

На правах рукописи  
УДК 629.7.05

Земляный Егор Сергеевич

**ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС  
С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКОЙ ЭКИПАЖА  
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

Специальность 05.11.03 – Приборы навигации

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» на кафедре приборов и систем ориентации, стабилизации и навигации.

Научный руководитель: **Бабиченко Андрей Викторович**,  
доктор технических наук, директор учебно-научного центра АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро».

Официальные оппоненты: **Чернодаров Александр Владимирович**,  
доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»;

**Рыбина Галина Валентиновна**,  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры кибернетики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно исследовательский институт авиационных систем», г. Москва.

Защита диссертации состоится 08 июня 2016 г., в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д212.141.19 в ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана» по адресу: 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5 стр.1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана» и на сайте [www.bmstu.ru](http://www.bmstu.ru).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных гербовой печатью организации, просим направлять по адресу: 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5 стр.1, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана», ученому секретарю диссертационного совета Д212.141.19.

Автореферат разослан «\_\_» апреля 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
к.ф.-м.н.

Д.А. Семеренко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Развитие современных летательных аппаратов (ЛА) тесно связано с разработкой пилотажно-навигационных комплексов (ПНК), входящих в состав интегрированных комплексов бортового оборудования (ИКБО) и обеспечивающих решение на борту пилотажно-навигационных и инженерно-штурманских задач. Также в ПНК реализуются функции информационного обмена между системами, входящими в состав ПНК, и функции информационно-управляющего поля (ИУП) кабины ЛА – интерфейса между ПНК и экипажем ЛА.

Важнейшей характеристикой качества решения пилотажно-навигационных задач является надёжность и безопасность, гарантирующие выполнение полётного задания, возврат на аэродром и посадку. Обеспечение безопасности полёта – задача ИКБО в целом и ПНК как совокупности функционально связанных навигационных приборов, вычислительных систем и информационно-управляющее поле кабины.

**Актуальность проблемы.** Большинство существующих ПНК информирует экипаж о достижении предельных режимов полёта, об отказах навигационного оборудования и общем состоянии ПНК, либо даёт рекомендации, установленные в рамках руководства по лётной эксплуатации. Более современные ПНК ограничивают управляющие воздействия, поступающие от экипажа, не давая пилотажно-навигационным параметрам выйти за допустимые эксплуатационные пределы. При этом они не имеют возможности накопления знаний и учёта опыта эксплуатации. При определённых сочетаниях внешних факторов и отказов навигационного оборудования, возникающих в особых полётных ситуациях, экипаж подвергается сильным психоэмоциональным перегрузкам и имеет ограниченное время принятия решения, что приводит к появлению критических ошибок управления ЛА (человеческий фактор).

Поскольку возможности экипажа по парированию возникающих на борту особых ситуаций ограничены, требуется внедрение в ПНК интеллектуальной составляющей, т.н. «виртуального эксперта», который аккумулирует опыт поведения реальных экспертов в области навигации и пилотирования ЛА в особых ситуациях. На данный момент методики получения экспертных знаний в этих областях отсутствуют. Поэтому актуальной является задача создания перспективных ПНК, оснащённых бортовыми экспертными системами (ЭС), способ-

ными повысить ситуационную осведомлённость экипажа ЛА и обеспечить его интеллектуальную поддержку в особых ситуациях. Важный вклад в создание интеллектуальных и экспертных систем в нашей стране внесли отечественные учёные Г.В. Рыбина, Т.А. Гаврилова. Известны исследования в области искусственного интеллекта таких зарубежных учёных как С. Рассел, П. Норвиг, Л. Заде и др. Вопросами построения бортовых оперативно-советующих экспертных систем занимаются учёные ГосНИИАС В.А. Стефанов, Б.Е. Федунцов и др.

К настоящему времени глубоко проработаны теоретические основы создания интеллектуальных систем (разработка баз знаний, методики получения экспертных знаний, создание машин логического вывода), появились программные пакеты, реализующие эти методы, определены основные направления интеллектуализации бортового оборудования современных ЛА. На первый план выходят прикладные исследования по реализации принципов интеллектуализации ПНК современных ЛА, опирающиеся на широкий спектр не только физических, но и когнитивных методов и направленные на общее повышение безопасности полётов, обеспечение ситуационной осведомлённости и создание новых типов ПНК за счёт внедрения ЭС.

**Целью диссертационной работы** является совершенствование пилотажно-навигационных комплексов посредством внедрения в их состав специальных бортовых ЭС, аккумулирующих знания экспертов в области практической навигации, а также в области пилотирования ЛА при возникновении особых ситуаций.

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие **задачи**:

- анализ основных направлений развития ПНК перспективных ЛА;
- исследование причин возникновения авиационных происшествий;
- разработка технологии получения экспертных знаний для создания перспективных ПНК на базе ЭС;
- составление перечня типовых полётных ситуаций и анализ информативности пилотажно-навигационных параметров;
- разработка методик выбора лингвистических переменных состояния ЛА и наполнения базы знаний ЭС ПНК.
- разработка структуры и полунатурное моделирование ПНК с бортовой ЭС;

**Объектом исследования** является пилотажно-навигационный комплекс нового поколения для перспективного ЛА.

**Предметом исследования** являются методы и средства усовершенствования пилотажно-навигационного комплекса за счёт:

- внедрения в состав пилотажно-навигационного комплекса бортовой динамической экспертной системы, реализующей интеллектуальную поддержку экипажа ЛА путём анализа складывающейся особой ситуации и формирования рекомендаций по действию в данной ситуации;
- снижения времени распознавания особой полётной ситуации при решении пилотажно-навигационных задач;
- повышения эффективности реагирования на возникновение особой ситуации;
- ситуационной осведомлённости экипажа о внутреннем состоянии ПНК и внешней навигационной обстановке.

**Научная новизна** полученных результатов состоит в следующем:

- разработана структура ПНК с системой интеллектуальной поддержки решения пилотажно-навигационных задач в виде бортовой ЭС, интегрированной с навигационным оборудованием;
- дана классификация типовых (особых) полётных ситуаций, возникающих при решении пилотажно-навигационных задач;
- разработана технология получения и использования экспертных знаний для перспективных ПНК с интеллектуальной поддержкой экипажа.

**Практическая ценность** полученных результатов:

- сформулированы технические требования к облику ПНК с интеллектуальной поддержкой экипажа, быстродействию и объёму памяти бортовой ЭВМ, каналам связи ПНК, составу навигационных датчиков и информационно-управляющему полю кабины ЛА;
- разработанная структура ПНК с интеллектуальной поддержкой экипажа ЛА обеспечивает повышение качества решения пилотажно-навигационных задач, в частности: снижение времени распознавания на борту возникновения особой ситуации и обеспечение экипажа ЛА рекомендациями по действиям в особой ситуации;

- разработаны технологии интеграции ЭС в состав ПНК и технологии получения экспертных знаний в области решения пилотажно-навигационных задач;
- на базе универсального вычислителя и программного комплекса CLIPS разработан программно-аппаратный комплекс полунатурного моделирования экспертной системы интеллектуальной поддержки экипажа ЛА;
- методами полунатурного моделирования показана возможность комплекса по своевременному предупреждению экипажа ЛА о развитии особой ситуации (уменьшение времени распознавания возникновения на борту особой ситуации на 7..10 секунд).

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- структура и облик пилотажно-навигационного комплекса с системой интеллектуальной поддержки экипажа ЛА в виде бортовой экспертной системы ПНК;
- технологии получения и использования экспертных знаний по группам особых ситуаций в области решения пилотажно-навигационных задач;
- результаты полунатурного моделирования макета ПНК с интеллектуальной поддержкой экипажа ЛА.

**Внедрение результатов работы.** Материалы исследований использованы при выполнении этапов НИР «Интеллектуальный борт», ОКР «Бортовая система ситуационной осведомлённости для объекта 450», выполняемых АО «РПКБ» в 2012 – 2016г.; НИР «Разработка алгоритмов бортовой системы обеспечения безопасности полёта для предотвращения столкновения в воздухе и выполнения маловысотного полёта с использованием малогабаритной РЛС», выполняемой ЗАО «Техавиакомплекс» в 2014 – 2016г. Внедрение подтверждается соответствующими актами.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на 11 конференциях, в частности:

- Научно-техническая конференция «Системы управления, стабилизации, навигации, ориентации и их базовые элементы» МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, 2013);
- 12-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2013» МАИ (Москва, , 2013);

- II Всероссийская научно-техническая конференция «Моделирование авиационных систем» ГосНИИАС (Москва, 2013);
- XXXIV Академические чтения по космонавтике, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, 2014);
- XVI Международная конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы – 2014», МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, 2014);
- II Всероссийская научно-практическая конференция «Академические жуковские чтения», ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (Воронеж, 2014);
- XVII Конференция молодых учёных «Навигация у правление движением», ЦНИИ «Электроприбор» (Санкт-Петербург, 2015);
- II Всероссийская научно-техническая конференция «Навигация, наведение и управление летательными аппаратами», ГосНИИАС (Москва, 2015);
- III Всероссийская научно-практическая конференция «Академические жуковские чтения» ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (Воронеж, 2015).

**Публикации.** Основные теоретические положения и практические результаты работы опубликованы в 13 статьях и научных работах, в том числе **3** – в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и приравненных к ним.

**Личный вклад автора.** Все научные положения и результаты, представленные в диссертации, получены автором лично или при его решающем вкладе в исследования, которые выполнялись совместно с учёными и специалистами МГТУ им. Н.Э. Баумана, АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро», АО «Камов» и ЗАО «Техавиакомплекс».

**Структура и объем диссертации.** Диссертация объёмом 172 страницы состоит из введения, 3 глав, выводов, заключения, списка литературы из 75 наименований, а также 5 приложений. В диссертации содержится 60 рисунков и 15 таблиц.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность проблемы, определены цели и задачи исследования, изложены основные научные результаты, выносимые на защиту, отражены практическая ценность и реализация результатов, а также изложены структура и содержание работы.

**В первой главе диссертации** приведено обоснование применения в ПНК ЭС интеллектуальной поддержки экипажа ЛА. Показана структура современно ПНК в составе ИКБО и произведён анализ решаемых ПНК задач, одной из которых является вычисление, формирование; индикация информации о достижении критических режимов полёта ЛА.

На основе статистических данных, полученных при анализе ежегодных отчётов ИКАО, Eurocontrol, Межгосударственного авиационного комитета (МАК) и при первичном анализе нормативной документации, выявлены группы особых ситуаций, связанных с неправильными действиями экипажа, т.е. наличием человеческого фактора, который в 60..80% случаев является причиной авиационных происшествий.

Исследованы психофизиологические особенности и характеристики экипажа ЛА, влияющие на его работу с ПНК. Исходя из них выявлены и обоснованы требования, предъявляемые к перспективным ПНК, ключевым из которых является время распознавания особой ситуации. По результатам исследований сделан вывод о необходимости интеллектуальной поддержки экипажа ЛА.

Произведена оценка существующих отечественных и зарубежных методик интеллектуальной поддержки экипажа при решении пилотажно-навигационных задач. Выявлены недостатки существующих методик, заложенных в принцип работы существующих ПНК, в частности:

- информирование экипажа о критических режимах полёта происходит без выдачи рекомендаций по действиям в сложившейся ситуации;
- отсутствует прогноз развития и оценка динамики особой ситуации;
- отсутствует возможность накопления знаний о работе ПНК при нормальной эксплуатации и при возникновении особых ситуаций;

Произведён анализ современных направлений интеллектуальной поддержки. Выявлено, что наиболее подходящим инструментом для устранения недостатков нынешних ПНК являются экспертные системы, а для реализации на борту – система CLIPS (C-language integrated production system).

На основе проведённых исследований предложена структура перспективного ПНК с интеллектуальной поддержкой экипажа ЛА (Рис.1), отличающаяся наличием в составе ПНК бортовой системы ситуационной осведомлённости (БССО), аппаратно выполненной в виде бортовой ЭВМ и непосредственно реализующей интеллектуальную поддержку на базе специальной бортовой ЭС.

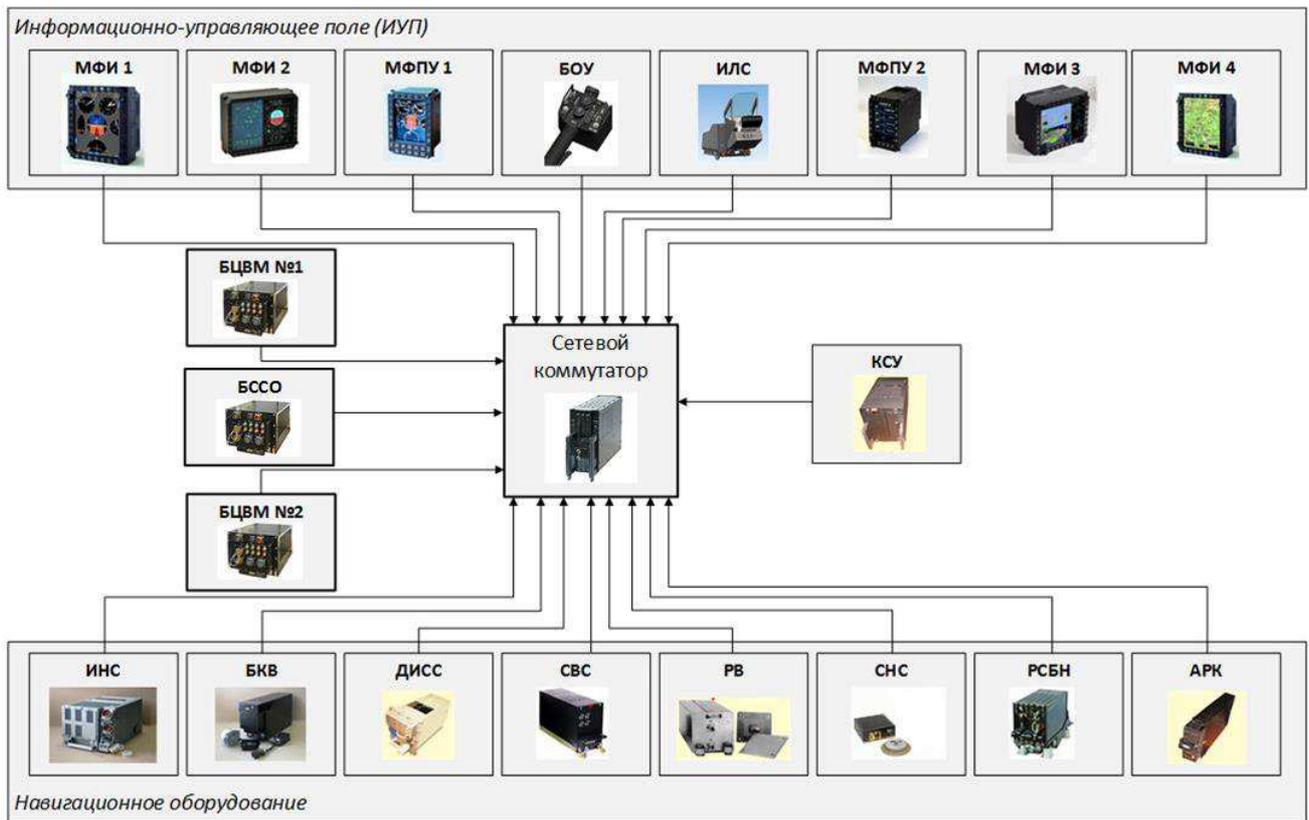


Рис. 1.

Структура интеллектуализированного ПНК с бортовой системой  
ситуационной осведомлённости

**Вторая глава диссертации** посвящена организации интеллектуальной поддержки экипажа ЛА. В работе не ставится целью разработка непосредственно механизмов ЭС. Под разработкой ЭС понимается наполнение базы знаний ЭС, для чего изначально необходимо получать и использовать знания экспертов в области навигации и пилотирования ЛА в особых ситуациях.

Предложена классификация типовых ситуаций (ТС) по двум критериям: критерий опасности возникновения на борту ЛА (Рис.2) и критерий решаемых задач (Рис. 3), показаны различные трактовки и критерии особых ситуаций, рассмотрены источники получения экспертных знаний (Рис. 4).

Разработана технология получения и использования экспертных знаний в области практической навигации и пилотирования в особых ситуациях, необходимая для разработки базы знаний и интеграции механизма ЭС в состав ПНК. Технология содержит методики анализа и получения экспертных знаний (по рассмотренным источникам знаний), в том числе методики: анализа отчётов МАК, анализа документации ЛА, работы с экспертами, анализа научно-технической литературы авиационной направленности и т.д.

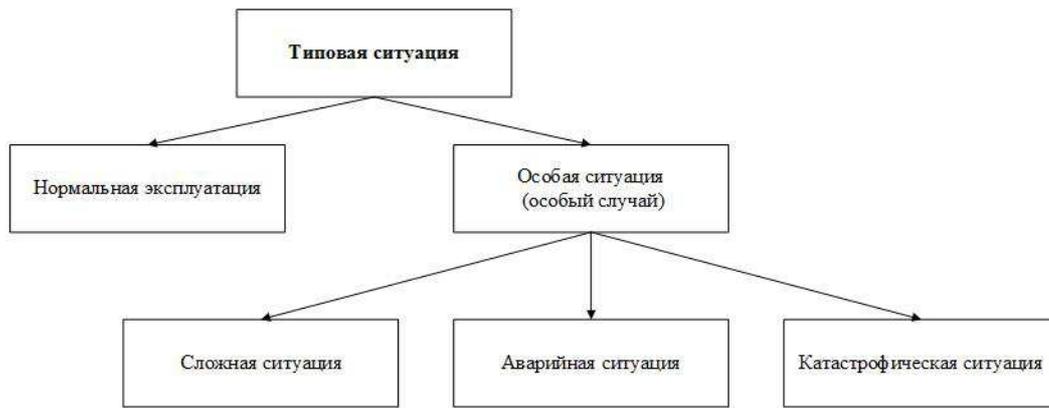


Рис. 2.

Классификация типовых ситуаций по критерию опасности

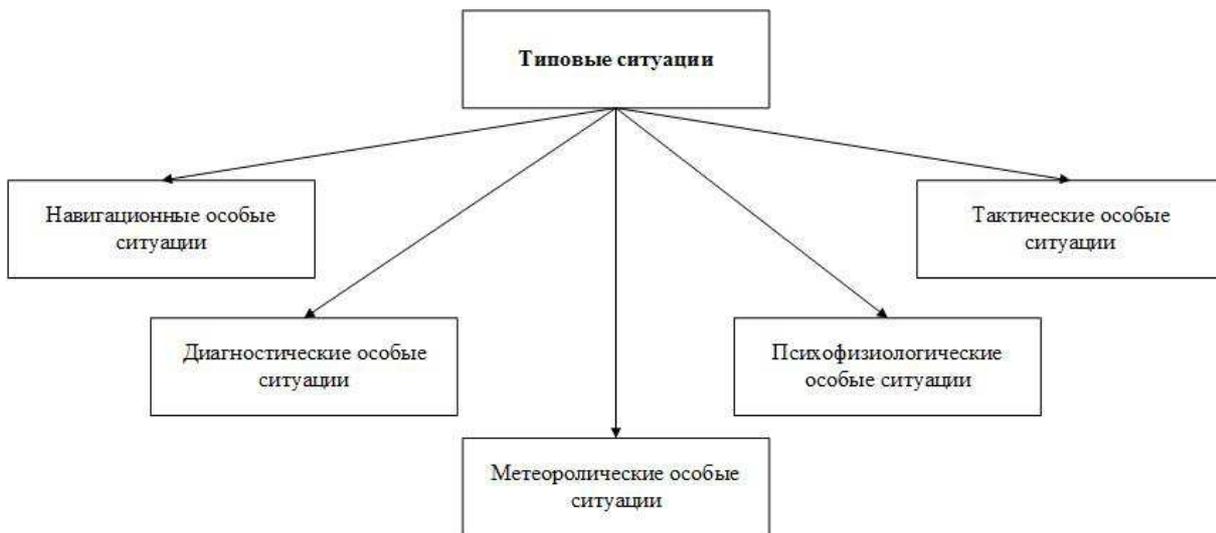


Рис. 3.

Классификация типовых ситуаций по критерию решаемых задач

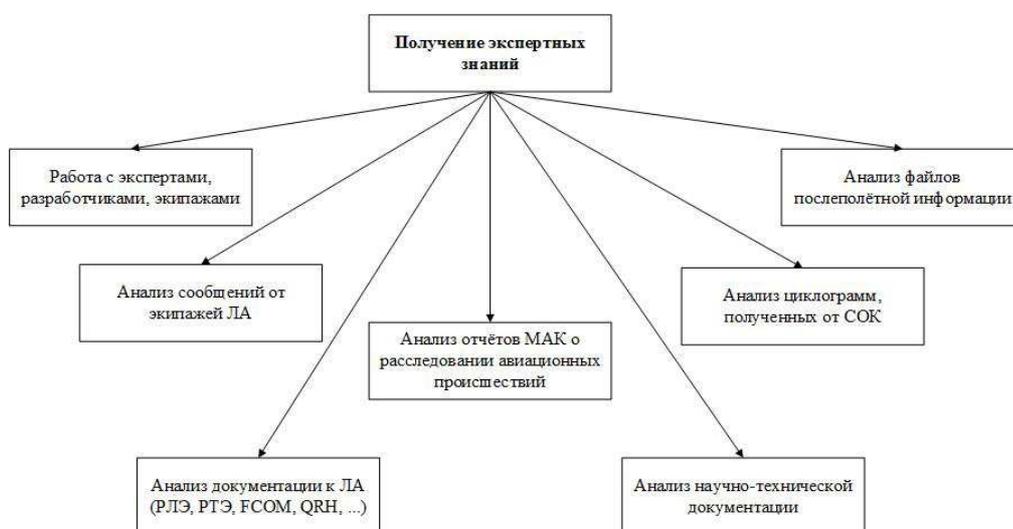


Рис. 4.

Источники получения экспертных знаний

Известна возможность применения механизмов нечёткой логики для построения бортовых ЭС. В работе предложена методика определения лингвистических переменных летательного аппарата для формализации экспертных знаний методами нечёткой логики для последующего написания правил в системе CLIPS.

При этом за основу для описания лингвистической переменной ЛА в виде нечёткого множества и соответствующей функции принадлежности приняты S-функция и П-функция (Рис. 5).

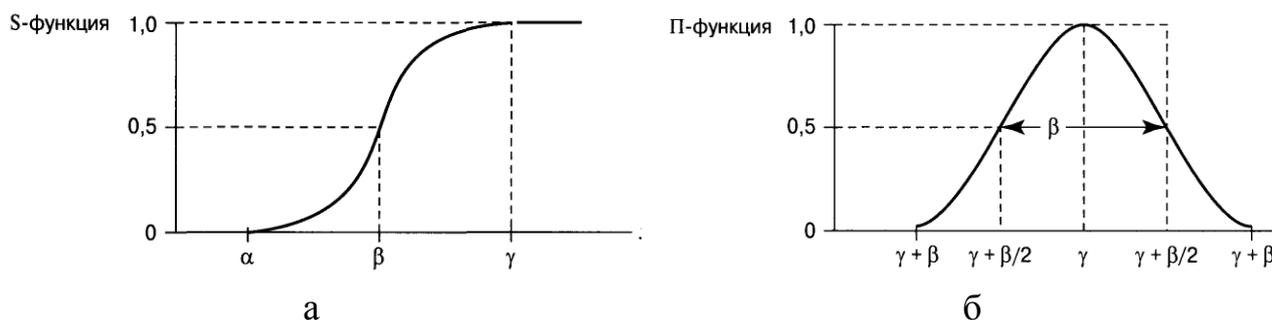


Рис. 5

Функции принадлежности: S-функция (а), П-функция (б)

Для S-функции параметры  $\alpha, \beta, \gamma$  определяют нулевое значение функции, точку пересечения 0.5 и единичное значение функции. Для П-функции параметр  $\beta$  определяет ширину интервала, а  $\gamma$  – пик функции.

В работе даны практические рекомендации по непосредственной реализации и тестированию бортовой ЭС в составе ПНК.

Конечной целью работы ЭС в составе интеллектуализированного ПНК является выдача рекомендаций пользователю, каковым в случае бортовой ЭС является экипаж ЛА. Предложен вариант индикации в виде отображения информации на многофункциональном индикаторе в соответствии с протоколом информационного взаимодействия между бортовой ЭС и многофункциональными индикаторами (МФИ), входящими в состав ПНК. Расположение на индикаторах и форматы отображаемой информации являются предметом эргономики и в данной работе не рассматриваются.

**В третьей главе диссертации** рассмотрено полунатурное моделирование пилотажно-навигационного комплекса с интеллектуальной поддержкой экипажа летательного аппарата.

Для проверки возможности реализации ПНК с интеллектуальной поддержкой экипажа ЛА был реализован программно-аппаратный комплекс полунатурного моделирования ПНК, в состав которого входит модель бортовой системы ситуационной осведомлённости, осуществляющей интеллектуальную поддержку.

Предложена структура (Рис. 6) программных моделей комплекса, показано взаимодействие интеллектуальной подсистемы ПНК (модель БССО) с моделями навигационных систем.

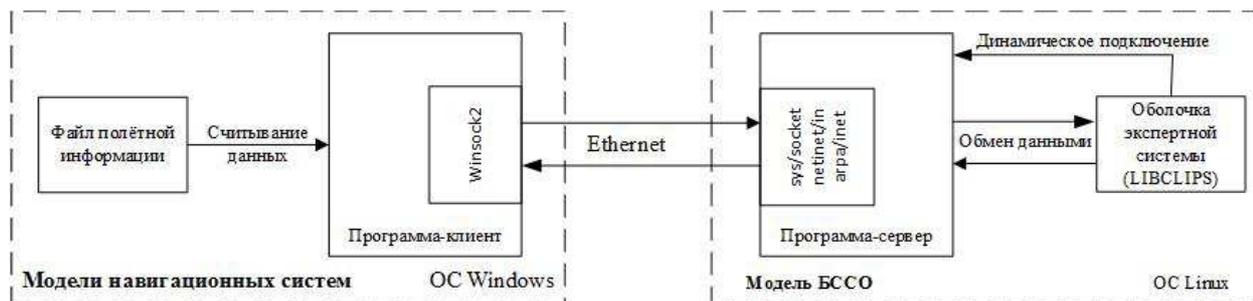


Рис. 6.

### Структура программных моделей комплекса полунатурного моделирования интеллектуализированного ПНК

Моделирование навигационных систем производится в клиентской части комплекса. При этом моделирование происходит не математически, а производится в квазиреальном времени путём воспроизведения параметров движения ЛА из записанных файлов с полётной информацией из разных источников.

Моделирование работы БССО, а именно: динамическое подключение модуля-оболочки ЭС, запуск, инициализация и работа ЭС интеллектуальной поддержки экипажа, осуществляется в серверной части комплекса. Рекомендации в таком случае выводятся на монитор компьютера, осуществляющего моделирование БССО, он в данном случае является аналогом многофункционального индикатора, на который выводятся сообщения экипажу.

В реализованном комплексе полунатурного моделирования используются протоколы информационного взаимодействия навигационных систем ЛА и БЦВМ, аналогичные протоколам, используемым в реальном ПНК.

Одним из вариантов реализации ПНК с системой интеллектуальной поддержки экипажа ЛА является многофункциональный стенд комплекса бортового оборудования, представляющий собой многофункциональный реконфигурируемый стенд имитационного математического моделирования бортового

оборудования ЛА в различных полетных режимах, обеспечивающего выполнение демонстрационных, учебных и научно-исследовательских работ.

Проведено экспериментальное исследование работы ПНК с интеллектуальной поддержкой экипажа ЛА при возникновении типовых ситуаций «Сваливание в штопор самолёта Ту-154» и «Режим работы двигателей меньше номинального».

Для этого подробно рассмотрено применение технологии получения знаний, а также приведены результаты работы бортовой экспертной системы как части БССО.

Показано применение технологии получения знаний для типовой ситуации «Сваливание в штопор самолёта Ту-154».

Для данной типовой ситуации было выяснено, что она является опасной и имеет как технические (конструктивные), так и психологические (человеческий фактор) причины:

- В процессе эксплуатации самолёт Ту-154М не должен попадать в режим сваливания ввиду значительного ухудшения на этом режиме его аэродинамических характеристик;
- Психологически эта опасная ситуация сложна тем, что действия по её парированию нередко противоречат естественному “защитному” рефлексу, а привычные для экипажа действия дают обратный эффект;

Из анализа научно-технической литературы были получены критерии, позволяющие экипажу оценить попадание в штопор и рекомендации для базы знаний ЭС, а именно: «для вывода самолета Ту-154М из штопора необходимо при нейтральном положении элеронов отклонить руль направления против штопора и отдать штурвал полностью от себя».

Анализ отчётов МАК для двух серьёзных инцидентов и трёх авиационных катастроф, произошедших с типом Ту-154 позволил выявить действия экипажа в случае сваливания. По разработанному методу были проанализированы циклограммы полёта, составлены таблицы действия экипажа и ключевой параметр для анализа – угол атаки, для которого была составлена лингвистическая переменная (Рис. 7), термами которой являлись: докритический (нормальный) угол атаки и допустимый угол атаки.

При написании правил для базы знаний заданы три режима работы системы:

- При подходе к допустимому углу атаки система должна предупредить об этом экипаж сообщением «**Внимание! Возможно сваливание!**»;
- При достижении данного угла атаки и на всех углах атаки выше допустимого система должна выдавать сообщение «**Сваливание в штопор! Отдай штурвал от себя!**»;
- При возникновении раскочки, путём динамического анализа, система должна выдавать сообщение «**Предельно опасная ситуация! Раскочка!**».

Для этих трёх ситуаций определяются факты и правила для базы знаний ЭС, после чего она реализуется в конечном коде. Для сравнения, существующая система АУАСП (автомат углов атаки и степени перегрузки) при достижении допустимых углов атаки выдаёт дополнительный сигнал в виде загорания лампы и срабатывания звукового сигнала.

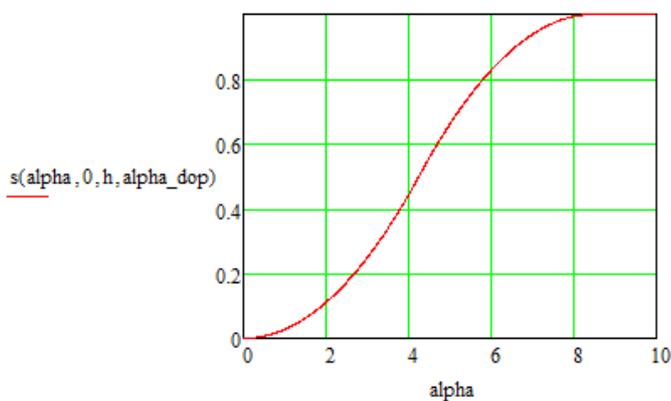


Рис. 7.

Функция принадлежности терма «Допустимый угол атаки»

Для проведения моделирования работы ПНК с интеллектуальной поддержкой экипажа ЛА на базе бортовой ЭС при возникновении типовой ситуации «Сваливание в штопор» была выбрана одна из катастроф самолёта Ту-154М. Файл с данными для полунатурного моделирования содержал реальные циклограммы изменения угла атаки.

Результаты эксперимента (Рис. 8) показаны в виде графика изменения угла атаки с отмеченными сообщениями системы (верхняя часть рисунка) в сравнении с моделью работы АУАСП (нижняя часть рисунка). Эксперимент показал, что система способна распознавать ситуацию по трём заданным категориям опасности и выдавать сообщения экипажу по действиям в сложившейся ситуации. Система определяет возникновение особой ситуации, снижая время распознавания ситуации экипажем на 7..10 секунд.

$\alpha$ , град.

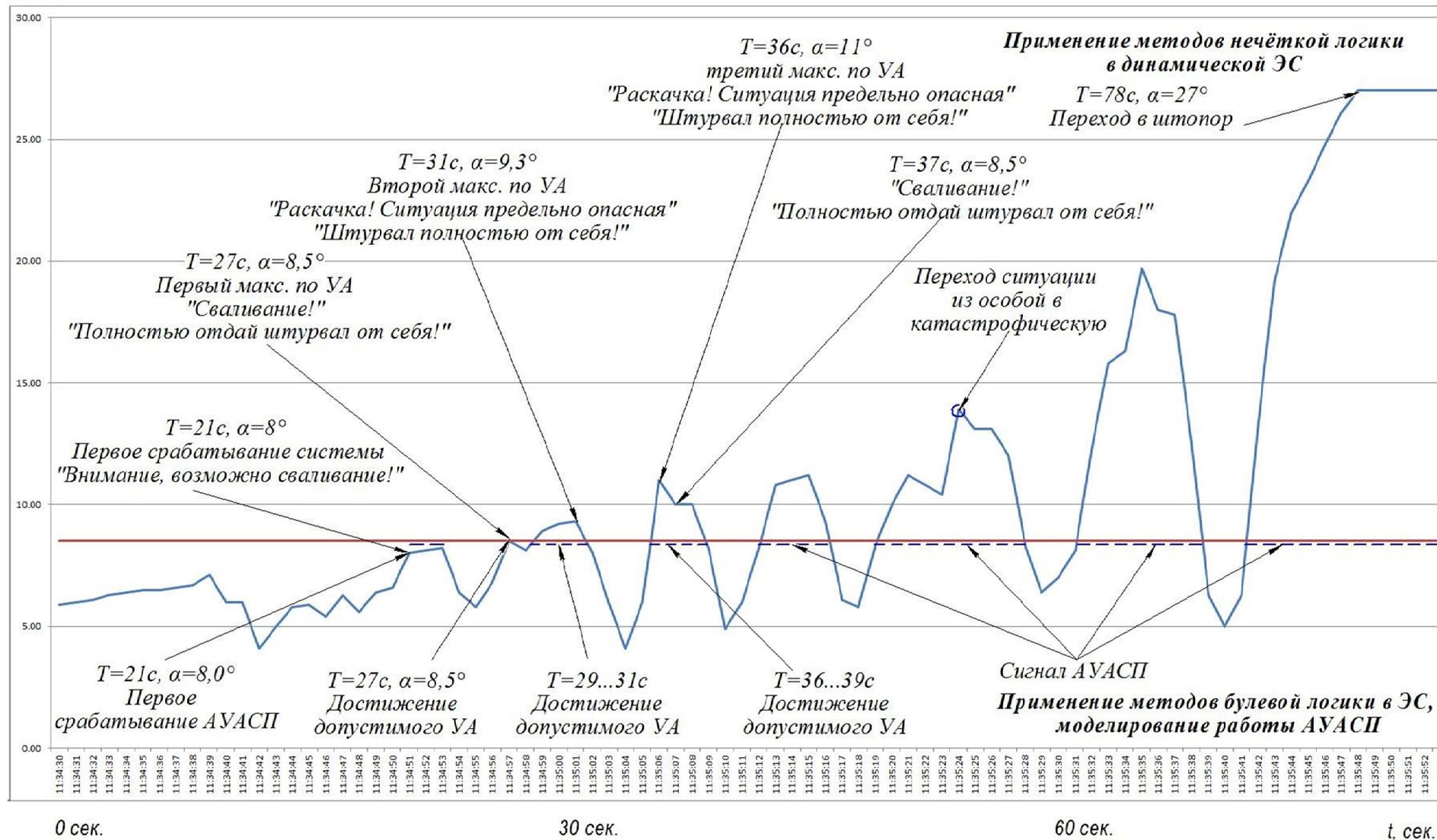


Рис. 8.

Результаты эксперимента «Сваливание в плоский штопор»

**Вторая типовой ситуации** «Режим работы двигателя (РРД) меньше номинального», может иметь критическое значение как при осуществлении взлёта, так и при попадании самолёта в режим сваливания. Анализ данных показал, что, при начале сваливания выставленный режим работы двигателей «малый газ» ведёт к еще большей потере скорости и дальнейшему развитию процесса сваливания. Кроме того, рекомендация увеличить режим работы двигателей вплоть до взлётно при развитии сваливания имеется в руководстве по лётной эксплуатации самолёта. На данный момент нет системы, которая могла бы контролировать выставку или невыставку необходимого режима работы двигателей.

Исходя из таблицы режимов работы двигателя, указанной в «руководстве по лётной эксплуатации самолёта Ту-154М», была получена лингвистическая переменная «Режим работы двигателей» (Рис. 9), состоящая из термов: «Малый газ», «Посадочный малый газ», «0,6 номинального», «0,7 номинального», «0,9 номинального», «Номинальный» и «Взлётный».

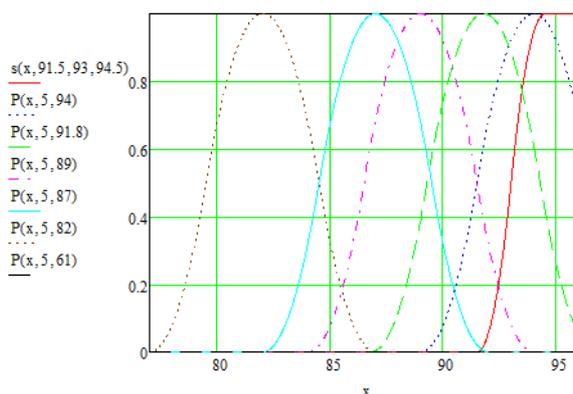


Рис. 9.

#### Лингвистическая переменная «РРД» и её значения

Для проверки работы ПНК с интеллектуальной поддержкой экипажа ЛА при возникновении типовой ситуации типовую ситуацию «РРД меньше номинального», был оцифрован в файл для моделирования и использован график опробования двигателей, рекомендованный РЛЭ самолёта Ту-154М т.к. он хорошо подходит для определения режимов работы двигателей системой с нечёткой логикой.

С результатами эксперимента более подробно можно ознакомиться в диссертации. Система определяет режим работы двигателей как «номинальный» и «взлётный», а при меньших режимах выдаёт сообщение «Добавь режим!».

В заключении сформулированы общие выводы.

## **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ**

- 1 Критичным для безопасности полётов при возникновении особых ситуаций является наличие человеческого фактора. Следовательно, создание «виртуального инструктора» является необходимостью, а основным направлением развития пилотажно-навигационных комплексов является интеллектуализация, первый этап которой заключается в обеспечении экипажа ЛА ситуационной осведомлённостью, а второй – в замыкании контура управления ЛА.
- 2 С целью оптимизации разработки целесообразно использовать дополнительные вычислительные мощности, а именно бортовые ЭВМ, используемые и в ПНК. Кроме того, целесообразной видится интеллектуализация с помощью механизма экспертных систем, критическим элементом которых является сбор и формализация знаний экспертов. Для построения таких систем целесообразно использовать серийные и коммерческие продукты для обеспечения механизма логического вывода (модуль с экспертной системой CLIPS).
- 3 Интеллектуальная поддержка обеспечивает своевременное парирование особых ситуаций для следующих групп: Особые ситуации общего самолёто- и вертолотовождения, особые ситуации, связанные с техническим состоянием бортовых систем, оборудования и агрегатов, особые ситуации, связанные с внешними угрозами безопасности полета и использования воздушного пространства, особые ситуации тактического и специального применения объекта, особые ситуации, связанные с психофизиологическим состоянием экипажа.
- 4 Результаты полунатурного моделирования показали, что применение методов построения ЭС для различных типовых ситуаций (сваливание самолёта в штопор, режим работы двигателей меньше номинального) позволяет повысить уровень безопасности полётов за счёт сокращения времени принятия экипажем решения и формирования необходимых рекомендаций к действию.

## РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Бабиченко А.В., Земляной Е.С. К обоснованию требований к бортовым экспертным системам интеллектуальной поддержки экипажа // Авиакосмическое приборостроение. 2014. №12. С.26-37 (0,75 п.л. / 0,375 п.л.)
2. Бортовые программные и аппаратные средства обеспечения навигации и безопасности полётов лёгких воздушных судов на малых высотах / Е.С. Земляной [и др.] // Авиакосмическое приборостроение. 2014. №12. С.16-25 (0,625 п.л. / 0,125 п.л.)
3. Земляной Е.С. Бортовая интегрированная динамическая нечёткая экспертная система для предотвращения возникновения типовой ситуации «Сваливание в плоский штопор самолёта Ту-154». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617754. Правообладатель и автор Земляной Егор Сергеевич. Заявка № 2015613415 от 23.04.2015. Дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 22.07.2015.
4. Разработка алгоритмов бортовой системы обеспечения безопасности полёта для предотвращения столкновения в воздухе и выполнения маловысотного полёта с использованием малогабаритной РЛС: отчёт о НИР. Соглашение о предоставлении субсидии № 14.579.21.0051 от 16 сентября 2014 г. Руководитель темы Сергеева Г.В. / Земляной Е.С. [и др.] Жуковский: ЗАО «Техавиакомплекс», 2014. 353 с. (22 п.л. / 0,87 п.л.)
5. Интеллектуальный борт: отчёт о НИР. Руководитель темы Шушпанов Н.А. / Земляной Е.С. [и др.] Раменское: АО «РПКБ», 2016. 100 с. (6,25 п.л. / 0,5 п.л.)
6. Разработка бортовой системы ситуационной осведомлённости для объекта 450»: отчёт по эскизному проекту ОКР. Руководитель темы Прядильщиков А.П. / Земляной Е.С. [и др.] Раменское: АО «РПКБ», 2015. 420 с. (26,25 п.л. / 1 п.л.)