

На правах рукописи



РЫБКИН ПАВЕЛ НИКОЛАЕВИЧ

**КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ
ПОДГОТОВКИ ПИЛОТОВ ВЕРТОЛЁТОВ НА ОСНОВЕ
РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ ТРЕНАЖЁРНЫХ СИСТЕМ И
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ ПРОГРАММ**

Специальность: 2.9.6 – Аэронавигация и эксплуатация
авиационной техники

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА) на кафедре «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и авиадвигателей».

Научный консультант

Доктор технических наук, профессор,
Заслуженный работник высшей школы РФ,
профессор кафедры «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и авиационных двигателей» ФГБОУ ВО МГТУ ГА
Чинючин Юрий Михайлович

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор,
Заместитель главного конструктора Опытно-конструкторского бюро им. А.И. Микояна по ТСО и полунатурной отработке БРЭО
Пономаренко Андрей Владимирович

Доктор технических наук, профессор,
главный специалист НИО ТСО Опытно-конструкторского бюро П.О. Сухого
Акимов Александр Николаевич

Доктор технических наук, профессор,
Заслуженный работник высшей школы РФ
Желанников Александр Иванович

Ведущая организация

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова» (ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А.А. Новикова)

Защита состоится «04» июня 2025 года в 15:00 на заседании Диссертационного совета 42.2.001.01, созданного на базе ФГБОУ ВО МГТУ ГА по адресу: 125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО МГТУ ГА и на сайте ФГБОУ ВО МГТУ ГА www.mstuca.ru

Автореферат разослан " ____ " _____ 2025 г.

Отзывы на автореферат направлять в двух экземплярах, заверенных печатью организации, на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Ученый секретарь

Диссертационного совета 42.2.001.01
доктор технических наук, профессор



В.М. Самойленко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В условиях Российской Федерации с её обширными территориями и отсутствием развитой сети автомобильных дорог активное применение вертолётной авиации является одним из важнейших факторов дальнейшего развития труднодоступных регионов Севера и Сибири, богатых природными ресурсами. Помимо транспортной работы в недостаточно освоенных регионах, современные вертолёты выполняют множество нестандартных видов работ, связанных с их применением в народном хозяйстве: прокладку нефти- и газопроводов, установку опор электропередач, охрану лесов, тушение лесных пожаров и многие другие виды работ.

Одним из важнейших требований, предъявляемых к вертолётной авиации, является обеспечение безопасности полётов, определяемое, прежде всего, техническим состоянием вертолётной техники и профессиональным уровнем обученности лётного состава. Для обеспечения и поддержания требуемого уровня профессиональной подготовки пилотов вертолётов должны предусматриваться специальные образовательные программы тренажёрной подготовки, повышения квалификации и аттестации лётного состава. В период 1990-х годов действующие единичные вертолетные тренажёры не в полной мере отвечали современным требованиям, а для новых типов вертолётов и их модификаций полностью отсутствовали. Сопровождение всего периода «профессиональной жизни» пилота вертолёта, от момента его первоначального обучения до завершения лётной деятельности, не носило комплексного, системного характера. Практически не использовались современные компьютерные обучающие программы и технологии. Не проводилось, как правило, экономическое обоснование тех или иных управленческих решений в области подготовки лётного состава вертолётной техники, организационно-технического обеспечения и поддержания их профессиональной квалификации.

Указанные предпосылки и объективная оценка фактического состояния дел в области кадрового обеспечения лётно-технической эксплуатации отечественного вертолетного парка свидетельствуют об актуальности новой научной проблемы, решение которой обусловлено необходимостью разработки и внедрения современной Комплексной системы профессиональной подготовки, повышения квалификации и аттестации пилотов вертолётов на основе автоматизированных обучающих средств и инновационных технологий.

Степень разработанности темы исследования

В ряде работ по исследованию научных проблем, посвященных повышению эффективности и безопасности полетов в ГА РФ, затрагивались задачи и проблемы качества подготовки профессиональной квалификации специалистов лётно-подъёмного состава отечественной ГА. К числу работ по данному направлению следует выделить исследования, проведенные такими авторами как: Айдаркин Д.В., Акиншин Р.Н., Борзова А.С., Большедворская Л.Г., Борисов Ю.А., Ким В.С., Красовский А.А., Кузнецов С.В., Леонтьев В.А., Мацор А.И., Натальин В.М., Смуров М.Ю., Соловьев Б.А., Сызранцев В.Н., Тыщенко О.Б., Чинючин Ю.М., Шишкин В.В., Шаров В.Д.

Тем не менее, проводимые исследования ограничивались решением отдельных частных задач, не носящих комплексный системный характер, без глубокого теоретического обоснования механизмов и методов профессионального обучения и тестирования, в частности, как правило, в условиях ограниченного применения современных компьютерных технических средств и лётных тренажеров с полномасштабным программным обеспечением.

Объект исследования - отраслевая система профессиональной подготовки и аттестации кадров для сферы лётной эксплуатации гражданской вертолетной техники.

Предмет исследований - совокупность процессов, принципов, механизмов и процедур обучения, повышение квалификации и аттестации пилотов на базе современных автоматизированных программных средств и инновационных технологий.

Цель диссертационной работы - решение научно-хозяйственной проблемы обеспечения научно-методологического сопровождения процессов профессиональной

подготовки пилотов вертолётчиков на основе создания и внедрения в образовательную деятельность авиационных учебных центров (АУЦ) комплексной системы первоначального обучения, переподготовки и повышения квалификации пилотов вертолётчиков.

Для достижения сформулированной в диссертационной работе цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Системный анализ проблем управления профессиональной подготовкой, повышением квалификации (ПППК) пилотов вертолётной техники и формирование основных требований к Системе ПППК;
2. Функциональный анализ, структурирование профессиональных действий пилота в реальных условиях полёта и разработка автоматизированных обучающих программ (АОП) и учебных курсов. Выбор требуемого состава компьютерных технических средств.
3. Построение моделей движения вертолётчика, алгоритмов действий в стандартных и усложнённых условиях полёта с учетом функциональных повреждений конструкции вертолётчиков и их систем.
4. Адаптация теоретических знаний и объема требуемых компетенций к содержанию профессиональных программ обучения пилотов на комплексных лётных тренажёрах.
5. Обоснование требований по техническому и программному обеспечению образовательных центров компьютерной лётной подготовки пилотов вертолётчиков семейства Ми-8.
6. Создание, сертификация и внедрение персонифицированного комплексного лётного тренажёра вертолётчика Ми-8МТВ в отраслевую Систему ПППК.
7. Разработка методологических основ организации учебного процесса на базе современных компьютерных средств и инновационных технологий и технико-экономическая оценка мероприятий по дальнейшему развитию Системы ПППК в ГА.

Соответствие паспорту специальности

Общая направленность научной проблемы и содержания решаемых задач соответствуют научной специальности 2.9.6. – «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники» и направлениям исследований (п.1, п.7, п.12, п.15) Паспорта специальности по отрасли – «Технические науки». Полученные в процессе проведенных исследований конечные результаты рассматриваются и оцениваются как разработка совокупности научно-обоснованных технических решений, представляющих теоретическую и практическую ценность для транспортной отрасли.

Методы исследования. Аналитическое, расчетно-графическое и оценочно-содержательное описание объекта и предмета исследования основано на научных положениях общей теории управления техническими и технологическими процессами, теории динамических систем, на применении законов и закономерностей теоретической и практической аэродинамики, теории газотурбинных двигателей, классической теории вероятностей и математической статистики, принципах и правилах построения алгоритмов, методов оптимальных решений, математического моделирования и программирования. В ходе проводимых исследований использованы директивные положения и рекомендуемая практика ИКАО, нормативные требования документов Воздушного законодательства и Федеральных органов исполнительной власти, регламентирующих авиационную деятельность в Российской Федерации.

Научная новизна работы

1. Сформирована структура Системы ПППК пилотов вертолётчиков, отличающаяся тем, что учреждения профессионального обучения разного уровня и разных форм собственности методологически объединены в образовательные звенья от момента первоначального обучения до достижения необходимого уровня квалификации в период лётной деятельности. В результате преемственности образовательных программ, входящих в единую сеть, удовлетворяются требования нормативных документов ИКАО и Воздушного законодательства России, повышается технико-экономическая эффективность процессов обучения.

2. Структурированы действия (операции) пилотов по управлению вертолётom и его функциональными системами (ФС) на всех этапах реального полёта, отличающиеся тем, что в качестве параметра структурирования использовано соотношение объёмов внекабинной и внутрикабинной информации, необходимой для выполнения необходимой операции, позволившее сформировать совокупности однородных «фрагментов» деятельности.

3. Теоретически подобран и разработан упорядоченный комплект технических средств обучения, отличающийся тем, что каждое техническое средство (группа средств) предназначено для обучения и отработки «фрагментов» действий с определённым соотношением объёмов внекабинной и внутрикабинной информации. Последовательный переход от одной группы технических средств к последующей с увеличением объёма внекабинной информации обеспечивает освоение всего объёма программы подготовки (изучения, переподготовки, повышения квалификации и т.п.).

4. Созданы компьютерные продукты для вертолётom семейства Ми-8 – автоматизированные обучающие курсы теоретических дисциплин, автоматизированные системы контроля теоретических знаний, дисплейные тренажёры проверок ФС вертолётa, дисплейные тренажёры особых и аварийных ситуаций, навигационные тренажёры, комплексный лётный тренажёр, отличающиеся тем, что они могут быть использованы в разных формах обучения: самостоятельное обучение и подготовка; аудиторные групповые занятия; в дистанционных обучающих системах.

5. Проведена оценка стоимостных затрат, связанных с обучением пилотов вертолётom Ми-8, отличающаяся тем, что при оценке учтены, помимо подготовки, все виды поддержания квалификации в течение всего периода профессиональной деятельности пилота как в авиапредприятиях, так и непосредственно в АУЦ.

6. Разработана методика оптимального размещения комплексных лётных тренажёров на территории региона (страны), отличающаяся тем, что задача решается на двух уровнях: внешний – регионы и города; внутренний – распределение экипажей между тренажёрами.

Ценность научных результатов состоит в том, что они позволяют: реализовать комплексный подход к управлению процессами ПППК пилотов вертолётной техники на протяжении всего периода лётной работы, обеспечивающему непрерывное сопровождение, поддержание и повышение квалификационного уровня пилота на основе применения современных образцов компьютерной техники, инновационных программ и технологий обучения, реализуемых в условиях сертифицированных АУЦ и специализированных комплексных лётных тренажёров; методологические, организационно-технические и технологические основы, заложенные при данном научном подходе в систему ПППК лётного состава вертолётных подразделений ГА и направленные на обеспечение эффективной и безопасной лётной эксплуатации вертолётной техники, с учётом нарастающих требований к авиационному виду деятельности, на расширение сферы применения вертолётom в народном хозяйстве и развитие отечественного вертолётостроения.

Практическая значимость научных результатов заключается в том, что:

1. Автором работы внедрены в практику ПППК пилотов вертолётom современные виды технических средств компьютерного обучения, обеспечивающие полный цикл высококачественной первоначальной подготовки и предусматривающие контроль и поддержание на требуемом уровне лётную квалификацию в течение всего периода производственной деятельности пилота.

2. Практическая ценность подкреплена:

- авторским свидетельством на изобретение – «Тренажёр вертолётa»: Пат. 2230371 Рос. Федерации; №2002/07543/11;
- свидетельствами об официальной регистрации программ ЭВМ, баз данных и алгоритмов (7 свидетельств).

3. На основе выполненных исследований Росавиацией изданы руководящие и нормативно-технические документы, регламентирующие образовательную деятельность в рамках Системы ПППК пилотов вертолётom.

4. Результаты внедрены: в учебный процесс АУЦ «СПАРК» (ГА РФ); в АУЦ «ВЕРАКРУЗ» (Мексика), АУЦ «AST» (Литва), которым на основании соглашений переданы пакеты методического и программного обеспечения учебного процесса; в вертолётных авиакомпаниях РФ («Авиашельф», «Ямал», «Нарьян-Марский ОАО»).

5. В АУЦ «СПАРК» по состоянию на 2022 г.:

- более 1000 пилотов и бортмехаников отечественных и зарубежных (
- зарегистрировано 5500 пилотов и бортмехаников отечественных и зарубежных авиакомпаний (АК), прошедших периодические курсы повышения квалификации;
- зарегистрировано 9000 экипажей отечественных и зарубежных АК, выполнивших периодические тренировки на Комплексном лётном тренажёре вертолёт Ми-8МТВ.

Личный участие автора

1. На основе предложенной автором концепции разработана и внедрена комплексная система подготовки лётного состава, отвечающая повышенным требованиям по обеспечению эффективности безопасной эксплуатации вновь создаваемых и перспективных видов вертолётной техники.

2. По результатам функционального анализа, при непосредственном участии автора, в учебных и испытательных полётах в качестве бортового инструктора, проведена структуризация целевых профессиональных действий пилота вертолёт, в том числе в экстремальных условиях, и обоснован объем квалификационных требований к обучающим модулям практического компьютерного обучения.

3. Проведено формализованное описание процессов развития сложных и аварийных полётных ситуаций и разработан комплекс моделей для тренажёрной подготовки пилотов вертолёт семейства Ми-8МТВ.

4. Сформировано техническое задание, обеспечено непосредственное сопровождение процессов разработки, испытаний, сертификации и внедрения Комплексного тренажёра Ми-8МТВ («Тренажёр вертолёт»: Пат. 2230371 РФ).

5. Разработаны методологические основы построения Системы организационного и методологического обеспечения и модернизации программ обучения пилотов вертолётного парка на базе АУЦ ММФ Мексики (г. Веракруз) и АУЦ ОАО «СПАРК» (АК РФ).

Решены задачи по модернизации тренажёрной системы подготовки лётного состава, оптимальному базированию АУЦ на территории РФ, по их оснащению современными комплексными лётными тренажёрами и по их технико-экономической оценке (ТЭО) данных мероприятий.

Достоверность результатов обеспечивается и подтверждается: принятыми и реализованными методами исследования проблемы, корректным применением аналитического аппарата при разработке алгоритмов с последующим проведением целевого математического моделирования, методов и механизмов управления физическими процессами на уровне функциональных систем, силовой установки и вертолёт в целом, что в полной мере использовано при решении выделенного в работе комплекса научно-практических задач.

Обоснованность полученных результатов подтверждается экспериментальной проверкой эффективности процесса обучения и качественной квалификационной подготовкой лётного состава на базе комплексных лётных тренажёров, оснащенных современными компьютерными техническими средствами с полномасштабным программным сопровождением, методами и средствами контроля и оценки уровня освоения обучаемыми образовательных программ.

Положения, выносимые на защиту

1. Общие квалификационные требования к современной профессиональной образовательной системе подготовки и аттестации пилотов гражданских вертолетов;

2. Структурированная модель целевых профессиональных функций по установленному спектру действий пилота вертолета в стандартных и усложненных условиях полета;

3. Комплекс образовательных обучающих программ и специальных учебных курсов, адаптированных по объему и содержанию требуемых теоретических компетенций, знаний и умений к применяемым техническим средствам и методам компьютерного обучения;

4. Компонентный облик комплексного тренажера вертолета (КТВ) Ми-8МТВ, принципы взаимодействия его функциональных модулей, Руководство по деятельности (применению) КТВ в условиях АУЦ и авиакомпаний ГА;

5. Методы и алгоритмы программного обеспечения процесса обучения пилотов на базе КТВ, подтвержденные Свидетельствами о государственной регистрации;

6. Методологические основы организации учебного процесса с применением современных КТВ, технических компьютерных средств, инновационных технологий и их программного обеспечения;

7. Рекомендации по ТЭО мероприятий по развитию отраслевой системы профессиональной подготовки авиационных кадров, модернизации компьютерного и тренажерного оборудования.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных выставках: МАКС (г. Жуковский, Россия) – 2001, 2003, 2005, 2011; (Фарнборо, Великобритания) – 2002, 2004, 2006; (Ле Бурже, Париж, Франция) – 2001, 2003, 2005, 2007; Акапулько, Тoluка (Мексика); Джухай (Китай); Бангалор (Индия); на конференциях, форумах и других видах выставочных площадок.

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 21 научных работ, из них 11 научных статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ; получены 2 Патента на изобретение и 7 Свидетельств об официальной регистрации программы ЭВМ, сборника алгоритмов и баз данных автоматизированных обучающих систем.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, двух разделов, включающих шесть глав, заключения, библиографического списка из 236 наименований и приложения. Основной текст изложен на 244 страницах, включая 76 рисунков и 14 таблиц.

Общая структура диссертационной работы представлена на рис. 1.

Во введении обоснована актуальность исследуемой научной проблемы, рассмотрена степень её разработанности, определены объект, предмет исследования и соответствие её направления паспорту специальности, сформулированы цель и главные задачи исследования, дана характеристика работы: научная новизна; ценность научных результатов и их практическая значимость; личный вклад соискателя; методы исследования; достоверность и обоснованность результатов; основные положения, выносимые на защиту; базовые документы управления профессиональной подготовкой авиационного персонала в Гражданской авиации (ГА); приведены: общая структура работы, сведения об апробации работы и научным публикациям.

В Главе 1 проведен системный анализ проблем управления профессиональной подготовкой, повышением квалификации (ПППК) пилотов вертолётной техники: анализ действующей в ГА Системы ПППК летного состава; обзор поэтапного создания и развития в ГА авиационных учебных центров (АУЦ) и выявлены основные недостатки их функционирования.

Обоснована необходимость и целесообразность разработки и внедрения Комплексной Системы сопровождения процессов обеспечения и управления ПППК пилотов вертолётов на основе кардинальной модернизации действующего аппаратного, учебно-методического и программного оснащения АУЦ данной направленности, ориентированной на использование новых обучающих компьютерных средств и образовательных технологий и охватывающей все этапы жизненного цикла профессиональной деятельности лётного состава.

**РАЗДЕЛ 1. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ ПРОГРАММ,
ДИСПЛЕЙНЫХ ТРЕНАЖЁРОВ И КОМПЛЕКСНЫХ ЛЁТНЫХ ТРЕНАЖЁРНЫХ СИСТЕМ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ПИЛОТОВ ВЕРТОЛЁТОВ**



**РАЗДЕЛ 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПППК ВЕРТОЛЁТОВ
НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ ПРОГРАММ**

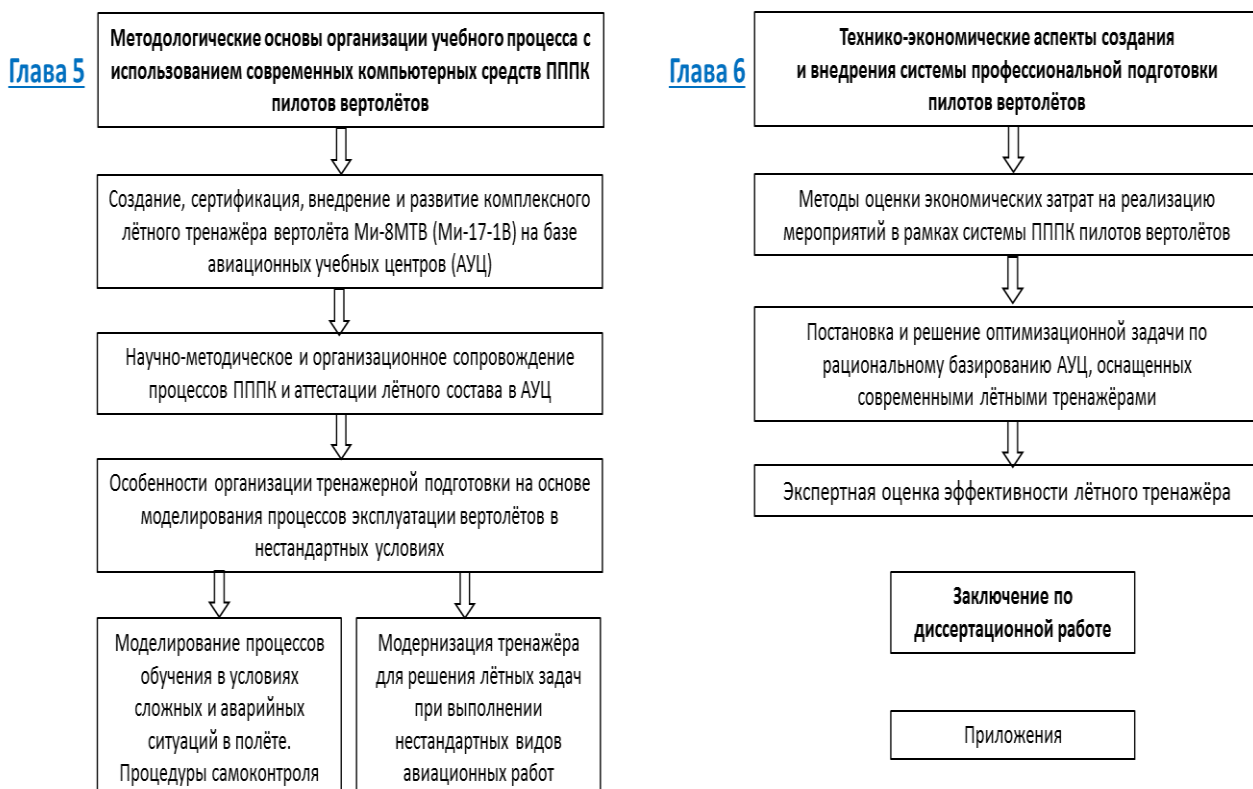


Рисунок 1 – Общая структура диссертационной работы

Основные факторы комплексного подхода, с учетом категорий обучающихся, и факторы системного подхода, с учетом причинно-следственных связей, приведены на рис. 2 и 3.



Рисунок 2 – Факторы комплексного подхода. Категории обучающихся



Рисунок 3 – Факторы системного подхода (с учётом причинно-следственных связей)

Деятельность пилота как оператора по управлению функциональными системами (ФС) вертолѐта проходит в условиях дефицита времени и необходимости строгого выполнения требований, связанных с обеспечением безопасного полѐта.

В этой связи в работе дана общая характеристика основных функций пилота как оператора по управлению ФС вертолѐта в условиях дефицита времени и необходимости строгого выполнения требований, связанных с обеспечением безопасного полѐта. Пилот принимает информацию о работе ФС по каналам: зрительному; слуховому и тактильному (о положении и эволюциях в пространстве).

Принимая во внимание данные особенности выполнения полѐта, сформирован Перечень «однородных» действий пилота на разных этапах штатного полета, включающий:

– визуальное и приборное определение положения вертолѐта в пространстве (внекабинная и внутрикабинная информация);

- воздействие на органы управления ФС для изменения (поддержания) положения вертолѐта в пространстве (внекабинная и внутрикабинная информация);
- снятие показаний приборов и оценка работы ФС вертолѐта;
- управление ФС и АиРЭО;
- настройка навигационного оборудования и решение навигационных задач;
- ведение радиосвязи.

В процессе решения каждой из перечисленных задач пилот использует информацию, получаемую по результатам анализа внекабинной и (или) внутрикабинной обстановки в разных объѐмах для каждой из задач.

Возникающая в полѐте при разгоне и торможении вертолѐта продольная перегрузка n_x определяется по формуле вида

$$n_x = \frac{P - X}{G} = 0,17 \dots 0,26, \quad (1)$$

где P – сила тяги;

X – сила лобового сопротивления;

G – масса вертолѐта.

Боковая перегрузка n_z мала, и её можно принять равной нулю.

Нормальная (вертикальная) перегрузка n_y определяется по формуле вида

$$n_y = \frac{Y}{G} < 1,41, \quad (2)$$

где Y – подъемная сила.

Проведѐн анализ особенностей функций, выполняемых пилотом в условиях возникающих в полѐте динамических нагрузок, при этом выявлено, что источниками динамических нагрузок являются траекторные перегрузки и вибрации несущего и рулевого винтов при разгоне или торможении вертолѐта. Перегрузки для рекомендованных режимов полѐта вертолѐта Ми-8МТВ имеют вид, представленный на рис. 4.

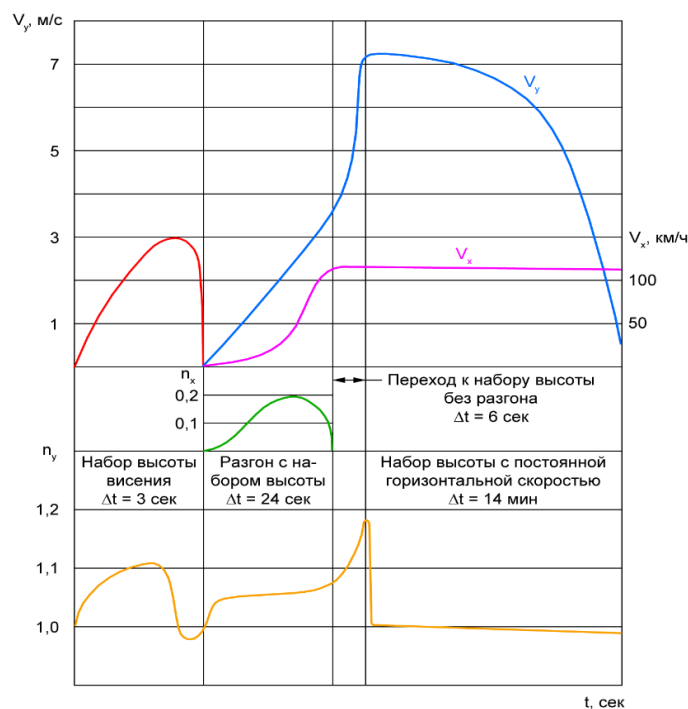


Рисунок 4 – Перегрузки для рекомендованных режимов полѐта вертолѐта Ми -8МТВ

Гражданский вертолёт семейства Ми-8 не предназначен для выполнения маневренных полётов. Расчёты показали, что при нормированных Руководством по лётной эксплуатации (РЛЭ) вертолёта процессах разгона и торможения горизонтальная перегрузка равна $0,17...0,26$.

Перегрузка, при нормированном для вертолёта Ми-8МТВ развороте с максимальным углом крена 45° , $N_y = 1/\cos\beta$ равна 1,41, что принято считать приемлемой величиной.

Величина вибрационной перегрузки зависит от тщательности балансировки несущей системы и от режима работы силовой установки. Её величина определена по записям вертикального акселерометра во время испытательных полётов, рис. 5.

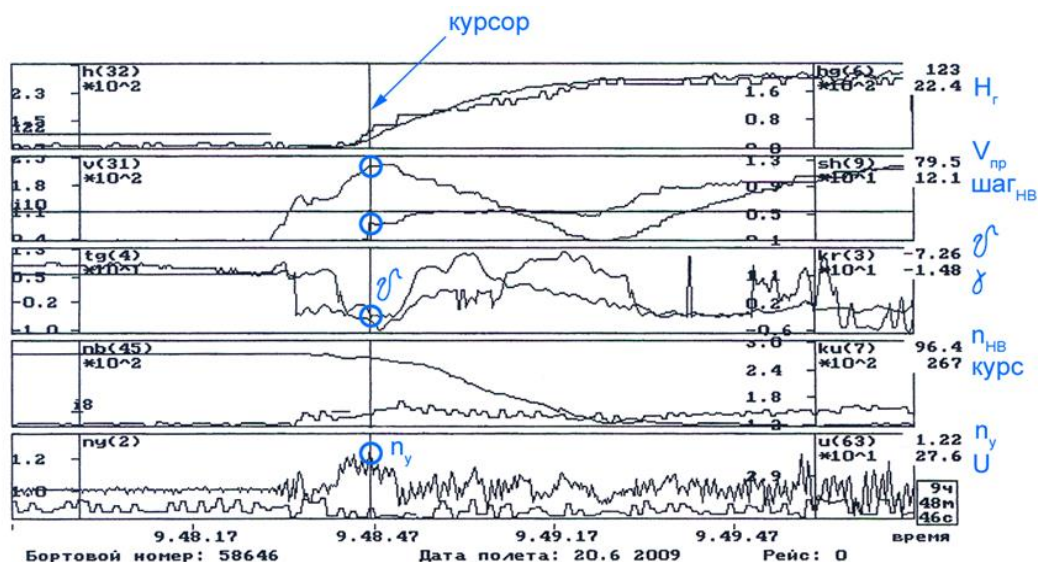


Рисунок 5 –Записи параметров в полёте

Результаты расчётов и замеров в реальных полётах позволяют сделать следующий вывод: в штатных полётах на пилота гражданского вертолёта действуют перегрузки, не превышающие 1,5 в вертикальном и 0,2 в горизонтальном направлениях продолжительностью в несколько секунд.

Принимая во внимание требование по минимизации затрат на ПППК пилотов вертолёт, проведено обоснование минимально необходимого и достаточного состава технических средств (ТС) для профессионального обучения пилота на всех этапах ПППК, в частности, определены требования к ТС с учётом содержания решаемых задач:

- при определении положения вертолёта в пространстве ТС должны имитировать внекабинную обстановку, для чего оборудуются современной системой визуализации;
- при изменении (сохранении) положения вертолёта в пространстве ТС должны имитировать внекабинную (визуальную) и внутрикабинную информацию и позволять выбирать верное действие;
- ТС должны обеспечивать снятие показаний приборов и оценку работоспособности ФС вертолёта;
- ТС должны обеспечивать управление ФС и АиРЭО;
- ТС должны обеспечивать настройку навигационного оборудования для решения навигационных задач;
- ТС должны обеспечивать ведение радиосвязи;
- ТС должны обеспечивать имитацию действий пилота при выполнении разрешённых нестандартных видов авиационных работ.

С учётом вышеперечисленных требований и вариантов имитации условий полёта вертолёта проведена классификация ТС:

- для этапа теоретического обучения – автоматизированные обучающие программы (АОП) и курсы (АОК) с имитацией без каких-либо условий полёта (могут сопровождаться любыми иллюстрациями: плакаты, схемы и т.п.);
- для этапа профессионального обучения при имитации необходимых видов воздействий на пилота – дисплейные функциональные и ситуационные тренажёры для отработки действий по управлению ФС и АиРЭО и для отработки действий в сложных и аварийных ситуациях;
- для этапа профессионального обучения с имитацией такого объёма воздействий, который позволяет считать условия обучения приближёнными к реальным полётным условиям – кабинные тренажёры без визуализации и навигационные (дисплейные или экранные) тренажёры с упрощенной визуализацией внекабинного пространства;
- для этапа профессионального обучения при имитации полётных условий в полном объёме – комплексный лётный тренажёр с неподвижной или с подвижной платформой.
- реальный вертолёт (на этапе профессионального обучения в условиях выполнения реальных учебных полётов).

Глава 2 посвящена разработке и внедрению автоматизированных обучающих программ (АОП) и курсов (АОК).

С учётом международной рекомендуемой практики ИКАО, требований нормативных документов Минтранса РФ и Росавиации сформированы общие положения, основные целевые требования и принципы разработки и внедрения АОП, в том числе:

1. Структура Системы ПППК носит блочный характер и включает блоки:

- методологический, обеспечивающий: взаимосвязь учебных программ; отсутствие дублирования; ориентацию на перспективные обучающие технологии; мониторинг процессов ПППК и контроль уровня обучения; создание Атласа типовых учебных программ для всех звеньев ПППК;
- организационный, обеспечивающий функционирование Системы ПППК, модернизацию на основе современных образовательных технологий и её инвариантность с учётом реальных условий эксплуатации;
- учебно-методический, определяющий объем и содержание учебно-методических материалов для всех звеньев Системы ПППК;
- аппаратно-программный, основанный на базировании ПППК пилота вертолёта на современных образовательных технологиях с использованием вычислительной техники.

2. В качестве основных требований при разработке АОК принято:

- обеспечение возможности обучения: в режиме последовательного изучения требуемого АОК материала; в режиме Справочника на самостоятельной основе;
- обеспечение непрерывного (периодического) повышения квалификации;
- актуализация изучаемых нормативных документов, требований и правил лётно-технической эксплуатации вертолетов;
- активное использование современных отечественных инструментальных сред для развития АОК (оболочек) типа: «Универсал», «Адонис», «Урок», «АОС Микро», «Сценарий» и др.; зарубежных типа: «Costas», «Link Way», «Quest», «TehCore», «Clarion».

3. Автоматизированные обучающие курсы разделены на две группы: «Общие авиационные дисциплины»; «Дисциплины вертолёта конкретного типа».

В основу разработок АОК группы «Общие авиационные дисциплины» были положены следующие требования:

- предоставление возможности слушателям работать с АОК в двух режимах: режиме последовательного изучения с использованием гиперссылок и пояснений; в режиме справочника с самостоятельным выбором объёма запрашиваемого материала;
- изложение учебного материала без нарушения последовательности изучения всего материала, для чего были выделены базовые положения дисциплины, которые включены в объём материала для курсов повышения квалификации;

– структура автоматизированных обучающих курсов по дисциплинам должна предоставить возможность без значительных затрат времени и ресурсов редактировать имеющиеся фрагменты и вносить в программу обновлённые фрагменты.

4. Компьютерные обучающие программы и курсы должны разрабатываться также с учётом обеспечения не менее важных следующих требований и принципов:

- стереоскопичности, обеспечивающей «дидактический интерьер» среды обучения;
- модульности, позволяющей насыщать компоненты электронной системы новыми видами телекоммуникационной техники, мультимедиа и т.п.;
- вариативности (мобильности и динамичности), предусматривающей разработку и внедрение новых методов, форм и механизмов организации познавательной деятельности слушателя с учётом содержания, структуры учебного материала, целей и задач учебных дисциплин;
- паритетности, учитывающей степень сотрудничества преподавателя и обучаемого как основы перехода к самообучению;
- открытости Системы ПППК для её модернизации и пополнения.

Структурный принцип построения АОК группы «Общие авиационные дисциплины» показан на рис. 6.

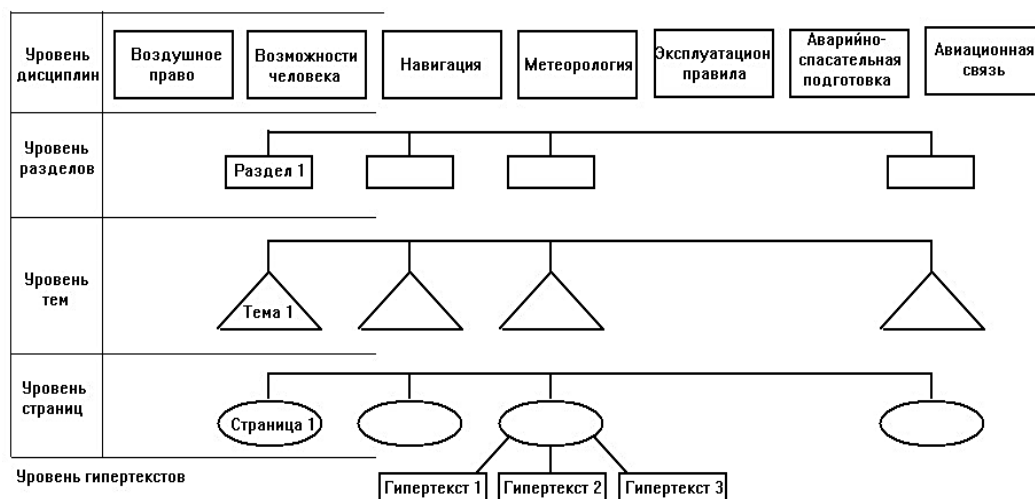


Рисунок 6 – Структура АОК «Общие авиационные дисциплины»

При разработке АОК второй группы «Дисциплины вертолёт конкретного типа» учитывались требования по объёму и глубине знаний для каждого члена экипажа вертолёт в соответствии с РЛЭ конкретного типа, при этом были разработаны два варианта АОК:

- АОК «Конструкция и техническая эксплуатация вертолёт Ми-8, Ми-8МТВ, Ми-8АМТ», предназначенный для бортмехаников и для инженерно-технического состава, занимающегося техническим обслуживанием вертолёт в авиакомпаниях, рис.7;
- АОК «Конструкция и лётная эксплуатация вертолёт Ми-8, Ми-8МТВ, Ми-8АМТ», предназначенный для всего экипажа.

Автоматизированный обучающий курс «Конструкция и лётная эксплуатация вертолёт Ми-8, Ми-8МТВ, Ми-8АМТ» – это переработанное для компьютерного представления РЛЭ вертолёт с фотографиями и иллюстрациями компьютерной графики.

Важным звеном в системе компьютерного обучения являются программы, с помощью которых осуществляется контроль усвоения слушателями учебного материала. Разработана система контроля уровня усвоения слушателями учебного материала с использованием тестирующих программ и тестовых заданий, предусматривающих диагностирующие, обучающие, организующие и воспитывающие функции для обучаемых.

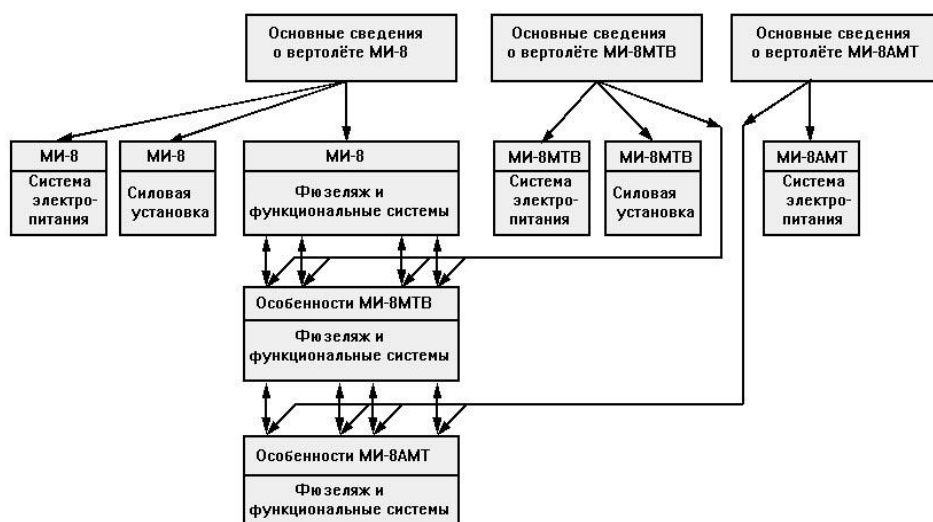


Рисунок 7 – АОК «Конструкция и техническая эксплуатация вертолётов Ми-8, Ми-8МТВ, Ми-8АМТ»

Разработанные комплекты контрольных тестов (графика + вопрос + предлагаемые ответы) по дисциплинам были подвергнуты анализу, определению характеристик и установлению факта соответствия этих характеристик принятым в теории таксометрии знаний принятым показателям.

При оценке профессиональных знаний пилотов вертолётов учитывались особенности профессиональной деятельности пилотов. Среди объёма знаний, которым пилот должен владеть, есть знания, непосредственно влияющие на безопасность полётов, которые с помощью экспертов были выделены в качестве тестовых заданий.

Контроль выполнения заданий осуществляется с учётом физиологических возможностей пилота и ограничением времени тестирования. В данных условиях принята гипотеза нормального распределения времени выполнения тестового задания. По результатам экспериментального тестирования были получены выборки для времени выполнения тестового задания и по ним определены параметры нормального распределения: среднее значение величины $\bar{\Delta t}_{\text{зад}}$ и отклонение σ , рис. 8.

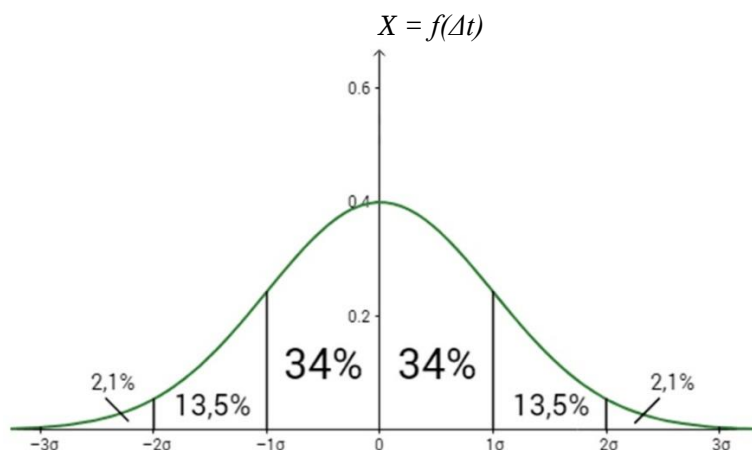


Рисунок 8 – Стандартное нормальное распределение случайной величины

В системе компьютерного обучения промежуточный и окончательный контроль проводится тестирующими программами с использованием тестовых заданий. При разработке

тестовых заданий по дисциплинам АОК «Общие авиационные дисциплины» и АОК «Дисциплины вертолёт конкретного типа» был сделан выбор в пользу заданий закрытого типа уровней «Знание», «Понимание», «Анализ» и «Синтез», используя категорию критериально-ориентированных тестов.

Индивидуальный балл слушателя с учётом изложенных выше корректировок вычисляется по формуле вида

$$\begin{aligned} \tilde{X} &= (X - \Psi * \Delta X \pm \Delta X_t) \cdot X_{k_1} \cdot X_{k_2} \cdots X_{k_n} = \\ &= \left[\sum_{i=1}^M X_i - \frac{1}{1 - \frac{U}{M}} \left(1 - \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M X_i \right) \cdot \Delta X + \operatorname{sign} \left| \sum_{i=1}^M X_t \right| \cdot \Delta X_t \right] \cdot X_{k_1} \cdot X_{k_2} \cdots X_{k_n}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $X_{k_1}, X_{k_2}, \dots, X_{k_n}$ – баллы (0 или 1), полученные при выполнении заданий, непосредственно связанных с обеспечением безопасности полётов.

Порядок проведения тестового контроля уровня теоретических знаний предусматривает разработку тестовых заданий, которая ведётся в два этапа. Первый этап – собственно разработка тестов. Второй этап – оценка качества разработанных тестов на корреляционность, надёжность и валидность. Второй этап проводится апостериорно по результатам контроля знаний слушателей.

С помощью коэффициентов корреляции Пирсона оценивается соответствие между отдельными заданиями и между конкретным заданием и тестом в целом по формуле вида

$$r_{mk} = \frac{p_{mk} - p_m p_k}{\sqrt{p_m q_m p_k q_k}}, \quad (4)$$

где p_m – доля верных ответов для задания с номером m ;

q_m – доля неверных ответов для задания с номером m ;

p_k – доля верных ответов для задания k ;

q_k – доля неверных ответов для задания с номером k ;

p_{mk} – доля верных ответов для заданий с номером m и k .

Для подсчёта коэффициента надёжности теста $r_{X_1-X_2}$ по двум выборкам X_1 и X_2 используется формула Паскаля вида

$$r_{X_1-X_2} = \frac{N \sum_{i=1}^N X_{1i} X_{2i} - \left(\sum_{i=1}^N X_{1i} \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^N X_{2i} \right)}{\sqrt{\left(N \sum_{i=1}^N X_{1i}^2 - \left(\sum_{i=1}^N X_{1i} \right)^2 \right) \left(N \sum_{i=1}^N X_{2i}^2 - \left(\sum_{i=1}^N X_{2i} \right)^2 \right)}}, \quad (5)$$

где X_1 и X_2 индивидуальные баллы i -го испытуемого в первом и во втором тестированиях;

N – количество испытуемых (в Приложении к работе рассмотрен пример анализа гипотетической выборки).

Валидность – характеристика теста, отражающая его способность получать результаты, соответствующие поставленной цели, и обосновывающая адекватность принимаемых решений. К принятым видам валидности относятся: содержательная, критериальная и конструктивная валидность.

Время на выполнение тестового задания $\Delta t_{\text{зад}}$ должно быть ограниченным. Связь между структурой и сложностью тестового задания и временем, отводимым на его выполнение, представлена в виде

$$\Delta t_{\text{зад}} = \Delta t_{\text{воспр}} + \Delta t_{\text{реш}} + \Delta t_{\text{ввод}}. \quad (6)$$

Для слушателей пилотов выделяется группа тестовых заданий, на которые каждый из них должен обязательно дать правильный ответ. Это связано со спецификой профессиональной деятельности пилотов ГА, поскольку главным требованием для пилотов является обеспечение безопасности полётов. Профессиональные сведения, которые непосредственно связаны с обеспечением безопасности полётов, пилот должен знать на отлично.

Результаты моделирования процессов обучения пилотов и их аттестации (процедур контроля уровня освоения изучаемого материала и процедур самоконтроля в рамках АОП и АОК), с учётом особенностей лётной эксплуатации вертолётных в нестандартных условиях (сложные и аварийные полётные ситуации), представлены в Главе 5 данной работы.

Глава 3 посвящена решению задач по разработке и применению **компьютерных функциональных тренажёров (КФТ)**, предназначенных для обучения пилотов управлению ФС и АиРЭО в штатных ситуациях и при возникновении сложных и аварийных ситуаций.

Порядок решения задач регламентируется Учебно-методическим комплексом (УМК), отражающим область и следующие условия применения КФТ:

- отработку действий обучаемого по проверке работоспособности ФС вертолета во взаимодействии с компьютером;
- отработку действий экипажа по парированию опасных и аварийных ситуаций, решение широкого класса навигационных задач;
- работу каждого КФТ, основанную на результатах: предварительного формализованного моделирования проверочных процедур по каждой ФС вертолёт; математического моделирования сложных и аварийных ситуаций, возникающих, в частности, по техническим причинам.

Разработка алгоритмов действий обучаемого предусматривает наличие полного объёма внутрикабинной информации, а для решения навигационных задач – требуемый объём внешней визуальной информации (на дисплее компьютера или выносном экране).

Общая классификация алгоритмов представлена на рис. 9.

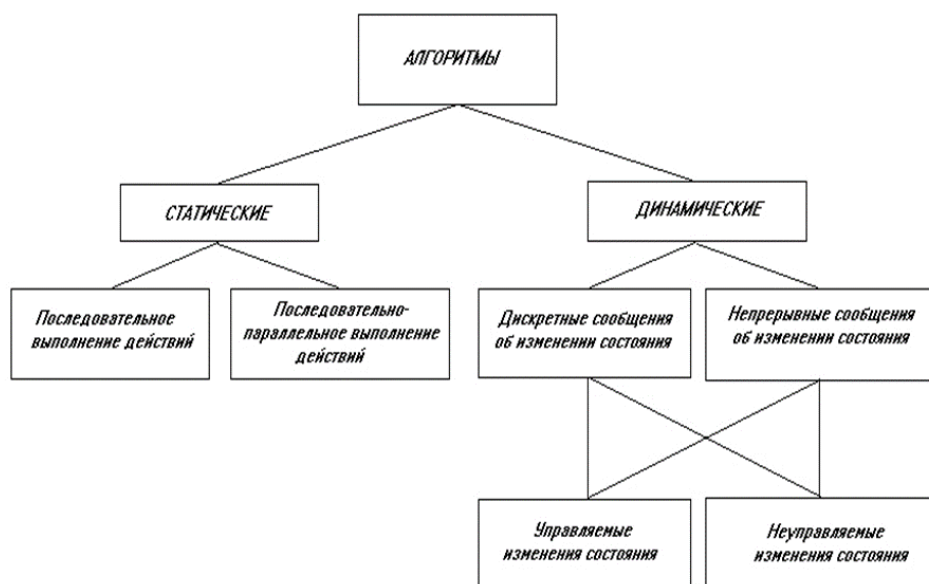


Рисунок 9 – Классификация обучающих моделей (алгоритмов)

Блок-схема обобщённого алгоритма взаимодействия обучаемого с компьютером включает четыре блока, рис. 10.

Рассмотрен ряд примеров авторских разработок по построению моделей и алгоритмов для их реализации в условиях КФТ при освоении практических навыков в процессе:

- проверки состояния аккумуляторов;

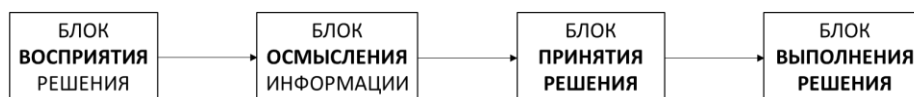


Рисунок 10 – Блок-схема обобщённого алгоритма взаимодействия обучаемого с персональным компьютером (ПЭВМ)

- запуска двигателя, полетных режимов работы двигателя;
- снятия показаний при штатном запуске двигателя с последующим введением инструктором ложных отказов (в количестве до 15, согласно приведенным в РЛЭ видам);
- изучения законов регулирования режимов работы двигателя, построения экспериментальной характеристики компрессора и дроссельной характеристики двигателя ТВЗ-117ВМ;
- организации вычислительного алгоритма;
- анализа алгоритма нестационарной модели.

Рассматриваемые КФТ **предназначены** для отработки действий по проверке работоспособности функциональных систем, в основном, **в период предполётной подготовки**. На ситуационных тренажёрах члены экипажа отрабатывают действия (каждый член экипажа свои), которые они должны выполнять в соответствии с РЛЭ по ликвидации опасных и аварийных ситуаций.

Информация, необходимая для работы на тренажёре, «выдаётся» слушателю через вывод на экран тех фрагментов приборных досок, на которых расположены органы управления системой, а также приборы и табло, по которым можно судить о работе системы. Фрагменты располагаются на фоне кабины вертолёт с указанием их места на приборных досках. Представленная информация может быть статической (положение тумблеров, галетных переключателей и др. органов), динамической дискретной (загорание и погасание табло и сигнальных лампочек) и динамической непрерывной (показание стрелочных приборов, цифровых индикаторов).

Помимо визуальной информации пилот воспринимает звуковую информацию. Это – шум работающих агрегатов, доклады и сообщения членов экипажа, позывные радиостанций, команды и сообщения диспетчеров. Необходимая звуковая информация имитируется и «выдаётся» пилоту в нужный момент либо через наушники, либо через динамик компьютера.

В компьютерном экранном тренажёре, без использования каких-либо имитаторов органов управления, слушатель может сообщить ПК о выполняемых им действиях только через интерактивные воздействия на экран ПК.

В некоторых тренажёрах слушатель воспринимает не только визуальную информацию, но и аудиоинформацию, в частности, в тренажёрах по проверке работы СПУ и радиостанций. Обучаемый слушает сообщение членов экипажа или диспетчера и оценивает качество звучания. Свою оценку слушатель сообщает через перечень, предлагаемых вариантов оценок.

Взаимодействие между членами экипажа (команды КВС и доклады) производится КВС путём выбора из списка предлагаемых команд, а для 2-го пилота и бортмеханика – путём выбора из списка предлагаемых докладов.

При разработке компьютерных тренажёров был заложен принцип – информирование слушателя об ошибке, как только он её совершил. Если ошибка незначительная, слушателю предлагается её исправить (даётся подсказка), и работа на тренажёре продолжается. Если ошибка значительная, работа на тренажёре прекращается и упражнение считается невыполненным.

Действия слушателя оцениваются. По результатам работы слушателя формируется протокол. Шкала оценок составлена таким образом, чтобы любая серьёзная ошибка приводила к неудовлетворительной оценке.

В основу функциональных и ситуационных экранных тренажёров заложены математические модели тех функциональных систем вертолёт, с которыми слушатель

«работает» на конкретном тренажёре. Математические модели функциональных систем, используемые в рассматриваемых тренажёрах, по формальной классификации моделей относятся: либо к разряду дискретных моделей, либо к разряду непрерывных моделей.

В реальном полёте экипаж вертолёт оценивает состояние функциональных систем и развитие сложных и аварийных ситуаций по показаниям стрелочных приборов, цифровых индикаторов, сигнальных табло и других информационных средств, расположенных в кабине. Причём, не только по величине параметров, но по их изменению во времени, причём во взаимосвязи с другими параметрами. Поэтому важно, чтобы информационная картина, реализованная на дисплейном тренажёре, была адекватна реальной информационной картине, наблюдаемой пилотом в полёте.

Для получения временных зависимостей параметров, имитирующих реальную информационную картину, наблюдаемую пилотом в полёте и при наземных проверках, использовались три направления:

1. Использование сведений, имеющих в эксплуатационных документах (РЛЭ и др.). В частности, в РЛЭ указывается для некоторых процессов в какой момент времени параметр должен иметь заданное значение. К сожалению, таких сведений очень мало, чтобы имитируемая информационная картина была реальной.

2. Видео фиксация реальной информационной картины. Автор диссертации, будучи аттестованным бортмехаником-инструктором, проводилась видеосъёмка различных параметров работы бортовых систем по приборным доскам в реальных нормальных условиях полёта и при проведении наземных контрольных проверок ФС вертолёт. Однако, проводить видеосъёмку приборных досок и наблюдать информационную картину при сложных и аварийных ситуациях в полёте невозможно.

3. Математическое моделирование процессов (механических, электрических, химических и т. д.), приводящих к сложным и аварийным ситуациям. Реализация процесса моделирования была осуществлена путём формирования информационной картины в тренажёрных условиях, каковыми являются **Экранные ситуационные тренажёры (ЭСТ)**.

Они разрабатываются отдельно для каждого члена экипажа. Роль других членов экипажа выполняет персональный компьютер (ПК).

Методология получения информационной картины на **базе ЭСТ** проиллюстрирована на примере сложной ситуации **«Обрыв гибкого валика»**. Для создания реальной информационной картины процессов, вызванных обрывом гибкого валика, важны не только величины изменяющихся параметров (наблюдаемых и не наблюдаемых), но и скорости их изменения. Время изменения наблюдаемых пилотом по приборам величин, например, частоты вращения двигателей и частоты вращения несущего винта – это время, в течение которого пилот должен определить возникшую ситуацию и принять решение о дальнейших действиях.

Для создания информационной картины расчётным путём были выделены параметры, определяющие динамику работы двигателей и несущей системы вертолёт (моменты инерции и др.). Выделенные параметры для нестационарных процессов работы двигателей и несущей системы вертолёт в реальных условиях регистрируются путём видео-фиксации.

Видео-фиксация нестационарных процессов проводилась по расположенным на приборной доске по двум 2-х стрелочным приборам с градуировкой в процентах. Один показывает частоту вращения несущего винта и частоту вращения свободной турбины ($\bar{\omega}$, %), другой – частоту вращения турбокомпрессора каждого двигателя ($\bar{n}$, %).

В качестве исходной информации были использованы результаты видео-фиксации процессов запуска и выхода силовой установки (СУ) на режим **«МАЛЫЙ ГАЗ» (МГ)** и её перевода с режима МГ на режим **«ПРАВОЙ КОРРЕКЦИИ» (ПК)**, рис. 11.

В результате была сформирована математическая модель функционирующей СУ вертолёт, позволяющая расчётным путём получить зависимости, зафиксированные в реальных процессах. Путём многократных расчётов с различным сочетанием значений параметров динамики работы СУ (момент инерции и др.) обеспечивается возможность

достижения необходимого уровня совпадения расчётных зависимостей с видео-зафиксированными.

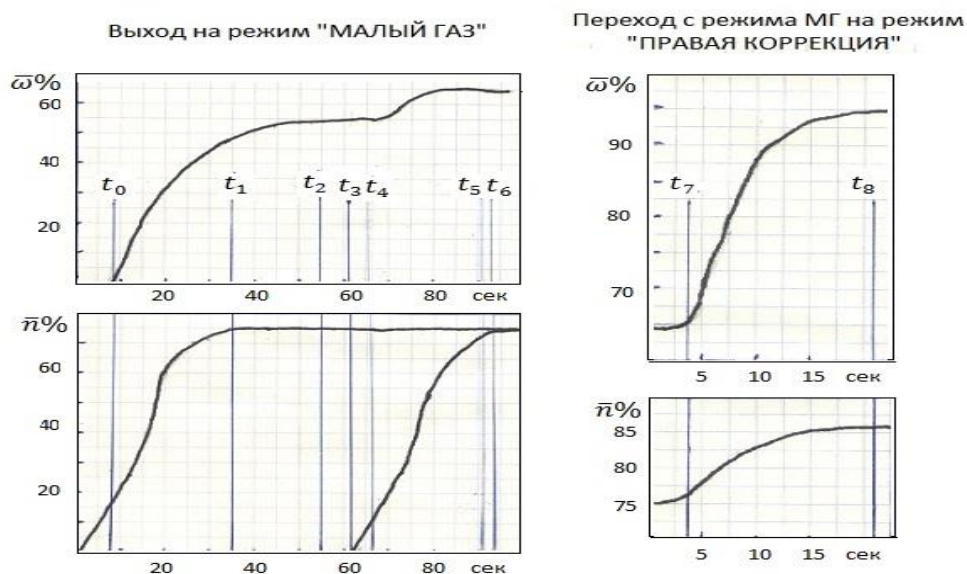


Рисунок 11 – Видео-фиксация нестационарных режимов

Зафиксированные параметры динамики работы СУ были использованы далее для расчёта нестационарных процессов, в частности, определения значений частоты вращения несущей системы и двигателей, возникающих после обрыва гибкого валика.

В целях подтверждения достоверности полученных результатов были учтены дополнительные условия:

1. Для регистрации изменения значений контролируемых параметров в нестационарных процессах были использованы, прежде всего, мощностные и моментные характеристики работы свободной турбины, установленные для нормированных режимов работы двигателей, рис. 12.

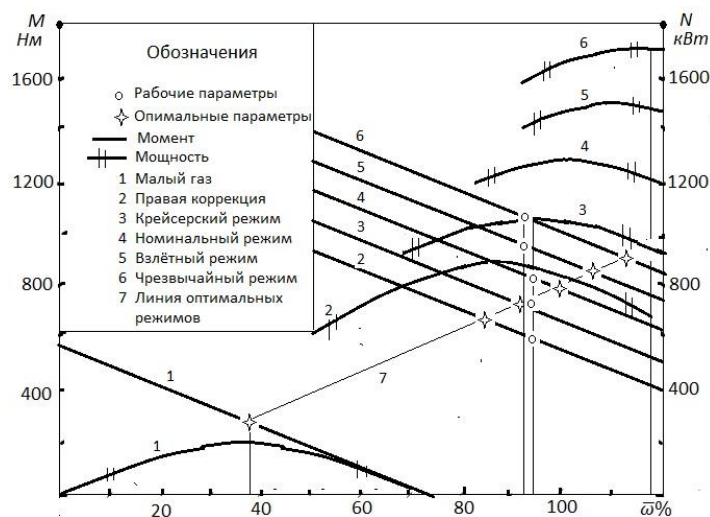


Рисунок 12 – Характеристики работы свободной турбины ТВ3-117ВМ

2. Поведение несущей системы на нестационарных режимах описывается уравнением вращательного движения вида

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{кр} - M_{сопр}}{J_{\Sigma}}, \quad (7)$$

где t – время работы и ω – частота вращения свободной турбины;

$M_{кр}$ – крутящий момент свободной турбины;

$M_{\text{сопр}}$ – момент сопротивления несущей системы;

J_{Σ} – момент инерции несущей системы, приведённый к частоте вращения свободной турбины.

Временные зависимости находятся путём интегрирования приведенного уравнения (7) (например, в интервале $\omega = 0 \dots \omega_2$) по формуле вида

$$\int_{t_0}^{t_2} dt = J_{\Sigma} \int_0^{\omega_2} \frac{d\omega}{M_{\text{кр}} - M_{\text{сопр}}} . \quad (8)$$

3. Путём совмещения рассчитанных временных зависимостей с реально зафиксированными в процессе запуска двигателей и выхода на режим МГ получены выражения: для крутящего момента $M_{\text{кр}}$; для момента сопротивления вращению несущей системы $M_{\text{сопр}}$; момента инерции несущей системы J_{Σ} , приведенного к частоте вращения свободной турбины.

4. Достоверность полученных результатов подтверждена использованием их непосредственно на этапе перехода от режима МГ на режим «ПРАВАЯ КОРРЕКЦИЯ».

Момент сопротивления вращению НС вертолѐта в диапазоне $\bar{\omega} = 93 \dots 110 \%$ и $\varphi = 1 \dots 15^\circ$ определяется по формуле вида

$$M_{\text{сопр}}^{\varphi} = M_{\text{сопр}}^{\text{пк}} + 1600 * \left[\left(\frac{\omega}{1568} \right)^2 - 1 \right] + [1,682 * 10^{-6} * (\varphi^2 - 1) * \omega^2]. \quad (9)$$

5. Полученные динамические характеристики несущей системы вертолѐта, а именно, момент инерции и момент сопротивления вращению, а также характеристики свободных турбин двигателей позволили получить информационную картину процессов поведения силовой установки после обрыва гибкого валика одного из двигателей, рис. 13.

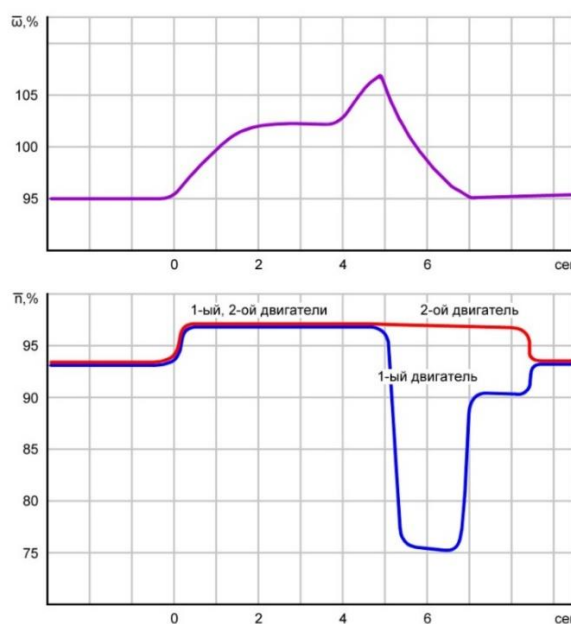


Рисунок 13 – Графики информационной картины процессов обрыва гибкого валика двигателя

6. При формировании на экране нестационарных процессов (движение стрелок приборов, цифровых индикаторов, органов управления и пр.) использовался циклический алгоритм иллюстрации отдельных графических фрагментов с заданной скоростью. Принцип работы такого алгоритма показан на рис. 14, а его блок-схема – на рис. 15.

Описанная методика разработки компьютерных тренажѐров была реализована при создании компьютерного продукта «Дисплейный функциональный тренажѐр» (ДФТ), при этом объединены тренажѐры по проверке ФС вертолѐта и ситуационные тренажѐры по действиям в сложных и аварийных ситуациях.

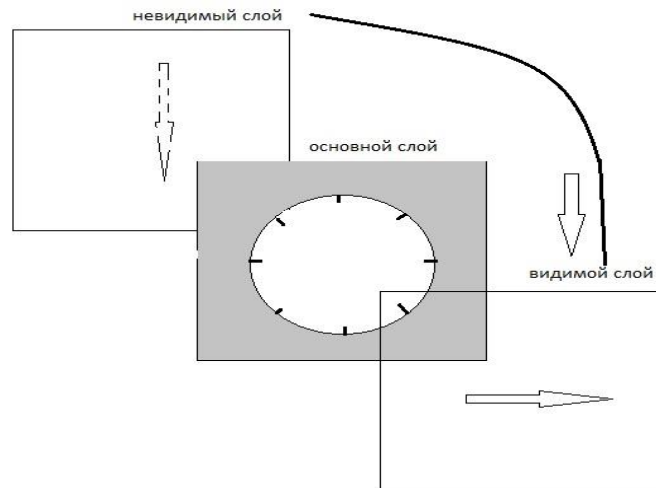


Рисунок 14 – Принцип работы циклического алгоритма



Рисунок 15 – Блок-схема алгоритма нестационарного процесса

По каждой проверке и для каждой ситуации разработаны компьютерные продукты двух видов – «ДЕМОНСТРАЦИЯ» и «ТРЕНАЖ».

ДЕМОНСТРАЦИЯ – это пассивный рассказ (текстовой и аудио) о последовательности действий по проверке системы с иллюстрацией на фрагментах приборных досок управления и контроля работоспособности системы и действий в случае её неисправного состояния.

ТРЕНАЖ – это интерактивный компьютерный тренажёр. Слушатель, взаимодействуя с активными зонами на экране дисплея ПК, изменяет положение органов управления функциональной системы в последовательности, предписанной РЛЭ, следит за показаниями средств контроля работы системы и делает вывод о её работоспособности.

В условиях широкого класса упражнений, для выполнения которых необходимы имитация приборных досок и визуализация внешнего пространства (в отличии от полной визуализации, используемой на лётном комплексном тренажёре) разработан **тренажёр навигационного назначения (ТНН)**.

При решении задач навигации используются кабинные и наземные средства навигации, при этом обеспечивается выполнение следующих функций:

- предполётная подготовка пилотажно-навигационного оборудования;
- выполнение маневров при движении вертолёт на аэродромах;
- взлёт, полёт на всех участках маршрута и посадка с имитацией погодных условий, днём и ночью в различных климатических зонах;
- комплексное использование бортового и наземного радиотехнического оборудования на всех этапах полёта;
- полёты в районах со сложным рельефом;
- пилотирование с использованием визуальных ориентиров, подбор площадок с воздуха и посадка на них;
- заходы на посадку с использованием действующих систем посадки в простых и сложных метеоусловиях;
- создание других вариантов комплектаций пилотажно-навигационного оборудования вертолёт;
- изменение состава наземного оборудования районов полётов и аэродромов;
- создание по заказу пользователей аэродромов с высокой степенью детализации, посадочных площадок, визуальных ориентиров;
- воспроизведение реальной местности и аэродромов по заказу пользователей.

Имитируемое приборное оборудование соответствует реальному авиационному и радиоэлектронному оборудованию вертолёт. Для изменения режимов полёта используются имитаторы органов управления вертолёт.

Для формирования сцены был выбран реальный полигон, на котором предполагалось выполнение навигационных упражнений. По предполагаемым трассам были расставлены реальные ориентиры и действующие наземные радионавигационные средства навигации. Система визуального отображения позволяет пилоту-слушателю наблюдать за выполнением полёта из кабины. Имеется возможность проконтролировать выполнение полёта с любой точки, находящейся вне кабины, в том числе и в режиме повтора.

Навигационный тренажёр имеет 4 варианта исполнения: два варианта по комплекту имитаторов органов управления вертолёт; два – по системе визуализации.

Для более реалистичного выполнения полётов на навигационном тренажёре использован полный комплект имитаторов органов управления вертолёт: ручка управления; рычаг шаг-газа; педали, рис. 16. Визуализация проводится с использованием видеопроектора и выводом визуальной информации на настенный экран.

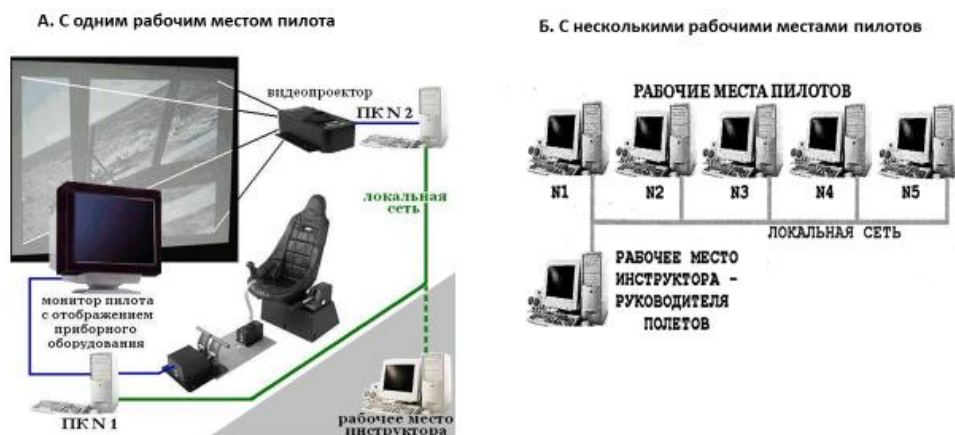


Рисунок 16 – Локальные сети рабочих мест навигационного тренажёра

При отработке методического сопровождения обучения была проведена модификация навигационного тренажёра для семейства вертолёт Ми-8 с учётом:

- вновь создаваемых образцов ПНК вертолёт Ми-8МТВ, Ми-8АМТ, Ми-171;
- внедрения обновлённого по составу наземного навигационного оборудования;
- особенностей других видов аэродромов, посадочных площадок и внедрения новых типов визуальных ориентиров;
- воспроизведения реальной местности по заказам пользователей.

Глава 4. Представлены теоретические положения и практические результаты по разработке и внедрению **комплексных лётных тренажёрных (КЛТ) систем** в целях ПППК пилотов вертолёт Ми-8МТВ. Рассмотрены структура и содержание тренажёрных задач обучения, приведены результаты моделирования процессов тренажёрного обучения с использованием моделей движения вертолёт в полёте, процессов функционирования силовой установки и бортовых систем вертолёт. Разработаны рекомендации по организации вычислительных процедур при моделировании образовательного процесса профессиональной подготовки пилотов на базе лётного тренажёра.

На основе разработанной методологии были сформированы научно обоснованные требования и представлено техническое задание на изготовление **КЛТ** применительно к вертолёту типа Ми-8МТВ.

После изготовления и монтажа тренажёра в АУЦ ОАО «СПАРК» была проведена его доводка и последующая подготовка к государственной сертификации. После успешного проведения сертификационных испытаний данного тренажёра была проведена работа по **оптимальному разделению лётных задач между тренажёром и учебными полётами** с последующей разработкой новой программы лётной подготовки. Программа предусматривала проведение первоначальной подготовки и ежеквартальных тренировок пилотов вертолёт Ми-8МТВ только на сертифицированных лётных тренажёрах с современной системой визуализации.

С целью адаптации разработанных авторских обучающих программ с процессами профессиональной теоретической и практической подготовки лётного состава в структуре вычислительного комплекса тренажёра реализованы математические модели имитационных воздействий, в частности: модели динамики полёта вертолёт; модели работоспособности двигателей и вспомогательной силовой установки; модели функционирования систем и оборудования вертолёт; модель полигона полётов; модели климатических, временных и метеорологических условий полёта.

Для управления различными устройствами имитации условий полёта в вычислительном комплексе реализованы «генераторы» имитационных воздействий, которые работают совместно с математическими моделями, а именно: «генераторы» внешней среды, формирующие кадры для проекторов; «генераторы» вибрационных воздействий; «генераторы» акустической среды в кабине, имитирующие постоянно действующие шумы от различных источников (двигателей, винтов, оборудования) и звуки, возникающие в моменты разовых событий (касание шасси вертолёт поверхности земли при посадке и др.); «генераторы» аудио сигналов и сообщений; «генераторы» информационного поля кабины, вырабатывающие сигналы для установки показаний стрелочных индикаторов на приборных досках и табло в нужное для данного момента положение.

Математическая модель, заложенная в вычислительный комплекс метеорологических условий, позволяет имитировать зиму и лето, любое время суток, дождь, снег и другие метеоусловия.

Обобщённая математическая модель КТВ объединяет совокупность математических моделей, которые имитирует работу множества разнородных по природе узлов, агрегатов и систем в их взаимосвязи.

Фрагменты математической модели тренажёра показана на рис. 17, его функциональных систем и АиРЭО – на рис. 18.

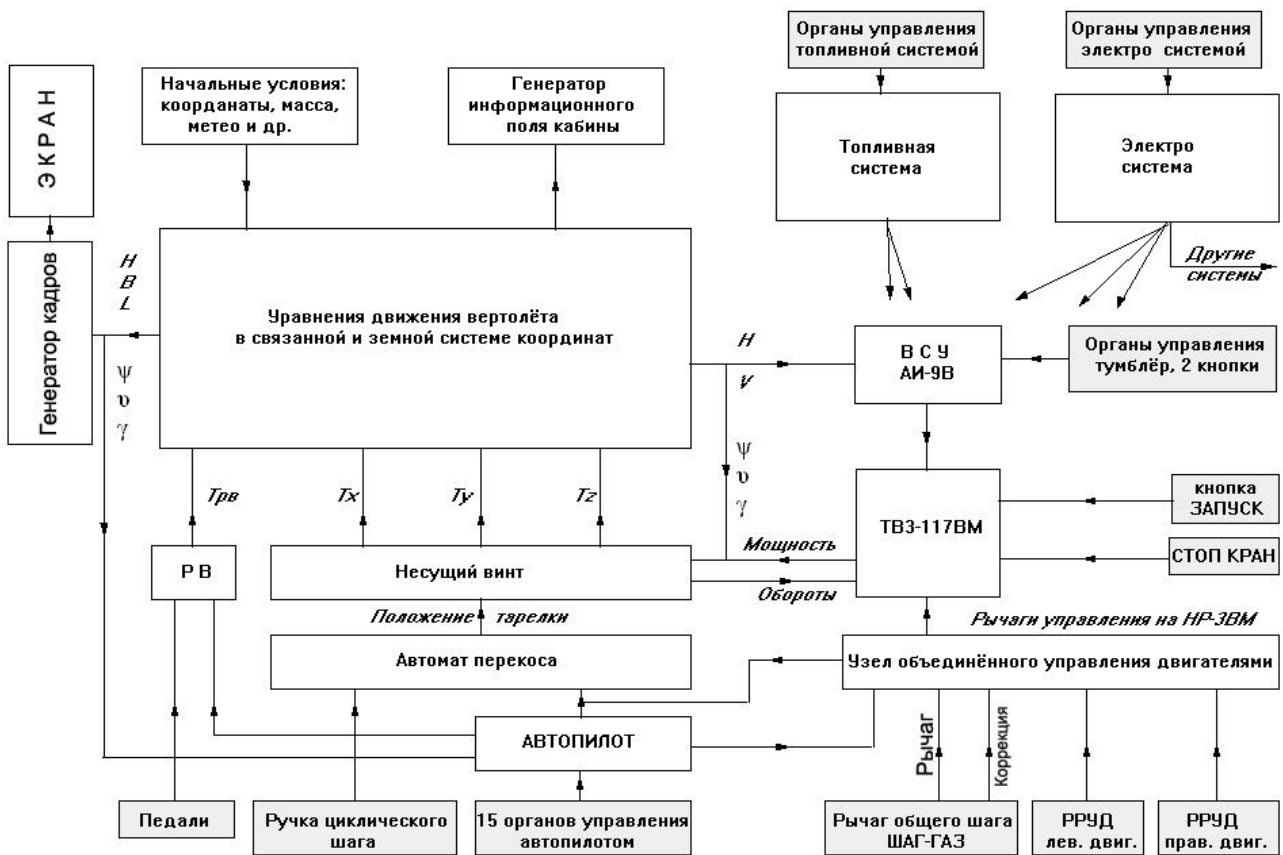


Рисунок 17 – Схема математической модели тренажёра (фрагмент: движение вертолёт)

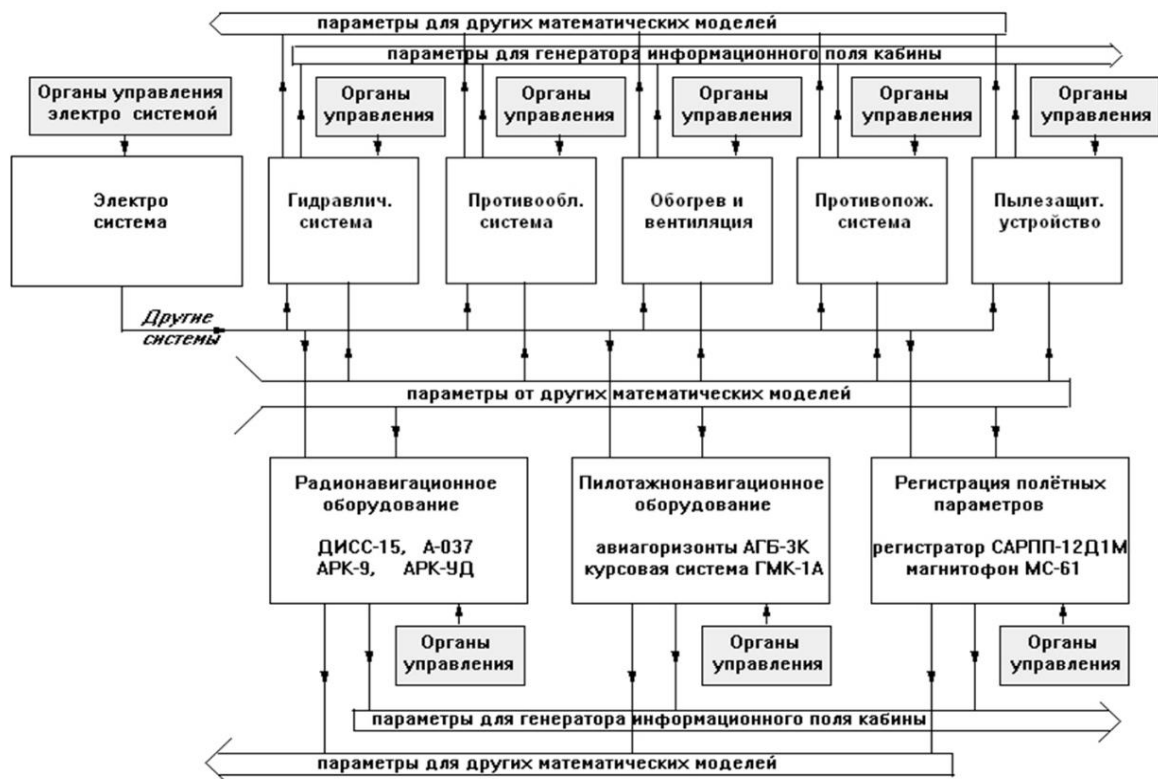


Рисунок 18 – Схема математической модели тренажёра (фрагмент: Функциональные системы, АирЭО)

Для каждого объекта математические модели неоднородны. Например, математическая модель движения вертолѐта в пространстве содержит дифференциальные уравнения 2-го порядка, математическая модель узла объединѐнного управления двигателями объединяет алгебраические уравнения, равенства, аппроксимирующие соотношения и т.д. В то же время формальный облик всех математических моделей одинаков и включает две группы входных параметров и три – выходных.

Входными параметрами являются независимые (изменяемые экипажем) положения соответствующих органов управления. Они же могут быть и выходными для математических моделей других узлов, агрегатов, систем. Выходные параметры распределяются между другими математическими моделями, а также «генераторами» кадров визуализации или информационного поля кабины.

Ранее (в период 2000-х годов) лѐтный тренажѐр АУЦ ОАО «СПАРК» был единственным лѐтным тренажѐром с современной системой визуализации вертолѐта Ми-8МТВ. На этом тренажѐре в рамках переучивания и периодических (ежеквартальных или полугодовых) тренировок тренировались экипажи российских авиапредприятий и стран ближнего и дальнего зарубежья.

В настоящее время (2024 год) функционируют 15 КТВ Ми-8МТВ (Ми-8АМТ):

- в РФ – Санкт-Петербург, Тюмень, Сыктывкар, Ростов-на-Дону, Якутск, Хабаровск, Омск, Красноярск, Казань, Улан-Удэ, Воронеж;
- за рубежом – Мексика, Колумбия, Хорватия, Венесуэла, ОАЭ, Литва, Чехия.

Документами, подтверждающими авторскую разработку и внедрение тренажѐров вертолѐтов, являются:

- Патент на изобретение № 2230371 РФ «ТРЕНАЖѐР ВЕРТОЛѐТА»;
- Сертификат на тренажѐр вертолѐта Ми-8МТВ (АМТ) для проведения тренировок членов экипажей и инженерно-технического персонала.

Глава 5. Представлены основные положения по организации учебного процесса в условиях АУЦ. В соответствии с полученным Сертификатом на комплексный лѐтный тренажѐр вертолѐта Ми-8МТВ и на основе разработанных программных продуктов, в частности, комплексных автоматизированных обучающих курсов и полного ряда дисплейных и экранных компьютерных тренажѐров, в условиях АУЦ ОАО «СПАРК», под руководством автора диссертации и при его непосредственном участии, был внедрѐн в практику подготовки пилотов метод индивидуального обучения, при этом была организована «**Локальная сеть АУЦ**», рис. 19.



Рисунок 19 – Локальная сеть АУЦ

К числу основных задач организации учебного процесса относятся:

- определение видов тренировок: первоначальная, ежеквартальная, подготовка лѐтного состава по задачам ПППК;

- выбор технических средств обучения: структуры компьютерных продуктов, интерфейса взаимодействия слушателя с экраном тренажёров и др.;
- определение времени для изучения тем АОК и освоения функций тренажёров;
- освоение действий по парированию аварийных и сложных полётных ситуаций на основе моделирования процедур самоконтроля слушателя;
- проверка эффективности подготовки на лётном тренажёре с неподвижной кабиной;
- разработка технологии дифференцированного изучения программы ПППК с учётом установленной периодичности повышения квалификации;
- перевод учебно-методических материалов на английский и испанский языки для подготовки пилотов стран дальнего зарубежья.

Проведен анализ длительности демонстрации информационных объектов (рис. 20 – 22).

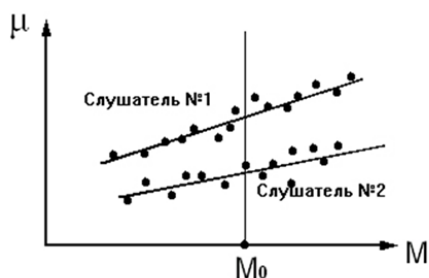


Рисунок 20 – Зависимость «времени осмысления» от объёма информации



Рисунок 21 – Зависимость «времени осмысления» от объёма информации в относительных величинах

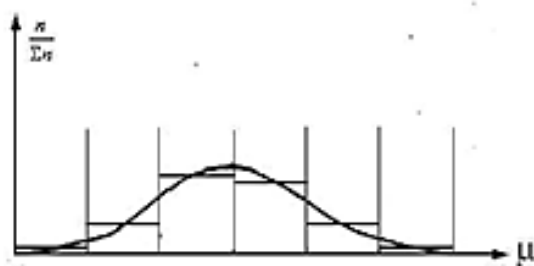


Рисунок 22 – График функции: время подготовки слушателем ответа на конкретный вопрос

В дисплейных (экранных) ситуационных тренажёрах тренаж (контроль, самоконтроль) проводится путём представления пилоту-слушателю информационной картины особых случаев полёта, перечисленных в РЛЭ.

Порядок (последовательность) представления особых случаев полёта должен обеспечить максимальную информационную адекватность реальному полёту, при этом должны быть обеспечены необходимые качественные характеристики учебного процесса: интерес, длительность, объективность оценки и др.

Вербальное описание последовательности представления имеет особенности следующего характера. Имеется сессия, то есть несколько вариантов особых случаев полёта, вызванных появлением в полёте различных отказов технических устройств. На экране компьютера воспроизводится информационная картина отказа путём изменений показаний соответствующих приборов, выведенных на экран компьютера. Пилот-слушатель по изменениям этих показателей должен идентифицировать отказ, выполнить рекомендуемые РЛЭ действия и по их результатам принять рекомендуемые РЛЭ решения о дальнейшем полёте. Возможны две оценки его действий: справился с конкретным особым случаем или не

справился. В дальнейшем, для краткости, вышеописанное будем называть сценарием, и обозначать **Sc**.

Итак, имеется множество **Sc** из N сценариев, которые последовательно надо предложить слушателю. Для приближения учебных условий к реальным условиям полёта слушатель не должен знать или хотя бы догадываться, какой сценарий ему будет предложен. Все данные, которые являются исходными при организации реализации, и полученные результаты объединим в единое для всех реализаций рабочее множество **WSet** (Working Set). В качестве подмножеств в него войдёт: множество вероятностей предъявления сценариев **Pr**, множество номеров реализованных сценариев **Num**, множество результатов реализации сценариев **Res**

$$WSet = Pr + Num + Res. \quad (10)$$

Ниже приводится блок-схема алгоритма, реализующего описанную выше процедуру самоконтроля, рис. 23.

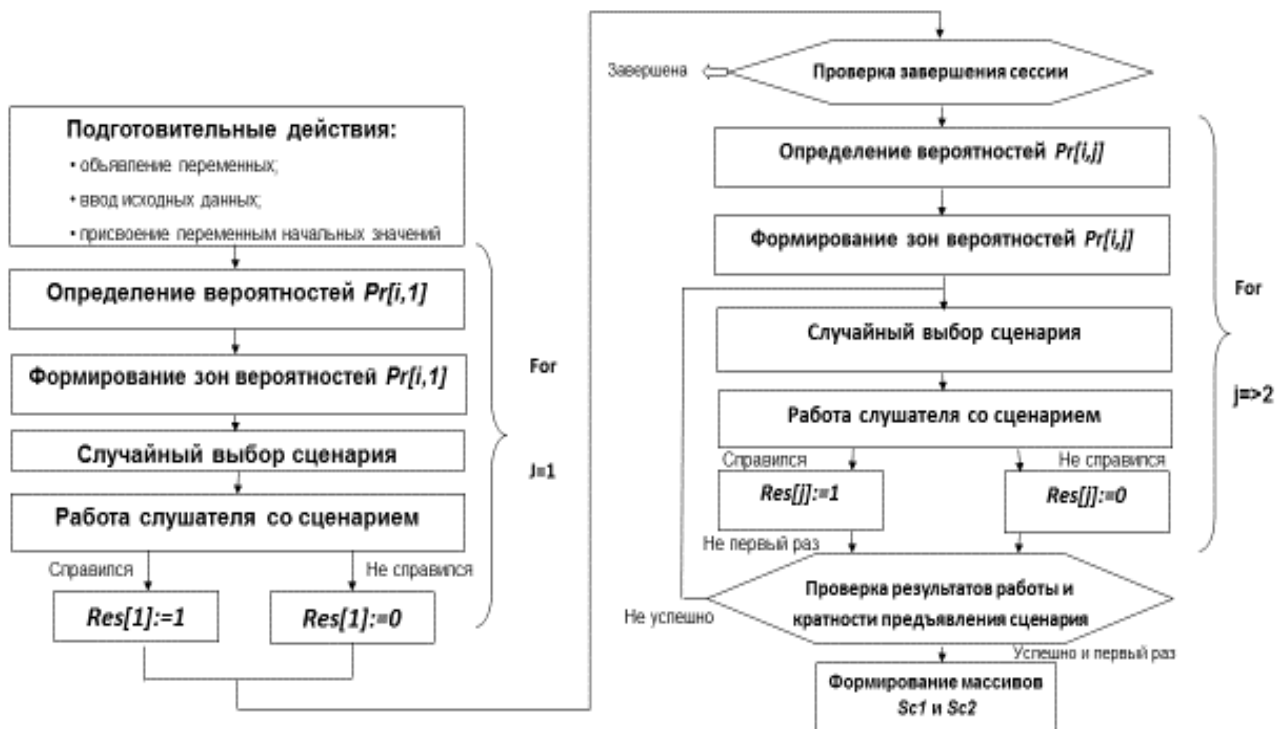


Рисунок 23 – Обобщенная блок-схема моделирования процедур самоконтроля слушателя при освоении действий по парированию аварийных и сложных полётных ситуаций

Далее приводятся структура и содержание основных этапов моделирования процесса самоконтроля слушателя:

1. Подготовительные действия, рис. 24.

2. Определение вероятностей $Pr[i, j]$:

а) для $j = 1$;

При первом предъявлении все сценарии имеют одинаковые вероятности их предъявления

$$Pr[3,1] = Pr[4,1] = Pr[5,1] = \dots = Pr[N+2,1] = 1/N. \quad (11)$$

Объявление переменных Идентификаторы: <i>i, j</i> – целые числа 1, 2, 3 и тд. <i>N</i> – количество сценариев, включённых в сессию. <i>M</i> – количество реализаций в сессии. <i>Pr min</i> – вероятность предъявления сценариев, с которыми слушатель успешно справился. <i>Ran</i> – номер сценария, выбранный случайным образом. <i>L</i> - количество элементов массива <i>Sc1[q]</i> (меняется в процессе сессии). Массивы: <i>Sc[1, 2, 3 N]</i> – номера сценариев, включённых в сессию. <i>Sc1[q]</i> – номера сценариев <i>q</i>, с которыми слушатель успешно справился. Количество элементов этого массива <i>L</i> меняется в процессе сессии. <i>Sc2=Sc – Sc1</i> – номера сценариев, которые либо ещё не предъявлялись, либо предъявлялись (пусть даже многократно) но, слушатель ни разу с ними не справился. <i>Num[j]</i> – номер сценария в <i>j</i>-той реализации. <i>Res[j]</i> – результат работы слушателя со сценарием в <i>j</i>-той реализации. <i>Pr[i, j]</i> – вероятность предъявления <i>i</i>-того сценария в <i>j</i>-той реализации.	Массивы суммируются в один <i>WSet = Pr+Num+Res</i> и представляются в виде МАТРИЦЫ <table border="1"> <tr> <td></td><td><i>i=1</i></td><td><i>i=2</i></td><td><i>i=3</i></td><td><i>i=4</i></td><td>...</td><td>...</td><td><i>i=N+2</i></td></tr> <tr> <td><i>j=1</i></td><td rowspan="6"><i>Num[j]</i></td><td rowspan="6"><i>Res[j]</i></td><td colspan="5" rowspan="6"><i>Pr[i, j] i={3, 4, ... N+2}</i></td></tr> <tr><td><i>j=2</i></td></tr> <tr><td><i>j=3</i></td></tr> <tr><td>...</td></tr> <tr><td>...</td></tr> <tr><td><i>j=M</i></td></tr> </table> Ввод исходных данных Исходные данные <i>N, Pr min, Sc[1, 2, 3 N]</i> Присвоение начальных значений <i>j:=1, L:=0</i>		<i>i=1</i>	<i>i=2</i>	<i>i=3</i>	<i>i=4</i>	...	...	<i>i=N+2</i>	<i>j=1</i>	<i>Num[j]</i>	<i>Res[j]</i>	<i>Pr[i, j] i={3, 4, ... N+2}</i>					<i>j=2</i>	<i>j=3</i>	...	...	<i>j=M</i>
	<i>i=1</i>	<i>i=2</i>	<i>i=3</i>	<i>i=4</i>	...	...	<i>i=N+2</i>															
<i>j=1</i>	<i>Num[j]</i>	<i>Res[j]</i>	<i>Pr[i, j] i={3, 4, ... N+2}</i>																			
<i>j=2</i>																						
<i>j=3</i>																						
...																						
...																						
<i>j=M</i>																						

Рисунок 24 – Подготовительные действия (формирование исходных данных)

б) для $j > 1$;

Сценарии делятся на две группы:

1-я группа – сценарии, которые были предъявлены слушателю, и он с ними справился;

2-я группа – либо те сценарии, которые ещё не предъявлялись, либо предъявлялись но, слушатель ни разу с ними не справился.

1-я группа формирует массив $Sc1[q]$ длиной L , **2-я группа** – массив $Sc2=Sc - Sc1$.

Значения вероятностей предъявления для всех сценариев одинаковы и определяются по формулам вида:

для 1-й группы - $Pr[Sc1[q]] = Pr\ min / L$, где $q = \{1, 2, \dots, L\}$; (12)

для 2-й группы - $Pr[Sc2[q]] = (1 - Pr\ min) / (N - L)$, где $q = \{1, 2, \dots, N - L\}$. (13)

3. Формирование зон вероятностей $PR[i, j]$, при этом

для любой реализации в сессии $\sum_{i=1}^N Pr[i, j] = 1$. (14)

Суть формирования зон вероятностей предъявления сценариев состоит в размещении вероятностей в естественном порядке на интервале $0 \dots 1$.

4. Случайный выбор сценария.

Во всех языках программирования имеются процедуры, которые генерируют случайное (псевдослучайное) вещественное число в диапазоне от 0 до 1. Совмещение этого случайного числа с зонами вероятностей позволяет выбрать случайным образом сценарий для предъявления в реализации.

5. Работа слушателя со сценарием.

Сценарий - это информационная картина какого-либо процесса, протекающего с отклонением от нормы вследствие возникающего повреждения. Задача слушателя-пилота – наблюдать за течением процесса, обнаруживать отклонение от нормы и действовать в соответствии с рекомендациями РЛЭ. Все сценарии реализуются в рамках «Дисплейных тренажёров» и группируются в виде 6 сессий:

- основные двигатели – 14 сценариев с отклонениями при запуске;
- ВСУ – 7 сценариев с отклонениями при запуске;
- ФС – 7 сценариев с отклонениями;
- пилотажно-навигационное оборудование – 4 сценария с отклонениями;
- сложные ситуации – 15 сценариев;
- аварийные ситуации – 7 сценариев.

За действия и принимаемые решения, не соответствующие РЛЭ, слушателю начисляются штрафные баллы. В зависимости от количества набранных штрафных баллов делается заключение: «СПРАВИЛСЯ» или «НЕ СПРАВИЛСЯ».

6. Проверка результатов работы и кратности предъявления сценария.

Суть проверки – определить, к какой группе относится предъявленный слушателю сценарий: к группе ранее предъявляемых сценариев и успешно выполненных или к группе предъявляемых впервые.

До выполнения проверки кратности предъявления сценария в предыдущих блоках программы определяются значения j , L , Ran , $Res[j]$ и формируются массивы $Sc1$, $Sc2$.

Возможны два варианта предыдущих реализаций:

Если $L=0$, и равенство $Res[j]=0$ – слушатель с заданием не справился.

Если $L>0$ и равенство $Res[j]=1$ – слушатель с заданием справился.

Дальнейшие действия зависят от состава массивов, которые, при необходимости, перестраиваются.

Далее производится пересчёт вероятностей, формируются новые зоны, случайным образом выбирается сценарий, который предъявляется слушателю.

7. Проверка завершения.

Условия завершения сессии состоят в том, что слушателю предъявляются все сценарии ($Sc1=N$ ($L=N$), при этом, если $L<N$, то вступает в силу условие, при котором один и тот же сценарий предъявлялся три раза и слушатель все три раза с ним не справлялся. Это условие проверяется в результате анализа элементов двух массивов:

$Num[j]$ – номер сценария в j -той реализации;

$Res[j]$ – результат работы слушателя со сценарием в j -той реализации.

Если наблюдается условие $Res[j]=0$, то сессия продолжается. После завершения результаты сессии выводятся в сводную форму, табл. 1.

Таблица 1

Результаты завершения сессии

Номер сценария	1	2	3	4		$N-1$	N
Количество предъявлений	1	2	- (0)	3		2	3
Количество успешных решений	1	0	- (0)	0		2	3
Количество неудач	0	2	- (0)	3		0	0

С целью проверки реакции слушателей на параметры применяемых технических средств обучения была проведена экспертная оценка возможностей подготовки пилотов, для чего были сформированы группы экспертов и составлены перечни вопросов:

- 1-я группа экспертов - 20 «молодых» пилотов;

Вопрос 1. Насколько успешно Вы выполняли упражнения в процессе первоначальных учебных полётов?

- 2-я группа экспертов - 20 опытных пилотов авиакомпаний;

Вопрос 1. Как Вы оцениваете степень адекватности визуальной обстановки, оцениваемой в полёте на тренажёре и в реальном полёте?

Вопрос 2. Насколько, по Вашему мнению, совпадают условия для деятельности пилота на тренажёре с неподвижной кабиной (при отсутствии перегрузок) и в реальном полёте?

- 3-я группа экспертов – 5 опытных пилотов-инструкторов;

Вопрос 1. Для каких элементов полёта, по Вашему мнению, тренировки на тренажёре с неподвижной кабиной недостаточно и необходима тренировка также на тренажёре с подвижной кабиной?

Получено общее мнение экспертов (опытных пилотов 2-ой и 3-ей групп) – «Качественная тренажёрная подготовка пилотов гражданских вертолётчиков может быть обеспечена в достаточной степени в условиях применения современного комплексного лётного тренажёра без системы подвижности».

Глава 6. Автором диссертации рассмотрены экономические аспекты функционирования системы профессиональной подготовки и повышения квалификации пилотов вертолётчиков. В результате анализа нормативных документов Росавиации и рекомендаций ИКАО составлен перечень мероприятий, связанных с освоением образовательных программ и временными затратами на их реализацию, для авиакомпаний и АУЦ, рис. 25.

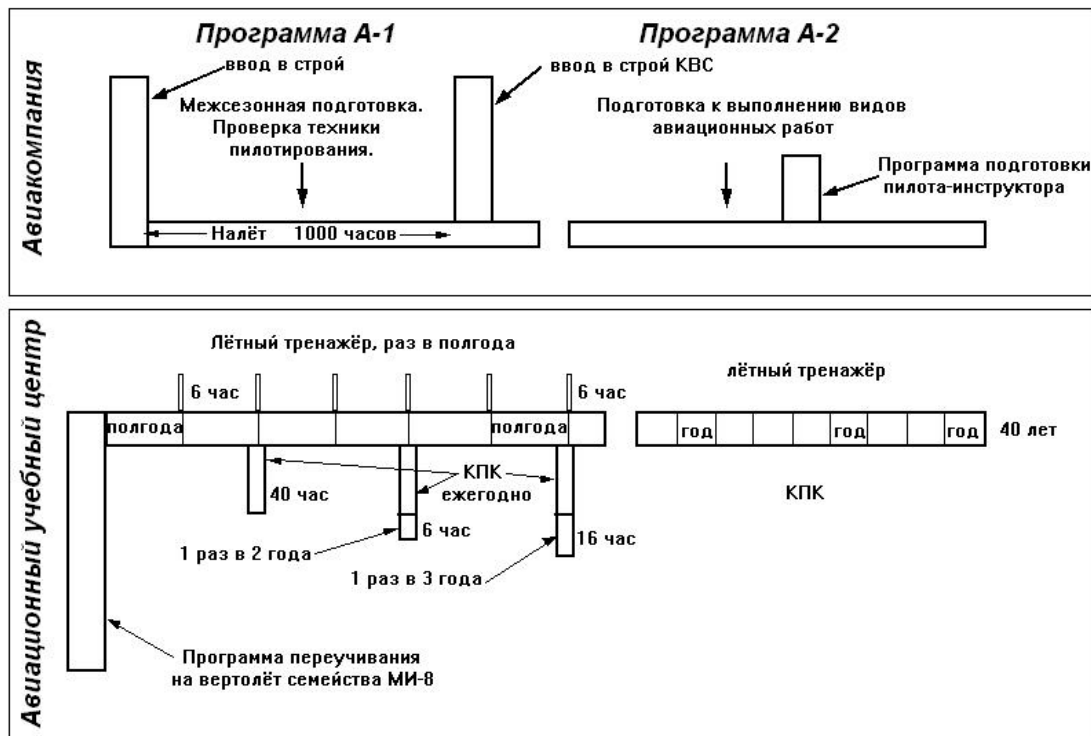


Рисунок 25 – Мероприятия по поддержанию и повышению лётной квалификации экипажей вертолётчиков

Мероприятия, проводимые в авиакомпании, оценивались по трём группам затрат:

- зарплата обучаемых за время теоретических занятий в учебных классах авиакомпании;
- затраты на контрольные и учебные полёты, если они не совмещены с производственными полётами;
- потери доходов авиакомпании в результате отвлечения от производственной деятельности пилотов на обучающие и контролирующие мероприятия.

Мероприятия, проводимые в АУЦ, оценивались по четырём группам затрат:

- стоимость переучивания (поддержания или повышения квалификации);
- командировочные расходы;
- транспортные расходы;
- заработная плата за время отсутствия в авиакомпании.

Расчёты, ориентированные на средние значения зарплаты, командировочных и транспортных расходов, показали – авиакомпании РФ, имеющие вертолёты семейства Ми-8, тратят ≈ 400 млн. руб. в год на переучивание пилотов, поддержание и повышение их профессиональной квалификации.

В диссертации рассмотрены два направления уменьшения приведённых видов затрат. Первое направление – перенос процесса изучения теоретических дисциплин из АУЦ на территории авиакомпаний. Это возможно при организации дистанционного обучения пилотов в АК. Приближенные расчёты свидетельствуют о возможности сокращения затрат на ≈ 130 млн. руб. в год.

Второе направление – оптимальное размещение комплексных лётных тренажёров для полугодовых периодических тренировок всех экипажей вертолётов семейства Ми-8. Это минимаксная оптимизационная задача, общая постановка и порядок решения которой, на примере двух АУЦ и четырёх АК, приведена ниже.

1. Имеется p авиакомпаний с количеством лётных экипажей $N_1, N_2, N_3, \dots, N_p$.

2. Найти количество АУЦ (КТВ) m и их расположение, обеспечивающие минимум затрат на транспорт и оплату КТВ, при условиях:

- пропускная годовая способность АУЦ (КТВ) – $Z_{\max}$;
- годовая плата за КТВ при любой его занятости – B .

Оптимизационная задача имеет два уровня оптимизации. Верхний уровень – это количество КТВ и их размещение. Нижний (внутренний) уровень оптимизации – оптимальное распределение экипажей авиакомпаний между АУЦ.

На верхнем уровне оптимизации рассматривалось несколько тренажёров и несколько вариантов их расположения. Месторасположение КТВ назначалось из логических соображений, ориентируясь на города, уже имеющиеся АУЦ и т.д. Кроме того, учитывалось удобство транспортного сообщения между КТВ и АК. Для одного и того же количества КТВ выбиралось несколько вариантов их местоположения.

Целевая функция – затраты на тренировки лётного состава с учётом стоимости КТВ имеет вид

$$T_{\Sigma} = B \cdot m + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^p T_{i-j} \cdot N_{i-j} \quad (15)$$

с последующим решением системы уравнений вида

$$Z_j = \sum_{i=1}^p N_{i-j} \quad \text{для } j = 1 \dots m \quad \text{с ограничением } Z_j \leq Z_{\max}; \quad (16)$$

$$N_i = \sum_{j=1}^m N_{i-j} \quad \text{для } i = 1, \dots, p. \quad (17)$$

Переменные данные снабжаются нижними индексами i и j . Индекс i соответствует переменной, связанной с АК. Индекс j соответствует переменной, связанной с АУЦ (КТВ).

Система состоит из $(m + p)$ уравнений и не является замкнутой, так как содержит $(m + m \cdot p)$ неизвестных. Для замыкания системы часть неизвестных должна быть заранее задана. Количество задаваемых величин определяется разностью

$$(m + m \cdot p) - (m + p) = p(m-1). \quad (18)$$

Именно на поле задаваемых заранее величин (неизвестных) находится наименьшее значение целевой функции. Для решения этой задачи рекомендуется использовать метод Монте-Карло.

Алгоритм решения задачи.

1. Из логических соображений выбирается вариант – количество АУЦ (КТВ) и их месторасположение. Используя сведения о цене билетов между авиакомпаниями и АУЦ, определяются затраты на перелёт (переезд) одного экипажа от местоположения АК в АУЦ и обратно.

2. Для каждой i -той АК (от $i = 1$ до $i = p$), используя процедуру случайных чисел, находится $(m-1)$ относительного распределения экипажей данной авиакомпании по тренажёрам: $\bar{N}_{i-1}, \bar{N}_{i-2}, \dots, \bar{N}_{i-(m-1)}$ при соблюдении неравенства $\sum_{j=1}^{m-1} \bar{N}_{i-j} \leq 1$. В результате формируется композиция из $p(m-1)$ независимых переменных.

3. По формулам вида $\bar{N}_{i-j} = 1 - \sum_j \bar{N}_{i-j}$ рассчитываются недостающие p значения $\bar{N}_{i-j}$ относительных распределений экипажей.

4. Для каждого АУЦ определяется его загрузка

$$Z_j = \sum_{i=1}^p \bar{N}_{i-j} \cdot N_i. \quad (19)$$

Если какое-либо из $Z_j \geq Z_{\max}$, процедура возвращается на пункт 2, формируется новая композиция из $p (m-1)$ независимых переменных.

5. Определяется значение целевой функции

$$T_{\Sigma} = B \cdot m + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^p T_{i-j} \cdot N_{i-j}. \quad (20)$$

6. Расчёты по пунктам 2–5 повторяются в цикле до наступления условия его прекращения. Априори, определить количество циклов, обеспечивающее оптимальный вариант распределения экипажей между АУЦ, затруднено, в связи с чем целесообразно приостановить цикл расчетов, исходя из логики вычислительных процедур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обеспечено достижение цели диссертационного исследования, направленного на решение научной проблемы, связанной с созданием и внедрением комплексной системы управления профессиональной подготовкой и повышением квалификации (ПППК) пилотов вертолётов в течение всего периода их лётной деятельности на основе современных автоматизированных обучающих программ и лётных тренажёрных комплексов.

В соответствии с поставленной целью проведён проблемный анализ состояния действующих в гражданской авиации Российской Федерации профессиональных образовательных структур, выявлены признаки их несовершенства, обоснована актуальность, целесообразность и возможность разработки системы ПППК летного состава, позволяющей реагировать на прогрессивное развитие сферы вертолётостроения.

При решении заявленной проблемы получены следующие результаты:

1. Сформированы общие требования к системе ПППК пилотов вертолётной техники по обеспечению единства и согласованности управленческих воздействий, ориентированных на решение:

- методологических задач, предусматривающих создание Атласа типовых учебных программ для всех звеньев и модулей системы ПППК, использование перспективных обучающих технических средств и инновационных технологий, ведение мониторинга процессов обучения и контроля достигаемого уровня обученности;
- организационных задач, обеспечивающих оперативное функционирование системы ПППК и её модернизацию на основе принципа «инвариантности» с учётом реальных условий массовой эксплуатации парка вертолетов;
- аппаратно-программных задач, основанных на разработке комплекса программных средств ЭВМ и их использовании в рамках автоматизированных обучающих систем «Вертолеты семейства Ми-8».

2. Выполнен функциональный анализ и структурированы профессиональные действия пилота вертолета в реальных условиях штатного полёта и при имитации динамических воздействий на пилота в нестандартных (усложнённых) полётных условиях.

3. Подобран и классифицирован требуемый состав компьютерных технических средств (ТС), обеспечивающих профессиональное обучение пилота вертолётна на всех этапах системы

ПППК, с учетом реальных штатных условий и их имитации в нестандартных полётных условиях, и позволяющий решать задачи по:

- определению положения вертолѐта в пространстве путем имитации внекабинной обстановки с использованием системы визуализации;
- изменению (сохранению) положения вертолѐта в пространстве путѐм имитации внекабинной (визуальной) и внутрикабинной информации;
- снятию показаний приборов и оценке работоспособности функциональных систем (ФС) вертолѐта;
- управлению режимами работы ФС и бортового оборудования вертолѐта;
- настройке оборудования навигационного назначения и радиосвязи;
- имитации действий пилота при выполнении разрешѐнных нестандартных видов авиационных работ.

4. Разработаны автоматизированные обучающие программы (АОП) и курсы (АОК) на основе моделирования работоспособности (изменения технического состояния) ФС вертолѐта, в частности:

- обоснована архитектура и определено содержание АОП и АОК, сформированы основные требования к построению типовых графов и построены графы АОК:
 - «Общие дисциплины»;
 - «Конструкция и техническая эксплуатация вертолѐтов» и «Конструкция и летная эксплуатация вертолѐтов» применительно к вертолѐтам конкретных типов и их модификаций (Ми-8, Ми-8МТВ, Ми-8АМТ);
- проведѐн анализ современных отечественных и зарубежных инструментальных сред и разработаны механизмы их внедрения в АОК и мультимедийные обучающие программы на основе освоенных языков программирования;
- разработана система контроля уровня усвоения слушателями учебного материала, отличающаяся от традиционных систем использованием тестирующих программ и тестовых заданий, предусматривающих диагностирующие, обучающие, организующие и воспитывающие функциональные обязанности для обучаемых. Используется метод тестового контроля «закрытого типа», построенного на основе критериально-ориентированных характеристик: «Знание», «Понимание», «Анализ», «Синтез», при этом тестовые задания формируются с учётом требований «корреляционности», «надѐжности» и «валидности».

5. Разработан и внедрѐн для вертолѐтов семейства Ми-8 тренажѐр навигационного назначения с использованием кабинных и наземных средств навигации для освоения слушателями обучаемых функций:

- предполѐтной подготовки пилотажно-навигационного оборудования вертолѐта;
- выполнения манѐвров при рулении, взлѐте, в полѐте и при посадке с имитацией сложных погодных условий, днѐм и ночью, в различных климатических зонах с учётом действующих систем посадки и воспроизведением реальной местности и визуальных ориентиров.

Проведена модификация обучающих и программных средств навигационного тренажѐра применительно к вновь создаваемым образцам пилотажно-навигационного комплекса вертолѐтов типа Ми-8.

6. Разработаны комплексные лѐтные тренажѐрные системы, отличительными особенностями применения которых является:

- отработка действий обучаемого по проверке работоспособности ФС вертолѐта во взаимодействии с компьютером;
- отработка экипажем действий, предусмотренных в РЛЭ вертолѐта, по парированию опасных и аварийных ситуаций;
- решение необходимого класса навигационных задач;

7. В процессе разработки комплексного тренажѐра вертолѐта (КТВ), с целью последующего его внедрения в систему ПППК летного состава, были поставлены и решены следующие основные задачи:

7.1. Разработка Учебно-методического комплекса (УМК) с целью адаптации объема необходимых компетенций (квалификационных требований, знаний, умений и навыков) к содержанию обучающих программ и учебных курсов, предусмотренных на всех этапах ПППК летного состава вертолётной техники.

7.2. Сформирована общая структура математической модели (ММ) комплексного лётного тренажёра и разработаны ММ функциональных систем и оборудования вертолёта Ми-8МТВ, которые были использованы при создании первого в РФ лётного тренажёра вертолёта Ми-8МТВ с современной системой визуализации.

7.3. Построена ММ движения вертолёта в стандартных и усложнённых условиях полёта с учетом функциональных повреждений конструкции вертолётных и их систем.

7.4. Разработаны модели и алгоритмы взаимодействия обучаемых с компьютером при освоении практических навыков в процессе: запуска двигателей и вывода его на полётные режимы работы; штатного запуска двигателей с последующим введением инструктором ложных повреждений; изучения законов регулирования режимами работы двигателей; построения экспериментальных характеристик компрессора и дроссельной характеристики двигателя (на примере двигателя ТВ3-117В) создания информационной картины сложной ситуации «обрыв гибкого валика» в условиях полёта.

7.5. Отработаны процедуры математического моделирования возможных сложных и аварийных ситуаций по ряду иных наиболее вероятных технических причин.

7.6. Построены формализованные модели (алгоритмы) технологии проведения проверочных работ по отдельным ФС вертолёта.

7.7. Определены необходимые объёмы внутрикабинной и внешней визуальной информации (на дисплее компьютера и выносном плоском экране).

7.8. Разработаны ММ процессов самоконтроля обучаемых в условиях КТВ, основными этапами которого являются:

- формирование исходных данных (объявление переменных, ввод данных, присвоение переменных начальных значений;
- определение вероятностей сценариев контроля;
- формирование зон вероятностей сценариев контроля;
- случайный выбор сценария контроля;
- работа слушателя со сценарием контроля;
- проверка результатов работы и кратности предъявления сценария;
- проверка завершения сессии.

8. Сертифицирован и внедрен персонифицированный комплексный лётный тренажёр вертолёта Ми-8МТВ в вертолётных авиапредприятиях ГА РФ и за рубежом.

9. Разработаны методологические основы организации учебного процесса на базе современных компьютерных средств и инновационных технологий в рамках ПППК лётного состава вертолётных подразделений, в частности:

- разработан порядок научно-методического сопровождения процессов ПППК и аттестации лётного состава;
- разработана методика экспертной оценки эффективности КТВ;
- определены области применения компьютерных лётных тренажёров с учетом их модернизации при выполнении нестандартных видов авиационных работ;
- проведено моделирование процессов обучения лётного состава в условиях сложных и аварийных ситуаций в полёте.

10. Проведена технико-экономическая оценка мероприятий по созданию, внедрению и дальнейшему развитию компонентов системы ПППК пилотов вертолётных, в частности:

- разработана методика оценки приемлемого уровня затрат по модернизации компонентов и системы ПППК в целом;
- решена задача и разработаны организационно-технические рекомендации по оптимальному базированию АУЦ, оснащенных комплексными лётными тренажёрами.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные публикации в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (11):

1. Далецкий С.С., Рыбкин П.Н., Чинючин, Ю.М. Информационная картина и математическая модель развития сложной ситуации для тренажерной подготовки пилотов вертолёта Ми-8МТВ // Научный вестник ГосНИИ ГА. - № 39. – Москва: ФГУП ГосНИИ ГА, 2022. – С. 21-31.
2. Рыбкин П.Н., Чинючин Ю.М. К задаче имитационного моделирования сложных и аварийных полетных ситуаций в процессе тренажерной подготовки пилота вертолета Ми-8 МТВ // Научный вестник МГТУ ГА. – Том 25 № 5. – Москва: МГТУ ГА, 2022. – С. 37-47.
3. Борисов Ю.А., Рыбкин П.Н., Чинючин Ю.М. Информационные технологии – основа системы подготовки и повышения квалификации пилотов вертолётов // Научный вестник МГТУ ГА. - Том 22, № 06. – Москва: МГТУ ГА, 2019. - С. 112-124.
4. Рыбкин П.Н. Математическая модель доплеровского измерителя скорости как часть математической модели летного тренажера вертолета Ми-8МТВ // Научный вестник МГТУ ГА. – № 176. – Москва: МГТУ ГА, 2012. – С. 109-112.
5. Рыбкин П.Н. Компьютерные тренажеры для предполетных проверок систем и оборудования вертолета Ми-8МТВ // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. - № 11. Рыбкин П.Н. – Москва: Полет, 2012. - С. 19-26.
6. Рыбкин П.Н. Математическая модель несущего винта в составе математической модели летного тренажера вертолета // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. - № 12. – Москва: Полет, 2012. – С. 9-16.
7. Рыбкин П.Н. Математическая модель двигателя ТВ3-117ВМ // Труды МАИ. – №58. – Москва: МАИ, 2012. – С. 18.
8. Рыбкин П.Н. Комплексный летный тренажер с неподвижной кабиной в процессе тренажерной подготовки пилотов гражданских вертолетов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – № 172. – Москва: МГТУ ГА, 2011. – С. 129-135.
9. Рыбкин П.Н. Математическая модель системы "вертолет - мачта" для упражнения "Подъем мачты поворотом" // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – № 172. – Москва: МГТУ ГА, 2011 – С. 136-142.
10. Рыбкин П.Н. Математическая модель автомата перекоса и систем управления // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – № 173. – Москва: МГТУ ГА, 2011 – С. 168-173.
11. Рыбкин П.Н., Соловьев Б.А. Совершенствование системы подготовки, поддержания и повышения профессиональной квалификации пилотов вертолётов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – № 147. – Москва: МГТУ ГА, 2009. – С. 94-103.

Патенты на изобретения:

1. Морозов Ю.Т., Акуленко В.С., Рыбкин П.Н., Соловьев Б. А., Тренажер вертолёта: Пат. 2230371 Рос. Федерация. МПК G09 В 9/46 (2000.01) 21/00, 2018. / № 2002107543/11; заявл. 27.03.2002; опубл. 10.06.2004, Бюл. № 16 – 29 с.
2. Борисов Ю.А., Рыбкин П.Н., Ваняев В.Н., Блинов П. В., Сатаров А.Ю., Серов П.Л. Контрольно-проверочный комплекс для проверки автоматических радиоконпасов: Пат. 2748493, 2021. / заявл. №2020123661 от 13.07.2020; опубл. 26.05.2021. – 11 с.

Свидетельства об официальной регистрации программы ЭВМ:

1. Бутусов П.Н., Рыбкин П.Н., Соколов Е.М., Тарасенко А.Д. Свидетельство об официальной регистрации базы данных №2011614539 «Контроль знаний летного и инженерно-технического состава» /, 2011.

2. Бутусов П.Н., Рыбкин П.Н., Соколов Е.М., Тарасенко А.Д. Свидетельство об официальной регистрации программы ЭВМ №2002610914 «Автоматизированная обучающая система «Вертолеты Ми-8, Ми-8МТВ и их модификации, версия 1.0», 2002.

3. Бутусов П.Н., Рыбкин П.Н., Соколов Е.М., Тарасенко А.Д. Свидетельство об официальной регистрации базы данных №2002610136 «Автоматизированная обучающая система «Вертолеты Ми-8, Ми-8МТВ и их модификации, версия 1.0», 2002.

4. Афанасина О.В., Бутусов П.Н., Моховикова И.В., Кацман Ю.Б., Павлов Д.В., Рыбкин П.Н., Рыжиков С.А., Соколов Е.М., Сорокин Д.С., Тарасенко А.Д., Ширинкин И.О. Свидетельство об официальной регистрации базы данных №2004620029 «Сборник алгоритмов функционирования систем вертолетов Ми-8МТВ (Ми-17-1В), версия 1.0», 2004.

5. Афанасина О.В., Бутусов П.Н., Моховикова И.В., Кацман Ю.Б., Павлов Д.В., Рыбкин П.Н., Рыжиков С.А., Сорокин, Ширинкин И.О. Свидетельство об официальной регистрации базы данных №2010620205 «Эксплуатационно-техническая документация по капитальному ремонту вертолета Ми-17-1В», 2009.

6. Рыбкин П.Н., Соколов Е.М., Соловьев Б.А. Свидетельство об официальной регистрации программы ЭВМ №2011614540 «Функциональный тренажер», 2011.

7. Бутусов П.Н., Рыбкин П.Н., Соколов Е.М., Тарасенко А.Д. Свидетельство об официальной регистрации программы ЭВМ №2011614541 «Автоматизированная обучающая система», 2011.

Публикации в других изданиях:

1. Моделирование процедур самоконтроля пилота вертолѐта в процессе обучения на лѐтном тренажѐре / А.Д. Грузд, П.Н. Рыбкин, Ю.М. Чинючин // В книге: Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества. Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной отечественной гражданской авиации. – 2023. – С-240-242.

2. Методика обучения экипажа ВС для выполнения полѐтов в особых ситуациях на основе анализа фактических данных (ЕВТ) / А.Д. Грузд, П.Н. Рыбкин, Ю.М. Чинючин // В книге: Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества. Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной отечественной гражданской авиации. – 2023. – С-295-297.

3. Модернизации тренажѐра вертолѐта с неподвижной кабиной и современной системой визуализации для тренировок по выполнению авиационных работ / П.Н. Рыбкин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 2. – С. 160-164.

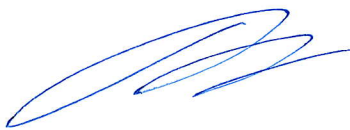
4. Компьютерный тренажѐр для пилотов вертолѐтов Ми-8МТВ для отработки навигационных задач / П.Н. Рыбкин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 2. – С. 157-160.

5. Remote Training Guide for Pilots of Light-weight Helicopters / Rybkin P. // Kaunas University of Technology Lithuanian Academy of Science if tomm National Committee of Lithuania Baltic Association of Mechanical Engineering, Proceedings of the 17th International Conference, Mechanika. 2012. С. 257-259.

6. Оптимальное распределение комплексных лѐтных тренажѐров вертолѐтов по территории Сибири и Дальнего Востока / П.Н. Рыбкин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2011. – № 2. – С. 6-9.

7. Тестирование профессиональных знаний пилотов вертолѐтов / П.Н. Рыбкин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2011. – № 2. – С. 14-17.

Соискатель



Рыбкин П. Н.