подготовки и проверок авиационного персонала АК"ЭйрБриджКарго" : М. авикомпания «ЭйрБриджКарго». 2018. С.4-27.

49. Прошкина, Л.А. Повышение качества авиационных тренажеров на основе учета человеческого фактора / Л.А. Прошкина, В.Н. Прошкин // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2016. – № 24-2. – С.119-126.

50. Распоряжения Минтранса РФ № КР-50-р от 21.08.2003 «О совершенствовании организации профессиональной подготовки членов экипажей воздушных судов».

51. Распоряжение Федерального агентства воздушного транспорта от 26 марта 2009г. № ГК-52-р "О совершенствовании подготовки экспертов по оценке деятельности авиационных учебных центров гражданской авиации".

52. Рухлинский, В.М., Проблема безопасности полетов, связанная со снижением роли экипажа в пилотировании ВС, и переход к автоматизированным полетам. / В.М. Рухлинский, А.П. Куминова // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2018. - №22 (333). – С.91-101.

53. Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств-участников «Соглашения о гражданской авиации и об использовании воздушного пространства» в 2007 году (доклад межгосударственного авиационного комитета).

54. Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров : сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф. / под ред. А. И. Годунова ; ПГУ. Пенза: ПГУ, 1998. - 152 с.

55. Типовой учебно-тематический план и программа подготовки экспертов по сертификации АУЦ (специалистов по системам качества, исполнителей работ по сертификации для организаций гражданской авиации) (утв. распоряжением Федерального агентства воздушного транспорта от 26 марта 2009 г. N ГК-52-р) Санкт-Петербург, 2009.

56. Требования к экспертам по сертификации АУЦ (утв. распоряжением Федерального агентства воздушного транспорта от 26 марта 2009 г. N ГК-52-р).

57. Требования к порядку разработки, утверждения и содержанию программ подготовки специалистов согласно перечню специалистов авиационного персонала гражданской авиации”, утвержденных Приказом Минтранса России № 399 от 20.10.2017 (ФАП-399).

58. Фаизов, М. Р. Анализ расчетов четырехзвенного сферического механизма для пространственного тренажера / М. Р. Фаизов, Ф. Ф. Хабибуллин // Вестник Московского авиационного института. 2020. Т. 27. № 2. С. 196-206.

59. Федоренко, В.С. К вопросу об оценке уровня профессиональной подготовки авиационного персонала с применением технических средств обучения / В.С. Федоренко, С.А. Галушка, Ю.Ф. Семоненко // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 7-2. – С.348-353.

60. Федеральные авиационные правила «Сертификация авиационных учебных центров» (ФАП–23) (в редакции от 13.08.2007) : М. ФАВТ. 2007. С.11-103.

61. . Федеральные авиационные правила "Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации": утв. Минтранс России от 31.06.2009 г. № 128. Зарегистрир. в Минюсте России от 31.08.2009 № 14645. -Б. м.: Б. изд., 2009. - 94 с.

62. Федеральные авиационных правила "Требования к образовательным организациям и организациям, осуществляющим обучение специалистов соответствующего уровня согласно перечням специалистов авиационного персонала. Форма и порядок выдачи документа, подтверждающего соответствие образовательных организаций и организаций, осуществляющих обучение

специалистов соответствующего уровня согласно перечням специалистов авиационного персонала, требованиям федеральных авиационных правил" (ФАП-289), введены в действие приказом Минтранса РФ от 29 сентября 2015 г. № 289 : М. ФАВТ. 2015. С.76-112.

63. Федеральный закон от 22.08.1996 г. №125-ФЗ (ред. от 03.12.2011) «О высшем и послевузовском профессиональном образовании».

64. Федеральный закон от 29.12.2012 №273-ФЗ "Об образовании в Российской Федерации".

65. Щербак, В.В. Методика синтеза технических средств обучения, применяемых в системе переподготовки инженерно-технического персонала на новое воздушное судно гражданской авиации.: дис. . канд. техн. наук : В.В. Щербак. — Москва, 2016. 12-44 с.

66. ARINC 436 «Руководство по разработке электронного Руководства по квалификационным испытаниям тренажера».

67. ARINC 433-1 «Стандартные измерения по оценке качества пилотажных тренажеров» – 2007.

68. ARINC 434 «Устройства комплексной летной подготовки (STD) — Обслуживание жизненного цикла».

69. ARINC 440 «Руководство по предоставлению и сопровождению данных по тренажерам» – 2005.

70. ARINC 441 «Руководство по поставке программного обеспечения для учебных целей в двоичном формате» –2005.

71. ARINC 610B «Руководство по применению в тренажерах авионического оборудования и программного обеспечения».

72. ARINC 610C «Руководство по разработке авиационного оборудования и программного обеспечения для использования в устройствах для обучения» – 2009.

73. Aeroplane Flight Simulator Evaluation Handbook, (Volume I, II).

74. Specification for octave, half-octave and third-octave band filters set, ANSI S1.11-2004, June 15, 2009, Mallville, NY.

75. Allerton D. Principles of flight simulation. Chichester UK, Wiley, 2009.
76. Advisory Circular 120-40B, Aeroplane Simulator Qualification.
77. Advisory Circular 120-45A, Aeroplane Flight Training Device Qualification.
78. CAP 453 Aeroplane Flight Simulators: Approval Requirements.
79. EASA Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulation Training Devices – 2012.
80. FAA AFS-205: “Enhanced Flight Vision System (EFVS) Simulator Qualification” – 2006.
81. FAA, Airline Transport Pilot and Type Rating Practical Test Standards, FAA-S-8081-5F, US Government Printing Office, Washington, DC, July 2008.
82. FAA, FAR PART 60 - flight simulation training device initial and continuing qualification and use - Washington, DC, July 2009.
83. "Flight Simulator Training Device Design & Performance Data Requirements." IATA 2009, Montreal, 2007.
84. FCOM "Flight Crew Operations Manual Boeing 747' (vol 1,2) / rev.16 // The Boeing company // Seattle, Washington, oct. 2017.
85. FCOM "Flight Crew Operations Manual Boeing 777' (vol 1,2) / rev.5 // The Boeing company // Seattle, Washington, june 15, 2020.
86. FCTM "Flight Crew Training Manual Boeing 747" / rev.7 // The Boeing company // Seattle, Washington, june 2017.
87. FCTM "Flight Crew Training Manual Boeing 777" / rev.17 // The Boeing company // Seattle, Washington, june 30, 2019.
88. SOP "Standard operating procedures manual Embraer 170/175, 190/195" / rev.19 // The Embraer company // San Antonio, july 04, 2016.
89. Specifications for working standard microphones, Measurement microphones - Part 4 / IEC 61094-4 ED. 1.0 B:1995 // international electrotechnical commission // Nov, 1995.
90. Obert E. Aerodynamic Design of Transport Aircraft. – Delft University of Technology, IOS Press, 2009. – 747 p.

91. The DESDEMONA motion facility: Application for space research // Microgravity Sci. Technol 2009 № 21 – p.281-286.

92. QRH "Quick Reference Handbook Boeing 777" / rev.4 // The Boeing company // Seattle, Washington, dec. 2019.

93. Авиация Авиационный тренажёр - Комплексные тренажеры [Электронный ресурс], – Режим доступа: [http://www.vonovke.ru/s/aviatsionnyiy\\_trenajer\\_-\\_kompleksnyie\\_trenajeryi](http://www.vonovke.ru/s/aviatsionnyiy_trenajer_-_kompleksnyie_trenajeryi), свободный. (Дата обращения: 02.08.2018 г.).

94. Акселерометр. Виды и типы. Работа и применение. Особенности [Электронный ресурс], – Режим доступа : <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/akselerometr>; свободный (Дата обращения 05.07.2019г.).

95. Бюшгенс, А.Г. Российский тренажерный рынок на пути к мировым стандартам [Электронный ресурс], – Режим доступа: <https://www.aviaport.ru/digest/2012/01/20/228347.html>, свободный. (Дата обращения: 17.11.2016 г.).

96. Итоговые материалы конференции «Авиатренажеры учебные центры и авиаперсонал – 2013» [Электронный ресурс], режим доступа: [pandia.ru/text/79/553/20941.php](http://pandia.ru/text/79/553/20941.php), свободный. (Дата обращения: 17.11.2016 г.).

97. Как правильно выбрать акселерометр и датчик ускорения [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://www.sensorica.ru/docs/art2.shtml> свободный; (Дата обращения: 05.06.2019 г.).

98. «Как работает подвижная платформа авиатренажера?» [Электронный ресурс], – Режим доступа: <https://moscow.tft.aero/info/blog/kak-rabotaet-podvizhnaja-platforma-aviatrenazhera>; свободный. (Дата обращения: 13.06.2019 г.).

99. Потеря управления в полете [Электронный ресурс], – Режим доступа: <https://www.favt.ru/dejatelnost-lms-poterya-upravleniya-vpolete>, свободный (Дата обращения: 05.08.2018 г.).

100. Проект Приказа Министерства транспорта РФ "Об утверждении Федеральных авиационных правил "Требования к тренажерным устройствам

имитации полета, применяемым в целях подготовки и контроля профессиональных навыков членов летных экипажей гражданских воздушных судов и порядок их применения" (подготовлен Минтрансом России 05.04.2016) [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/56565433/>, свободный. (Дата обращения: 06.08.2018 г.).

101. Электронный журнал «Форум», "Динамика" - участник европейского проекта SUPRA, №1 (6)2010, [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://www.dinamika-avia.ru/mcenter/forum/detail.php?id=1138>, свободный. (Дата обращения: 06.08.2018 г.).

102. Электронный журнал «Форум», Сертификация: лед тронулся!, #1 (8)2011, [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://www.dinamika-avia.ru/mcenter/forum/detail.php?id=1407>, свободный. (Дата обращения: 06.08.2018г.).

103. Simulation of Upset Recovery in Aviation [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://www.supra.aero>, свободный. (Дата обращения: 06.08.2018 г.).

104. ГОСТ Р 57259-2016 Тренажеры авиационные. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2018. – С.10 – 24.

105. ГОСТ Р 53626-2009 Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Технические средства обучения. – М.: Стандартинформ, 2010. – 8с.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2020611212**

**Flight Accelerometer**

Правообладатели: *Дегтярев Вячеслав Сергеевич (RU), Машошин Олег Федорович (RU)*

Авторы: *Дегтярев Вячеслав Сергеевич (RU), Машошин Олег Федорович (RU)*

Заявка № **2019662018**

Дата поступления **25 сентября 2019 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **27 января 2020 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев



## Полный текст кода программы для ЭВМ

Main.activity

```
package ru.asmodeoux.accelerometer;
import android.app.Activity;
import android.content.Context;
import android.content.SharedPreferences;
import android.content.pm.ActivityInfo;
import android.hardware.Sensor;
import android.hardware.SensorEvent;
import android.hardware.SensorEventListener;
import android.hardware.SensorManager;
import android.os.Handler;
import android.support.v7.app.AppCompatActivity;
import android.os.Bundle;
import android.support.v7.widget.LinearLayoutManager;
import android.support.v7.widget.RecyclerView;
import android.util.Log;
import android.view.View;
import android.view.inputmethod.InputMethodManager;
import android.widget.Button;
import android.widget.EditText;
import android.widget.ImageView;
import android.widget.LinearLayout;
import android.widget.RelativeLayout;
import android.widget.TextView;
import android.widget.Toast;
import com.github.mikephil.charting.charts.LineChart;
import com.github.mikephil.charting.components.Description;
import com.github.mikephil.charting.components.Legend;
```

```
import com.github.mikephil.charting.data.Entry;
import com.github.mikephil.charting.data.LineData;
import com.github.mikephil.charting.data.LineDataSet;
import org.decimal4j.util.DoubleRounder;
import org.json.JSONArray;
import org.json.JSONException;
import org.json.JSONObject;
import java.text.DecimalFormat;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Calendar;
import java.util.Collections;
import java.util.List;
```

```
public class MainActivity extends AppCompatActivity implements
SensorEventListener {
    private SensorManager sensorManager;
    double ax,ay,az; // these are the acceleration in x,y and z axis

    ArrayList<Coordinate> currentRecord = new ArrayList<>();
    ArrayList<Coordinate> toCompareRecord = new ArrayList<>();
    ArrayList<Flight> flights = new ArrayList<>();

    Context context;
    Activity activity;
    boolean isRecording = false;
    boolean choosingComparator = false;

    List<Entry> entriesX = new ArrayList<Entry>();
    List<Entry> entriesY = new ArrayList<Entry>();
    List<Entry> entriesZ = new ArrayList<Entry>();
```

RelativeLayout recordMenu;

RelativeLayout list;

Button record;

Button compare;

TextView axisX;

TextView axisY;

TextView axisZ;

TextView logger;

ImageView switcher;

ImageView info;

TextView title;

LineChart chartX;

LineChart chartY;

LineChart chartZ;

RecyclerView recordRecycler;

SharedPreferences sp;

String savedRecs = "";

RelativeLayout darker;

LinearLayout namer;

LinearLayout comparator;

LinearLayout about;

EditText editText;

Button ready;

```
TextView compareText;  
Button okCompare;
```

```
TextView chronometer;  
double time;
```

```
double result = 0;  
double resultX = 0;  
double resultY = 0;  
double resultZ = 0;
```

```
@Override
```

```
public void onCreate(Bundle savedInstanceState) {  
    super.onCreate(savedInstanceState);  
    setContentView(R.layout.activity_main);
```

```
    context = getApplicationContext();  
    activity = this;
```

```
    sp = getSharedPreferences("records", MODE_PRIVATE);
```

```
    if (!sp.getString("savedRecs", "").equals("")) {  
        savedRecs = sp.getString("savedRecs", "");  
    }
```

```
    setRequestedOrientation(ActivityInfo.SCREEN_ORIENTATION_PORTRAIT);  
    title = findViewById(R.id.title);  
    recordMenu = findViewById(R.id.recordMenu);  
    list = findViewById(R.id.list);
```

```
switcher = findViewById(R.id.switcher);
```

```
axisX = findViewById(R.id.axisX);
```

```
axisY = findViewById(R.id.axisY);
```

```
axisZ = findViewById(R.id.axisZ);
```

```
logger = findViewById(R.id.logger);
```

```
recordRecycler = findViewById(R.id.recordRecycler);
```

```
darker = findViewById(R.id.darker);
```

```
namer = findViewById(R.id.namer);
```

```
editText = findViewById(R.id.edittext);
```

```
ready = findViewById(R.id.ready);
```

```
compare = findViewById(R.id.compare);
```

```
compareText = findViewById(R.id.compareText);
```

```
okCompare = findViewById(R.id.okCompare);
```

```
comparator = findViewById(R.id.comparator);
```

```
info = findViewById(R.id.info);
```

```
chronometer = findViewById(R.id.chronometer);
```

```
info.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
```

```
    @Override
```

```
    public void onClick(View view) {
```

```
        darker.setVisibility(View.VISIBLE);
```

```
        about.setVisibility(View.VISIBLE);
```

```
    });
```

```
about = findViewById(R.id.about);
```

```
compare.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
```

```
    @Override
```

```
    public void onClick(View view) {
```

```

        compareCharts();
    });

```

```

okCompare.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
    @Override
    public void onClick(View view) {
        closeNamer();
    }
});

```

```

darker.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
    @Override
    public void onClick(View view) {
        closeNamer();
    }
});

```

```

ready.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
    @Override
    public void onClick(View view) {
        if (!editText.getText().toString().equals("")) {
            saveRecord(editText.getText().toString());
            closeNamer();
            hideKeyboard(activity);
            Toast.makeText(context, "Сохранено", Toast.LENGTH_SHORT).show();
            editText.setText("");
        } else {
            Toast.makeText(context, "Заполните поле",
Toast.LENGTH_SHORT).show();
        }
    }
});

```

```

switcher.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {

```

```
@Override  
public void onClick(View view) {  
    switchList();  
}});
```

```
record = findViewById(R.id.record);  
record.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {  
    @Override  
    public void onClick(View view) {  
        if (isRecording) {  
            finishRecord();  
        } else {  
            startRecord();  
        }  
    }  
});
```

```
sensorManager=(SensorManager) getSystemService(SENSOR_SERVICE);  
sensorManager.registerListener(this,  
sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_ACCELEROMETER),  
SensorManager.SENSOR_DELAY_NORMAL);
```

```
logData();  
setTitle("Запись");
```

```
chartX = findViewById(R.id.chartX);  
chartY = findViewById(R.id.chartY);  
chartZ = findViewById(R.id.chartZ);
```

```
chartX.setNoDataText("График пуст");  
chartY.setNoDataText("График пуст");  
chartZ.setNoDataText("График пуст");
```

```
chartX.setMaxVisibleValueCount(5);  
chartY.setMaxVisibleValueCount(5);  
chartZ.setMaxVisibleValueCount(5);
```

```
chartX.setHighlightPerTapEnabled(false);  
chartX.setHighlightPerDragEnabled(false);
```

```
chartY.setHighlightPerTapEnabled(false);  
chartY.setHighlightPerDragEnabled(false);
```

```
chartZ.setHighlightPerTapEnabled(false);  
chartZ.setHighlightPerDragEnabled(false);
```

```
Legend legend = chartX.getLegend();  
legend.setEnabled(false);  
Description description = chartX.getDescription();  
description.setEnabled(false);
```

```
Legend legend1 = chartY.getLegend();  
legend1.setEnabled(false);  
Description description1 = chartY.getDescription();  
description1.setEnabled(false);
```

```
Legend legend2 = chartZ.getLegend();  
legend2.setEnabled(false);  
Description description2 = chartZ.getDescription();  
description2.setEnabled(false);
```

```
LineDataSet dataSetX = new LineDataSet(entriesX, "X"); // add entries to dataset
```

```
dataSetX.setColor(getResources().getColor(R.color.colorAccent));
dataSetX.setValueTextColor(getResources().getColor(R.color.colorAccent));
dataSetX.disableDashedLine();

LineDataSet dataSetY = new LineDataSet(entriesY, "X"); // add entries to dataset
dataSetX.setColor(getResources().getColor(R.color.colorAccent));
dataSetX.setValueTextColor(getResources().getColor(R.color.colorAccent));
dataSetX.disableDashedLine();

LineDataSet dataSetZ = new LineDataSet(entriesZ, "X"); // add entries to dataset
dataSetX.setColor(getResources().getColor(R.color.colorAccent));
dataSetX.setValueTextColor(getResources().getColor(R.color.colorAccent));
dataSetX.disableDashedLine();

LineData lineDataX = new LineData(dataSetX);
LineData lineDataY = new LineData(dataSetY);
LineData lineDataZ = new LineData(dataSetZ);

chartX.setData(lineDataX);
chartY.setData(lineDataY);
chartZ.setData(lineDataZ);

chartX.invalidate();
chartY.invalidate();
chartZ.invalidate();

updateRecordsList();
}
@Override
public void onAccuracyChanged(Sensor arg0, int arg1) {
```

```

}
@Override
public void onSensorChanged(SensorEvent event) {
    if (event.sensor.getType()==Sensor.TYPE_ACCELEROMETER){
        ax = DoubleRounder.round(event.values[1]/9.8, 2);
        ay = DoubleRounder.round(event.values[0]/9.8, 2);
        az = DoubleRounder.round(event.values[2]/9.8, 2);
    }
}

public void logData() {
    new Handler().postDelayed(new Runnable() {
        @Override
        public void run() {
            if (!isRecording) {

//                Log.w("AXISES:", "X: " + ax + " Y: " + ay + " Z: " + az);

                axisX.setText("Ось X: " + Double.toString(ax));
                axisY.setText("Ось Y: " + Double.toString(ay));
                axisZ.setText("Ось Z: " + Double.toString(az));

            } else {
                axisX.setText("Ось X: " + Double.toString(ax));
                axisY.setText("Ось Y: " + Double.toString(ay));
                axisZ.setText("Ось Z: " + Double.toString(az));

                currentRecord.add(new Coordinate(ax, ay, az));
                updateGraphs();}

            logData();

```

```
    }  
    }, 100);} }
```

```
public void switchList() {  
    if (recordMenu.getVisibility() == View.VISIBLE) {  
        recordMenu.setVisibility(View.GONE);  
        list.setVisibility(View.VISIBLE);  
        switcher.setImageDrawable(getDrawable(R.drawable.ic_add));  
        setTitle("Сохранённые записи");  
    } else {  
        recordMenu.setVisibility(View.VISIBLE);  
        list.setVisibility(View.GONE);  
        switcher.setImageDrawable(getDrawable(R.drawable.ic_view_list));  
        setTitle("Запись");  
        choosingComparator = false;  
    }  
}
```

```
public void startRecord() {  
    isRecording = true;  
    currentRecord.clear();  
  
    entriesX.clear();  
    entriesY.clear();  
    entriesZ.clear();  
    updateGraphs();  
  
    chartX.clear();  
    chartY.clear();  
    chartZ.clear();  
}
```

```
record.setTextColor(getResources().getColor(R.color.red));
record.setText("Остановить");
logger.setText("Идёт запись...");
}

public void finishRecord() {
    isRecording = false;
    record.setTextColor(getResources().getColor(R.color.colorAccent));
    record.setText("Начать запись");

    String recording = "";
    for (Coordinate c : currentRecord) {
        recording = recording + c.x + " / " + c.y + " / " + c.z + "\n";
    }

    // Log.w("SAVED RECORD", recording);
    logger.setText("Результаты записаны");

    //saveRecord("Имя");
    openNamer();
}

public void openNamer() {
    darker.setVisibility(View.VISIBLE);
    namer.setVisibility(View.VISIBLE);
    comparator.setVisibility(View.GONE);
}

public void closeNamer() {
    darker.setVisibility(View.GONE);
```

```

namer.setVisibility(View.GONE);
comparator.setVisibility(View.GONE);
about.setVisibility(View.GONE);
}

public void closeComparator() {
    darker.setVisibility(View.GONE);
    comparator.setVisibility(View.GONE);
    namer.setVisibility(View.GONE);
    about.setVisibility(View.GONE);
}

public void openComparator() {
    darker.setVisibility(View.VISIBLE);
    comparator.setVisibility(View.VISIBLE);
    namer.setVisibility(View.GONE);
}

public void updateGraphs() {
    if (currentRecord.size()-1 >= 0 && isRecording) { //
        Log.w("ENTRY X SIZE", Integer.toString(entriesX.size()));
        entriesX.add(new Entry(0.1f * currentRecord.size(), (float)
currentRecord.get(currentRecord.size() - 1).x));
        entriesY.add(new Entry(0.1f * currentRecord.size(), (float)
currentRecord.get(currentRecord.size() - 1).y));
        entriesZ.add(new Entry(0.1f * currentRecord.size(), (float)
currentRecord.get(currentRecord.size() - 1).z));
    } else {

        entriesX.clear();

```

```
entriesY.clear();  
entriesZ.clear();
```

```
for (int i = 0; i<currentRecord.size(); i++) {  
    entriesX.add(new Entry(0.1f*i, (float)currentRecord.get(i).x));  
    entriesY.add(new Entry(0.1f*i, (float)currentRecord.get(i).y));  
    entriesZ.add(new Entry(0.1f*i, (float)currentRecord.get(i).z));  
}}
```

```
Collections.sort(entriesX, new Comparator());
```

```
Log.w("ENTRIESX", entriesX.toString());
```

```
LineDataSet dataSetX = new LineDataSet(entriesX, "X"); // add entries to dataset  
dataSetX.setColor(getResources().getColor(R.color.colorAccent));  
dataSetX.setValueTextColor(getResources().getColor(R.color.colorAccent));  
dataSetX.disableDashedLine();
```

```
LineDataSet dataSetY = new LineDataSet(entriesY, "Y"); // add entries to dataset  
dataSetY.setColor(getResources().getColor(R.color.colorAccent));  
dataSetY.setValueTextColor(getResources().getColor(R.color.colorAccent));  
dataSetY.disableDashedLine();
```

```
LineDataSet dataSetZ = new LineDataSet(entriesZ, "Z"); // add entries to dataset  
dataSetZ.setColor(getResources().getColor(R.color.colorAccent));  
dataSetZ.setValueTextColor(getResources().getColor(R.color.colorAccent));  
dataSetZ.disableDashedLine();
```

```
LineData lineDataX = new LineData(dataSetX);
```

```
LineData lineDataY = new LineData(dataSetY);
```

```
LineData lineDataZ = new LineData(dataSetZ);
```

```
chartX.setData(lineDataX);  
chartY.setData(lineDataY);  
chartZ.setData(lineDataZ);
```

```
chartX.invalidate();  
chartY.invalidate();  
chartZ.invalidate();
```

```
if (!isRecording && currentRecord.size()>1) {  
    compare.setEnabled(true);  
} else {  
    compare.setEnabled(false);  
}
```

```
time = (entriesX.size()) * 0.1;  
setChronometerTime(time);  
}
```

```
public void setTitle(String s) {  
    title.setText(s);  
}
```

```
public void saveRecord(String name) {  
    if (savedRecs.contains("")) {  
        try {  
            JSONArray jsonArray = new JSONArray(savedRecs);  
            JSONObject object = new JSONObject();  
  
            object.put("name", name);  
            object.put("date", Calendar.getInstance().getTimeInMillis());
```

```
String record = "";
for (Coordinate c : currentRecord) {
    record = record + c.x + ":" + c.y + ":" + c.z + ";";
}

object.put("record", record);

jsonArray.put(object);
Log.w("JSON TO SAVE", jsonArray.toString());
sp.edit().putString("savedRecs", jsonArray.toString()).apply();
savedRecs = sp.getString("savedRecs", "");
updateRecordsList();

} catch (JSONException e) {
    e.printStackTrace();
}
} else {
    try {
        JSONArray jsonArray = new JSONArray();
        JSONObject object = new JSONObject();

        object.put("name", name);
        object.put("date", Calendar.getInstance().getTimeInMillis());

        String record = "";
        for (Coordinate c : currentRecord) {
            record = record + c.x + ":" + c.y + ":" + c.z + ";";
        }
    }
}
```

```

object.put("record", record);

jsonArray.put(object);
Log.w("JSON TO SAVE", jsonArray.toString());
sp.edit().putString("savedRecs", jsonArray.toString()).apply();
savedRecs = sp.getString("savedRecs", "");
updateRecordsList();

} catch (JSONException e) {
    e.printStackTrace();
}}

setChronometerTime(0);
compare.setEnabled(true);
}

public void updateRecordsList() {
    try {
        JSONArray array = new JSONArray(savedRecs);

        if (array.length() != 0) {
            flights.clear();

            for (int i = 0; i < array.length(); i++) { // для каждой записи

                ArrayList<Coordinate> localCoords = new ArrayList<>();
                String coordinates = array.getJSONObject(i).getString("record");
                String[] coords = coordinates.split(";"); // 3 coords
                for (int c = 0; c < coords.length; c++) {

```

```

        String[] deltas = coords[c].split(":"); // each coord
        Coordinate coordinate = new Coordinate(Double.parseDouble(deltas[0]),
        Double.parseDouble(deltas[1]), Double.parseDouble(deltas[2]));
        localCoords.add(coordinate);
    }

    flights.add(new Flight(localCoords, array.getJSONObject(i).getString("name"),
array.getJSONObject(i).getLong("date")));
    }

    // flights to RV adapter and Manager
    recordRecycler.setLayoutManager(new LinearLayoutManager(context));
    recordRecycler.setAdapter(new FlightAdapter(flights, MainActivity.this));

} else {
    flights.clear();

    recordRecycler.setLayoutManager(new LinearLayoutManager(context));
    recordRecycler.setAdapter(new FlightAdapter(flights, MainActivity.this));
}

} catch (JSONException e) {
    e.printStackTrace();
}}

public void deleteRecordViaTimestamp(long timestamp) {
    try {
        JSONArray array = new JSONArray(savedRecs);

        for (int i = 0; i<array.length(); i++) {

```

```
        if (array.getJSONObject(i).getLong("date") == timestamp) {
            array.remove(i);
            break;
        }
    }

    Log.w("JSON TO SAVE", array.toString());
    sp.edit().putString("savedRecs", array.toString()).apply();
    savedRecs = sp.getString("savedRecs", "");
    updateRecordsList();

} catch (JSONException e) {
    e.printStackTrace();
}

public void changeChart(Flight flight) {

    currentRecord.clear();

    for (Coordinate c : flight.coordinates) {
        currentRecord.add(c);
        Log.w("Coord to show", c.x + " " + c.y + " " + c.z);
        Log.w("SIZE", Integer.toString(currentRecord.size()));
    }

    updateGraphs();
    switchList();
}

public void compareCharts() {
    choosingComparator = true;
```

```
recordMenu.setVisibility(View.GONE);
list.setVisibility(View.VISIBLE);
switcher.setImageDrawable(getDrawable(R.drawable.ic_add));
setTitle("Выберите график для сравнения");
}

public void calculateComparison() {
    // do some calculation and set text of compareText
    if (currentRecord.size() != 0 && toCompareRecord.size() != 0) {

        result = 0;
        resultX = 0;
        resultY = 0;
        resultZ = 0;

        if (currentRecord.size() <= toCompareRecord.size()) {
            // current is shorter
            for (int i = 0; i < currentRecord.size(); i++) {
                Coordinate measure1 = currentRecord.get(i);
                Coordinate measure2 = toCompareRecord.get(i);

                double coincidenceX = 0;
                double coincidenceY = 0;
                double coincidenceZ = 0;

                double x1 = measure1.x;
                double x2 = measure2.x;
                double y1 = measure1.y;
                double y2 = measure2.y;
                double z1 = measure1.z;
```

```
double z2 = measure2.z;

if (x1 < 0) {
    x1 = -1*x1;
}
if (x2 < 0) {
    x2 = -1*x2;
}

Log.w("Xs", x1 + " " + x2);
if (x1 < x2) {
    coincidenceX = coincidenceX + (x1/x2)*100;
    Log.w("X1/X2", Double.toString(x1/x2));
} else {
    coincidenceX = coincidenceX + (x2/x1)*100;
    Log.w("X2/X1", Double.toString(x2/x1));
}

if (Double.isNaN(coincidenceX) && x1 != 0) {
    coincidenceX = 20;
} else if (Double.isNaN(coincidenceX) && x1 == 0) {
    coincidenceX = 100;
}

Log.w("COINX", coincidenceX + "");
resultX = resultX + coincidenceX;
Log.w("RESULTX", resultX + "");

if (y1 < 0) {
    y1 = -1*y1;
```

```

}
if (y2 < 0) {
    y2 = -1*y2;
}

Log.w("Ys", y1 + " " + y2);
if (y1 < y2) {
    coincidenceY = coincidenceY + (y1/y2)*100;
    Log.w("Y1/Y2", Double.toString(y1/y2));
} else {
    coincidenceY = coincidenceY + (y2/y1)*100;
    Log.w("Y2/Y1", Double.toString(y2/y1));
}

if (Double.isNaN(coincidenceY) && y1 != 0) {
    coincidenceY = 20;
} else if (Double.isNaN(coincidenceY) && y1 == 0) {
    coincidenceY = 100;
}

Log.w("COINY", coincidenceY + "");
resultY = resultY + coincidenceY;
Log.w("RESULTY", resultY + "");

if (z1 < 0) {
    z1 = -1*z1;
}
if (z2 < 0) {
    z2 = -1*z2;
}

```

```

Log.w("Zs", z1 + " " + z2);
if (z1 < z2) {
    coincidenceZ = coincidenceZ + (z1/z2)*100;
    Log.w("Z1/Z2", Double.toString(z1/z2));
} else {
    coincidenceZ = coincidenceZ + (z2/z1)*100;
    Log.w("Z2/Z1", Double.toString(z2/z1));
}

if (Double.isNaN(coincidenceZ) && z1 != 0) {
    coincidenceZ = 20;
} else if (Double.isNaN(coincidenceZ) && z1 == 0) {
    coincidenceZ = 100;
}

Log.w("COINZ", coincidenceZ + "");
resultZ = resultZ + coincidenceZ;
Log.w("RESULTZ", resultZ + "");
}

```

```

resultX = DoubleRounder.round(resultX / currentRecord.size(), 2);
resultY = DoubleRounder.round(resultY / currentRecord.size(), 2);
resultZ = DoubleRounder.round(resultZ / currentRecord.size(), 2);
result = resultX + resultY + resultZ;
result = DoubleRounder.round(result/3,2);

```

```

String resulte = "Сходство по X: " + resultX + "%\nСходство по Y: " +
resultY + "%\nСходство по Z: " + resultZ + "%\n\nГрафики схожи на " + result +
"% ";

```

```
compareText.setText(resulter);
} else {
    // comparator is shorter
    for (int i = 0; i < toCompareRecord.size(); i++) {
        Coordinate measure1 = currentRecord.get(i);
        Coordinate measure2 = toCompareRecord.get(i);

        double coincidenceX = 0;
        double coincidenceY = 0;
        double coincidenceZ = 0;
        double x1 = measure1.x;
        double x2 = measure2.x;
        double y1 = measure1.y;
        double y2 = measure2.y;
        double z1 = measure1.z;
        double z2 = measure2.z;

        if (x1 < 0) {
            x1 = -1*x1;
        }
        if (x2 < 0) {
            x2 = -1*x2;
        }

        Log.w("Xs", x1 + " " + x2);
        if (x1 < x2) {
            coincidenceX = coincidenceX + (x1/x2)*100;
            Log.w("X1/X2", Double.toString(x1/x2));
        } else {
```

```

coincidenceX = coincidenceX + (x2/x1)*100;
Log.w("X2/X1", Double.toString(x2/x1));
}

if (Double.isNaN(coincidenceX) && x1 != 0) {
    coincidenceX = 20;
} else if (Double.isNaN(coincidenceX) && x1 == 0) {
    coincidenceX = 100;
}

Log.w("COINX", coincidenceX + "");
resultX = resultX + coincidenceX;
Log.w("RESULTX", resultX + "");

if (y1 < 0) {
    y1 = -1*y1;
}

if (y2 < 0) {
    y2 = -1*y2;
}

Log.w("Ys", y1 + " " + y2);
if (y1 < y2) {
    coincidenceY = coincidenceY + (y1/y2)*100;
    Log.w("Y1/Y2", Double.toString(y1/y2));
} else {
    coincidenceY = coincidenceY + (y2/y1)*100;
    Log.w("Y2/Y1", Double.toString(y2/y1));
}

```

```

if (Double.isNaN(coincedenceY) && y1 != 0) {
    coincedenceY = 20;
} else if (Double.isNaN(coincedenceY) && y1 == 0) {
    coincedenceY = 100;
}

```

```

Log.w("COINY", coincedenceY + "");
resultY = resultY + coincedenceY;
Log.w("RESULTY", resultY + "");

```

```

if (z1 < 0) {
    z1 = -1*z1;
}
if (z2 < 0) {
    z2 = -1*z2;
}

```

```

Log.w("Zs", z1 + " " + z2);
if (z1 < z2) {
    coincedenceZ = coincedenceZ + (z1/z2)*100;
    Log.w("Z1/Z2", Double.toString(z1/z2));
} else {
    coincedenceZ = coincedenceZ + (z2/z1)*100;
    Log.w("Z2/Z1", Double.toString(z2/z1));
}

```

```

if (Double.isNaN(coincedenceZ) && z1 != 0) {
    coincedenceZ = 20;
} else if (Double.isNaN(coincedenceZ) && z1 == 0) {
    coincedenceZ = 100;
}

```

```

    }

    Log.w("COINZ", coincidenceZ + "");
    resultZ = resultZ + coincidenceZ;
    Log.w("RESULTZ", resultZ + "");
}

//    Log.w("RESULTX", resultX + "");
//    Log.w("RESULTY", resultY + "");
//    Log.w("RESULTZ", resultZ + "");

resultX = DoubleRounder.round(resultX / toCompareRecord.size(), 2);
resultY = DoubleRounder.round(resultY / toCompareRecord.size(), 2);
resultZ = DoubleRounder.round(resultZ / toCompareRecord.size(), 2);

//    Log.w("RESULTX", resultX + "");
//    Log.w("RESULTY", resultY + "");
//    Log.w("RESULTZ", resultZ + "");
result = resultX + resultY + resultZ;
result = DoubleRounder.round(result/3,2);

String resulte = "Сходство по X: " + resultX + "%\nСходство по Y: " +
resultY + "%\nСходство по Z: " + resultZ + "%\n\nГрафики схожи на " + result +
"%";

    compareText.setText(resulte);
}}}

public void setChronometerTime(double time) {

    time = DoubleRounder.round(time, 1);
    chronometer.setText(Double.toString(time) + "c");

```

```

}

public static void hideKeyboard(Activity activity) {
    View view = activity.findViewById(android.R.id.content);
    if (view != null) {
        InputMethodManager imm = (InputMethodManager)
activity.getSystemService(Context.INPUT_METHOD_SERVICE);
        imm.hideSoftInputFromWindow(view.getWindowToken(), 0);
    }}

```

Flightadapter.java

```

package ru.asmodeoux.accelerometer;
import android.content.Context;
import android.support.v7.widget.RecyclerView;
import android.view.LayoutInflater;
import android.view.View;
import android.view.ViewGroup;
import android.widget.ImageView;
import android.widget.RelativeLayout;
import android.widget.TextView;

import java.text.SimpleDateFormat;
import java.util.Date;
import java.util.List;

public class FlightAdapter extends RecyclerView.Adapter<FlightAdapter.ViewHolder>
{

    private List<Flight> flights;
    Context context;

```

```

public FlightAdapter(List<Flight> records, Context context) {
    this.flights = records;
    this.context = context;
}
/**
 * Создание новых View и ViewHolder элемента списка, которые впоследствии
могут переиспользоваться.
 */
@Override
public ViewHolder onCreateViewHolder(ViewGroup viewGroup, int i) {
    View v =
LayoutInflater.from(viewGroup.getContext()).inflate(R.layout.flight_item, viewGroup,
false);
    return new ViewHolder(v);
}
/**
 * Заполнение виджетов View данными из элемента списка с номером i
 */
@Override
public void onBindViewHolder(ViewHolder viewHolder, int i) {
    final Flight flight = flights.get(i);
    viewHolder.name.setText(flight.name);

    String dateString = new SimpleDateFormat("dd.MM.YYYY
HH:mm").format(new Date(flight.timestamp));

    viewHolder.date.setText(dateString);
    viewHolder.delete.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
        @Override

```

```

public void onClick(View view) {
    if (context instanceof MainActivity) {
        ((MainActivity) context).deleteRecordViaTimestamp(flight.timestamp);
    }
});

```

```

viewHolder.parent.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
    @Override
    public void onClick(View view) {
        if (context instanceof MainActivity) {
            if (!((MainActivity) context).choosingComparator) {
                ((MainActivity) context).changeChart(flight);
            } else {
                ((MainActivity) context).toCompareRecord.clear();
                for (Coordinate c : flight.coordinates) {
                    ((MainActivity) context).toCompareRecord.add(c);
                }
                ((MainActivity) context).setTitle("Запись");
                ((MainActivity) context).switchList();
                ((MainActivity) context).openComparator();
                ((MainActivity) context).choosingComparator = false;
                ((MainActivity) context).calculateComparison();
            }
        }
    }
});

```

```

@Override
public int getItemCount() {
    return flights.size();
}

```

```

class ViewHolder extends RecyclerView.ViewHolder {
    private TextView name;

```

```

private TextView date;
private ImageView delete;
RelativeLayout parent;
public ViewHolder(View itemView) {
    super(itemView);
    name = itemView.findViewById(R.id.flightname);
    date = itemView.findViewById(R.id.flightdate);
    delete = itemView.findViewById(R.id.deleteflight);
    parent = itemView.findViewById(R.id.parent);
}}

```

#### Flight.java

```

package ru.asmodeoux.accelerometer;
import java.util.ArrayList;

public class Flight {
    ArrayList<Coordinate> coordinates = new ArrayList<>();
    String name;
    long timestamp;
    Flight (ArrayList<Coordinate> coords, String name, long timestamp) {
        this.name = name;
        this.timestamp = timestamp;
        for (Coordinate c : coords) {
            this.coordinates.add(c);
        }
    }
}

```

#### Coordinate.java

```

package ru.asmodeoux.accelerometer;

public class Coordinate {
    double x;

```

```
double y;  
double z;  
Coordinate(double x, double y, double z) {  
    this.x = x;  
    this.y = y;  
    this.z = z;  
}}
```

Comparator.java

```
package ru.asmodeoux.accelerometer;  
import com.github.mikephil.charting.data.Entry;  
public class Comparator implements java.util.Comparator<Entry> {  
    public int compare(Entry o1, Entry o2) {  
        return (int) (o1.getX() - o2.getX());  
    }  
}}
```

## Список проведенных испытаний:

1. taxi start+90right turn 386t dry 748;
2. TO DME14R BFU 386t D2+29 220.4 +13 1010;
3. LD SIN20R f125 283t MAN 400'-30kt nowind +30 1009;
4. taxi 90right turn 5kt;
5. ALT AQR 290t 290kt 2000'min;
6. taxi 90left turn 10kt;
7. taxi decel 19-8kt 10sec;
8. TO HKG25R BLQ 410t D1+37 f20 190.10 +29 1012;
9. TO NRT16R BHE 240t D2+65 f10 calm +29 1010;
10. LD INC15L BHE f25 210t 360.12 +27 1008;
11. taxi 90tight turn 7-8kt BHE;
12. TO ICN15R BHE f10 330t D2+49 150.10 +29 1008;
13. LD SVO06R BHE f25 248t 020.10 +13 1007;
14. TO ORD22L BBY 284t D2+40 f10 240.10 +28 29.79;
15. LD DFW18R BBY f25 269t 180.9 +36 29.81;
16. TO LGG22L BJS 90t f10 D2+56 210.90 +19 1008;
17. LD BUD31R BIA f25 275t calm +20 1014;
18. штопор пр Як-52;
19. бочки пр и лев як-52;
20. штопорная бочка пр як-52;
21. штопорная бочка пр як-52;
22. переворот як-52;
23. переворот бочка на вертикали и два переворота як-52;
24. TO SVO24C BBL f20 372t D2+34 180.8 +22 1013;
25. LD AMS18R BJS f25 340t 260.15 +18 1016;
26. TO AMS36L BRJ 330t f10 D2+52 calm +24 1021;
27. TO SVO06R BIM f20 363t D2+39 calm +14 1029;
28. LD FRA07R BLQ f30 335t calm +30 1018;

29. SIM74 bank45L 360deg;
30. SIM74 bank60L 360deg;
31. SIM44 TO HKG 07R f10 330t D2+49 070.10 +30 1006;
32. SIM48 LD HKG07R f25 310t 070.10 +30 1006;
33. LD ICN33R BRJ f30 303t 070.8 +27 1016;
34. TO HKG07R BBP f20 425t D+40 170.5 +28 1004;
35. LD SVO25L BBP f30 330t 325.10 +18 1021;
36. SIM38 WS on final;
37. SIM38 TO WS after TO;
38. SIM38 TO LIRN16 ENGOUT 66t 320.20 +30 1010;
39. SIM38 LD LINF05 65t LENGOUT f15 330.30 +30 1010;
40. SIM38 TO LJJ30 f5 67t 350.30 +20 1010;
41. SIM38 LD AUTOLAND FAIL;
42. TO LGG22L BIG f10 245t D2+61 190.7 +18 1021;
43. LD BUD30R f25 231t 300.10 +25 1018;
44. SIM38 TO LYTV WS f5 65t 250.30 +30 1010;
45. SIM38 LD WS on final GA;
46. SIM38 TO LYTV32 WS f5 65t 250.30 +30 1010;
47. SIM38 LD LYTV14 f30 65t 160.18 +30 1010;
48. SIM38 TO ZMUB32 ENGOUT 130kt contTO f5 70t 240.10 +30 1010;
49. SIM38 LD ZMUB ENGOUT RAWDATA f15 69t 240.15 -5 1010;
50. SIM38 RTO;
51. SIM38 LD LJJ30 AUTOLAND f30 66t 350.20 +20 1013;
52. SIM38 LD LJJ30 AUTOLAND f30 66t 350.30 +20 1013;
53. SIM38 BANK60R 360deg;
54. LD SVO24C BRH f30 330t 260.10 -7 1014;
55. LD AER06 BJS f25 220t 060.6 +19 1011;
56. LD PVG35L BIG f25 240t360.8 +23 1014;
57. LD SVO24L BHE f30 280t 320.8 +8 1017;
58. LD HKG07L BIK f25 190t 240.8 +27 1013;

59. LD SVO24L BLQ f25 290t 250.17 +5 1004;
60. TO SVO24C BIA f10 283t D2+57 210.10 +8 1029;
61. LD HKG07R BBY AUTOLAND f25 220t calm +26 1016;
62. LD LAX06R BFE HARDLANDING f30 343t 045.10 +13 29.78;
63. LD SVO24L BFU f25 290t 220.20 -3 1032;
64. LD ZAZ30R BJS AUTOLAND f30 283t calm +3 1032;
65. TO SVO24L BFU f20 292t D2 245.16 +5 1007;
66. LD PVG16R BFU f5 230t 140.10 +13 1023;
67. TO SVX15 BIG f20 386t TO+35 calm +22 1016;
68. TO AMS24 BGZ f10 300T D2+57 250.20 +7 996;
69. LD DME14R BGZ AUTOLAND f30 276t 160.8 +1 1009;
70. SIM44 ПР БОЧКА;
71. SIM73 LD FRA25L AUTOLAND f30 224t 300.10 +10 1010;

#### Результаты сравнения:

##### Руление

- 4-11 right 90deg turn 7-10kn 60;  
 4-6 90 deg turn 5-10knt 65;

##### Взлет

- 2-31 same flaps and wind diff weght 75;  
 8-24 same flaps and wind diff weght 70;  
 24-42 same wind diff weght and flaps 69;  
 26-31 sim vs a/c same weght no wind 75;  
 27-67 same weght no wind 75;  
 31-67 sim vs a/c same weght no wind 76;  
 26-34 diff weghts and flaps no wind 75;  
 12-31 sim vs a/c same weght no wind 74;  
 31-68 sim vs a/c same weght no wind 75;  
 31-26 a-c ws sim same weght diff wind 75;  
 14-16 same weght same wind 72;

60-65 same dind and weght 744 vs 478 72;

14-60 same dind and weght 744 vs 478 70;

44-46 ws 738 sim 81;

#### Посадка

3-64 man and autoland wind calm same weight 58;

3-17 man land same weight 65;

17-69 man and autoland wind calm same weight 68;

28-64 man and autoland wind calm same flaps diff weght 56;

10-13 same a/c man land same weight diff wind 69;

69-71 auto sim and a/c 748 773 69%;

33-35 man crosswind 90deg same weight 66;

33-57 man crosswind 90deg same weight 64;

25-35 man crosswind 90deg same weight 60;

10-58 man same wehgt 748 744 tailwind 60;

57-58 man 744 diff wehgt diff flaps tailwind 66;

32-43 headwind man sim and a/c same weight and flaps 66;

15-69 auto and man land same weight and flaps 69;

55-56 man same weight and flaps headwind 59;

59-69 man and autoland diff flaps same weght headwind 72;

63-69 a/c autolamd 748 diff flaps 69;

54-69 man and autoland /c same weight and wind and flaps 69;

63-66 man a/c same flaps and wind diff wehgt 67;

51-52 sim autoland 738 10deg wind diff 80;

52-71 sim 738 vs sim 773 autoland 68;

30-53 60 deg 360 turn sim 744 sv sim 738 60%;

значение на ВС	значение на УИП	n
0,07	0,08	0,857143
0,07	0,07	1
0,07	0,08	0,857143
0,07	0,08	0,857143
0,08	0,08	1
0,08	0,08	1
0,07	0,08	0,857143
0,07	0,08	0,857143
0,08	0,08	1
0,07	0,08	0,857143
0,07	0,09	0,714286
0,08	0,09	0,875
0,07	0,09	0,714286
0,07	0,1	0,571429
0,08	0,1	0,75
0,07	0,1	0,571429
0,07	0,1	0,571429
0,08	0,11	0,625
0,08	0,11	0,625
0,07	0,12	0,285714
0,08	0,13	0,375
0,08	0,13	0,375
0,07	0,11	0,428571
0,08	0,14	0,25
0,08	0,15	0,125
0,09	0,16	0,222222

0,09	0,16	0,222222
0,09	0,17	0,111111
0,09	0,17	0,111111
0,09	0,17	0,111111
0,09	0,17	0,111111
0,09	0,17	0,111111
0,09	0,17	0,111111
0,1	0,19	0,1
0,1	0,19	0,1
0,1	0,19	0,1
0,11	0,2	0,181818
0,12	0,22	0,166667
0,12	0,22	0,166667
0,13	0,23	0,230769
0,14	0,24	0,285714
0,14	0,23	0,357143
0,13	0,23	0,230769
0,15	0,23	0,466667
0,15	0,24	0,4
0,15	0,24	0,4
0,16	0,24	0,5
0,17	0,25	0,529412
0,17	0,25	0,529412
0,18	0,26	0,555556
0,19	0,26	0,631579
0,2	0,25	0,75
0,2	0,25	0,75
0,21	0,26	0,761905
0,21	0,26	0,761905

0,21	0,26	0,761905
0,22	0,26	0,818182
0,22	0,26	0,818182
0,23	0,25	0,913043
0,23	0,25	0,913043
0,23	0,25	0,913043
0,24	0,26	0,916667
0,24	0,26	0,916667
0,24	0,26	0,916667
0,25	0,26	0,96
0,25	0,25	1
0,25	0,26	0,96
0,25	0,26	0,96
0,26	0,26	1
0,25	0,25	1
0,26	0,25	0,961538461538461
0,26	0,25	0,961538461538461
0,24	0,26	0,916667
0,26	0,26	1
0,26	0,24	0,923076923076923
0,25	0,25	1
0,25	0,25	1
0,25	0,25	1
0,25	0,26	0,96
0,25	0,24	0,96
0,27	0,25	0,925925925925926
0,25	0,25	1
0,25	0,25	1
0,27	0,24	0,888888888888889

0,25	0,25	1
0,26	0,25	0,961538461538461
0,25	0,25	1
0,26	0,24	0,923076923076923
0,27	0,24	0,888888888888889
0,25	0,25	1
0,24	0,24	1
0,26	0,25	0,961538461538461
0,25	0,25	1
0,26	0,24	0,923076923076923
0,25	0,24	0,96
0,25	0,24	0,96
0,25	0,24	0,96
0,25	0,24	0,96
0,27	0,25	0,925925925925926
0,25	0,25	1
0,25	0,24	0,96
0,26	0,24	0,923076923076923
0,25	0,25	1
0,26	0,23	0,884615384615385
0,25	0,24	0,96
0,24	0,24	1

0,17	0,26	0,470588
0,17	0,25	0,529412
0,21	0,26	0,761905
0,18	0,26	0,555556
0,18	0,26	0,555556
0,18	0,26	0,555556

0,18	0,26	0,555556
0,17	0,27	0,411765
0,18	0,27	0,5
0,19	0,27	0,578947
0,16	0,27	0,3125
0,17	0,27	0,411765
0,16	0,27	0,3125
0,2	0,27	0,65
0,17	0,27	0,411765
0,18	0,26	0,555556
0,17	0,26	0,470588
0,18	0,27	0,5
0,16	0,26	0,375
0,19	0,26	0,631579
0,15	0,26	0,266667
0,17	0,26	0,470588
0,17	0,26	0,470588
0,2	0,26	0,7
0,17	0,26	0,470588
0,17	0,27	0,411765
0,18	0,26	0,555556
0,17	0,26	0,470588
0,17	0,26	0,470588
0,15	0,27	0,2
0,18	0,27	0,5
0,15	0,26	0,266667
0,17	0,26	0,470588
0,19	0,27	0,578947
0,18	0,26	0,555556

0,17	0,26	0,470588
0,19	0,26	0,631579
0,19	0,26	0,631579
0,19	0,26	0,631579
0,2	0,25	0,75
0,2	0,26	0,7
0,21	0,25	0,809524
0,21	0,25	0,809524
0,2	0,25	0,75
0,22	0,25	0,863636
0,21	0,24	0,857143