



**Институт
интеллектуальных кибернетических систем
Кафедра кибернетики (№22)**

Направление подготовки 09.03.04 Программная инженерия

**Реферат по дисциплине
«Введение в интеллектуальные системы и технологии»**

Тема: «История развития интеллектуальных систем в авиации»

Выполнил:
студент группы Б22-534
Баранов А. Т.

Преподаватель:
профессор, д.т.н.
Рыбина Галина Валентиновна

Москва, 2024

Содержание

Введение	3
1 Эволюция интеллектуальных систем в беспилотных летательных аппаратах	4
1.1 Трехуровневая архитектура интеллектуальной системы управления беспилотными летательными аппаратами	6
1.2 Интеллектуальные системы управления автономных беспилотных летательных аппаратов с реализацией функции ситуационной осведомленности	8
1.3 Управление группой беспилотных летательных аппаратов	10
1.3.1 Мультиагентное управление	10
1.3.2 Управление группой беспилотных летательных аппаратов с помощью многозначной логики	11
1.3.3 Управление группой беспилотных летательных аппаратов, основанное на продукционных правилах	11
1.4 Использование интеллектуальных систем в беспилотных летательных аппаратах в рамках специальной военной операции	12
2 Эволюция интеллектуальных систем в пилотируемых летательных аппаратах	13
2.1 Модель «Этап»	14
2.2 Бортовые интеллектуальные системы первого глобального уровня управления на борту летательных аппаратов	15
2.3 Система «Ситуационная осведомлённость экипажа»	15
2.4 Бортовые оперативно советующие экспертные системы	17
2.4.1 Бортовые оперативно советующие экспертные системы оперативного целеполагания	17
2.4.2 Бортовая оперативно советующая экспертная система типовой ситуации функционирования	19
2.5 Комплекс бортового оборудования летательного аппарата	21
3 Внебортовые интеллектуальные системы	27
3.1 Система интеллектуальной поддержки авиаспециалистов при техническом обслуживании систем и оборудования самолёта	27
3.2 Интеллектуальные системы диагностики летательных аппаратов	28
Заключение	29
Список источников	30

Введение

Интеллектуальные системы как элемент поддержки деятельности человека получили широкое распространение во многих сферах, таких как производство, сфера услуг, управление транспортными средствами и т.д. Они помогают автоматизировать процессы, существенно облегчив деятельность человека, тем самым взяв часть решений на себя.

В статье [1] мы видим, что актуальность внедрения интеллектуальных систем заключается в снижении влияния человеческого фактора на управление летательным аппаратом при условии соблюдения высокого уровня безопасности и надежности в процессе использования ЛА, особенно важно это в системах военных ЛА, что подчеркивается в [2].

Реализация интеллектуальных систем в устройство ЛА подразумевает собой их интеграцию с приборами и оборудованием, автоматизацию их работы и взаимодействие между собой. Такие системы помогают пилотам принимать решения за ограниченное время, имея набор ограниченных данных, показывать неполадки систем самолета и контролировать их во избежание аварийных ситуаций, как показано в работе [1]. Также интеллектуальные системы могут помочь при диагностике неполадок ЛА.

В данном реферате содержится история использования бортовых и внебортовых интеллектуальных систем как в пилотируемых летательных аппаратах, так и в беспилотных.

1 Эволюция интеллектуальных систем в беспилотных летательных аппаратах

Одним из самых перспективных и повсеместно-развивающихся направлений в авиации, согласно информации статьи [3], находящейся на стыке инженерных, математических и компьютерных наук, является проектирование и разработка беспилотных летательных аппаратов различного типа и назначения. БПЛА могут быть как и маленькими незаметными дронами, так и полноразмерными автономными ЛА, согласно [4]. БПЛА могут выполнять функции разведки, нести боекомплект, выполнять функции дрона-камикадзе, также использоваться в качестве камеры для любительской съемки и так далее.

Самым первым БПЛА считается «Жук» Кеттеринга на основе материала [4], разработанный в 1917 года в США, который по сути являлся крылатой ракетой, но был оснащен четырехцилиндровым двигателем и инерциальной автоматической системой управления. Стабилизацию по направлению обеспечивал гироскоп, который был соединен с вакуум-пневматическим рулем управления. Аппарат мог летать только на небольшие расстояния и передвигаться только из точки в точку по прямой.

Новая веха в истории БПЛА согласно [4] ознаменовала появление радиоуправляемых беспилотников в 1930-х годах. Radioplane OQ-2 - первый дистанционно-пилотируемый летательный аппарат (ДПЛА), поступивший в массовое производство. Управление осуществлялось оператором с земли, по каналу связи БПЛА передавались различные команды. Во времена Второй Мировой Войны был создан беспилотник ФАУ-1, автопилотом которого был пневматическим устройством, работающем на сжатом воздухе. В статье [1] также сказано, что с окончания Второй Мировой в разработке радиоуправляемых БПЛА преуспели США, СССР, Израиль во времена холодной войны и конфликтов на ближнем востоке.

В статье [5] содержится информация о том, что оснащение интеллектом летательных аппаратов началось в 70-х годах прошлого века. Оснащение дистанционно пилотируемых аппаратов сложными системами автоматизации позволило оптимизировать все эти проблемы, повысить эффективность многих миссий с точки зрения надежности, научных результатов и требуемых эксплуатационных усилий.

В статье [6] идет речь об интеллектуализации систем управления БПЛА, и отдельно отмечается, что для эффективного функционирования БПЛА напрямую необходима интеграция интеллектуальных систем управления. Основой данных систем является наличие системы принятия решений с помощью логической обработки сигналов. Такие интеллектуальные системы управления способны обеспечить автономность управления беспилотников.

На сегодняшний день все еще не решена проблема, что указано в источнике [6], которая заключается в невозможности создания и синтеза интеллектуальных систем управления, рационально выполняющих свои функции в случае частичной потери работоспособности, особенно остра эта проблема в использовании БПЛА военными. В большинстве случаев на сегодняшний день БПЛА управляются оператором вручную посредством дистанционных систем управления. Системы управления БПЛА, которые представляют наибольший интерес, являются интеллектуальными системами управления (ИСУ). В статье [7] объясняется назначение ИСУ – это система, которая в автоматическом режиме способна к решению нетривиальных интеллектуальных задач, включая планирование, целеполагание, прогнозирование, и тем самым способна обеспечить высокий уровень автономности БПЛА. Ряд этих задач не решается с помощью известных подходов ИИ, это описано в материале [3], и требует новых методов, которые развиваются в области компьютерного когнитивного моделирования (в нем используются модели когнитивных функций человека).

По информации в статье [3] исследователями разрабатывались отдельные элементы интеллектуальных систем управления, которые, не являются самодостаточными. Для построения полноценной системы управления реальным сложным техническим объектом необходима интеграция методов решения этих интеллектуальных задач с методами решения задач более низкого уровня: локализация, планирование траектории, следование по траектории и т.д.

За всю историю проектирования ИСУ появилось много подходов к созданию систем управления БПЛА, которые можно классифицировать по уровню иерархии, они также описаны в источнике [3]: одноуровневые, двухуровневые, многоуровневые, по типу функциональной декомпозиции – явная, неявная. При таком способе классификации в отдельный класс ИСУ чаще всего выделяют плоские одноуровневые архитектуры с явной функциональной декомпозицией. В такой классе система управления представляет собой набор модулей, несвязанных друг с другом, а каждый модуль решает свой конкретный набор задач. При этом интеллектуальные функции распределены по сей системе.

В статье [3] указывается, что в другой класс архитектур можно выделить многоуровневые архитектуры с неявной функциональной декомпозицией. Каждый их элемент состоит из фиксированного числа одинаковых модулей с неявной спецификацией, которые реализуют каждую функцию системы: планирование, моделирование, обработка сигналов, оценивание свойств.

Неявность спецификации на примере модуля «планирование» заключается в следующем: на более высоких уровнях иерархии под «планированием» понимается

планирование поведения БПЛА (т.е. поиск планов среди возможных ситуаций, возможностей, целей объекта), на низких уровнях иерархии – планирование траектории, управление (т.е. поиск планов среди управляющих сигналов БПЛА). При таком подходе, описанном в источнике [3] интеллектуальные функции в основном находятся на верхних уровнях иерархии и определены неявно.

Самые часто распространенные - многоуровневые архитектуры с явной функциональной декомпозицией, согласно материалу [3]. В этом случае функциональность каждого модуля явно определена, и модули разделены на уровни: чем он выше, тем больше возможностей для абстрагирования от данных сенсоров БПЛА используется в соответствующем конкретному уровню представлении знаний. Те задачи, которые решаются на более высоких уровнях системы, считаются более сложными – ориентированными более на интеллектуальную деятельность, чем на вычислительную, которая в первую очередь зависит от получаемых датчиками БПЛА данных.

1.1 Трехуровневая архитектура интеллектуальной системы управления беспилотными летательными аппаратами

В работе [3] рассматривается архитектура управления БПЛА, которая имеет название STRL. Она состоит из трех уровней: стратегического, тактического и реактивного (strategic, tactical, reactive layered). Система, построенная по этой архитектуре, управляет поведением БПЛА в условиях коллективного взаимодействия при решении различных задач. Основной задачей стратегического уровня является построение согласованного плана поведения участника группы. Система управления строит и поддерживает в реальном времени картину мира, являющейся уникальной для каждой системы. Она является уникальной благодаря характерным свойствам, которые ограничивают доступные действия, и благодаря различию в элементах картины мира.

В работе [3] описывается построение плана поведения группы: оно осуществляется обменом сообщениями с остальными участниками. На каждом из этапов реализации плана описание текущей ситуации обновляется, в том числе учитывая новую информацию, которая поступает от сенсоров БПЛА. Из описания текущей ситуации планирования выделяется пространственно-временная информация, формирующая новое задание, которое переходит на тактический уровень управления и содержит пространственное описание целевой области, в которую нужно переместить БПЛА, а также ограничение по времени для выполнения этого действия.

В статье [3] также подробно описываются модули системы. Модули тактического уровня

дают результат о возможности/невозможности выполнить данное задание о перемещение БПЛА с начальными условиями и, если это необходимо, то процедура перепланирования на стратегическом уровне вносит коррективы в общий план, согласовывая их с остальными участниками группы. На тактическом уровне управления решаются задачи навигации ОУ в пространстве, такими как: построение, обновление, уточнение модели (карты) местности, локализация и планирование траектории. Последняя делится на 3 этапа, они перечислены в материале [3]: прогнозирование, построение самого плана и мониторинг. Модуль прогнозирования получает информацию от стратегического уровня управления о целевой области пространства и ограничениях, а после осуществляется предварительный расчет необходимых параметров движения для выполнения задачи.

Параметры движения, рассчитанные модулем управления, передаются на нижний уровень управления, на котором учитывая условия передвижения объекта, формируются ограничения траектории, согласно [3]. Далее планирование осуществляется с учетом этих ограничений траектории. Результатом работы модуля планирования является построенная траектория, либо сигнал о невозможности выполнения этой задачи.

Учитывая все вышеперечисленное, планирование траектории представляет собой итеративный процесс с обратными связями с обоими уровнями, и верхним, нижним, что является отличием от других современных аналогов. В материале [3] также описана задача управления БПЛА на реактивном уровне. Этой задачей является соблюдение заданных параметров и ограничений ЛА с помощью обратной связи. Для этого вместе с управляющим сигналом тактического уровня поступают также приоритетная траектория и заданные параметры движения, например скорость. Этот уровень может управлять самим объектом или заниматься численным моделированием процесса управления. В первом случае информация о характеристиках ЛА в данный момент поступает от его датчиков, а управление идет на органы управления, что указано в источнике [3]. Во втором – информация о текущих характеристиках объекта поступает от процедуры интегрирования уравнений модели динамики полета, куда также передается и воздействие, оказанное в данный момент.

Также, на реактивном уровне происходит анализ ошибок управления, т.е. определение того, на сколько координаты объекта (которые получили численным моделированием или реальные показания) отличаются от заданных, согласно статье [3]. Ошибка сравнивается с допустимой границей, а результат сравнения поступает на тактический уровень. Таким образом, архитектура, описанная в материале [3] позволяет реализовать эффективные системы интеллектуального управления группой БПЛА, выполняющих множество сложных задач, требующих распределения ролей в группах, планирования поведения, решения проблем

локализации, привязки к карте, планирования траектории и т.д.

1.2 Интеллектуальные системы управления автономных беспилотных летательных аппаратов с реализацией функции ситуационной осведомленности

Среди многих факторов, по информации в статье [8], призванных обеспечить существенное повышение эффективности функционирования систем самого различного назначения, одним из главенствующих является фактор использования информационной осведомленности о состоянии внешней среды и самой системы.

В первом случае речь идет о самом широком спектре внешних воздействий, во многих случаях носящих характер целенаправленного противодействия возможности выполнения системой, поставленной перед ней целевой функции. Во втором случае речь идет о возникающих непредвиденных внутренних ситуациях, таких как отказы элементов аппаратуры, нарушения информационной безопасности, сбой программного обеспечения, конфликты в коллективе и т.д. В материале [8] в качестве показателей качества информационной осведомленности рассматриваются такие факторы, как полнота информации, ее достоверность и оперативность.

Подобная модель представлена моделью управления Эндсли, впервые сформулировавшего основные положения теории ситуационной осведомленности, согласно [6]. В соответствии с этой моделью процесс функционирования системы представлен тремя компонентами: информационным, обеспечивающим ситуационную осведомленность с заданными показателями качества; управляющим, обеспечивающим выбор способа достижения поставленной цели на основе принятого решения; исполнительным, реализующим действие, соответствующее выбранному способу достижения поставленной цели.

В материале [8] информационный компонент включает три уровня:

1. Знание того, что происходит вокруг (уровень 1).
2. Осознание значения собственных действий и действий других участников ситуации (уровень 2).
3. Представление сценария развития ситуации (уровень 3).

Управляющий компонент включает два уровня управления, согласно [8]:

1. Верхний уровень, определяющий целеполагание, постановку определенной цели, выбор одной из определенного множества конкретных типовых ситуаций; решение задачи целеполагания целиком возлагается на лицо, принимающее решение.

2. Нижний уровень управления, определяющий поиск способа достижения поставленной на верхнем уровне цели, анализ возможных путей достижения цели и выбор из них предпочтительного пути (принятие решения); решение задач обеспечивается, например, бортовой оперативно-советующей экспертной системой соответствующей типовой ситуации.

В статье [8] описана работа исполнительного компонента, который реализует действие, соответствующее выбранному на нижнем уровне способу достижения поставленной цели. В результате обеспечивается воздействие на внешнюю и внутреннюю среду, которое сохраняет или видоизменяет сложившуюся ситуацию. Такие системы относятся к классу интеллектуальных систем управления с реализацией функции ситуационной осведомленности, которые характерны пилотируемым и непилотируемым ЛА с реализацией одноименной функции. В работе [8] для пилотируемых летательных аппаратов такая осведомленность реализуется совокупностью следующих трех составляющих так называемой “Общей ситуационной осведомленности”:

1. Наземная система подготовки полета, обеспечивающая подготовку экипажей и борта самолетов к выполнению полетного задания на основе анализа априорной информации об ожидаемых мерах воздушного и наземного противодействия; выбор вариантов тактики выхода в район боевых действий, вариантов тактики противоборства с ожидаемым противником; подготовку полетных документов и исходных данных.
2. Бортовая система 1, обеспечивающая оценку состояния всего комплекса бортовой аппаратуры с использованием оперативно-советующей экспертной системы типовых ситуаций полета; экспертной системы оценки состояния бортовых измерительных и исполнительных устройств с выработкой рекомендаций экипажу по решению возникающих проблем и проверкой максимально точного исполнения принятых решений.
3. Бортовая система 2, обеспечивающая получение в любой момент времени полета максимально полной необходимой информации о складывающейся текущей ситуации во внешней среде за счет реализации возможности наблюдения и оценки состояния внешней среды, оценки достижимости целей управления и оперативного планирования маршрута движения самолета, тесно связанных с решением задач обнаружения и распознавания объектов этой среды, оценкой собственного движения и принятия последующих решений.

Для автономных беспилотных летательных аппаратов (АБЛА) в “Общей ситуационной

осведомленности”, согласно [8], превалирует значимость наземной системы подготовки пуска и бортовой системы 2, обеспечивающей получение необходимой информации о состоянии внешней обстановки. Однако рассмотрение вопросов построения систем ситуационной осведомленности для автономных БПЛА даже на концептуальном уровне практически не существует. В статье [8] показывается рассмотрение принципа построения таких систем для БПЛА и их база знаний. Указанная в этой статье база знаний включает в себя:

1. Ситуационную базу знаний, которая содержит описание и характеристики выделенных ЛА, их приоритетное ранжирование, а также набор проблемных субситуаций.
2. Информационную базу знаний, содержащую эталонное положение объектов в группе.
3. Алгоритмическую базу знаний, содержащую бортовые алгоритмы принятия решений и управления полетом БПЛА.

1.3 Управление группой беспилотных летательных аппаратов

В статье [9] говорится о том, что использование БПЛА в группах гораздо эффективнее, чем их одиночная эксплуатация в боевых действиях, разведывательных задачах. При уничтожении одного из нескольких БПЛА в составе группы нельзя говорить о неуспешно выполненном полетном задании: вследствие перегруппировки и перерасчетов для новой полетной задачи задание можно продолжить и довести до конца. Рассмотрим разные подходы к созданию системы управления группы БПЛА, которые были сформированы в XX веке.

1.3.1 Мультиагентное управление

Множеством событий, которые вызывают острую необходимость в постановке новых задач, согласно статье [10] являются: появления новой оптимальной информации, для более эффективного выполнения задачи; выход из строя части ЛА; а также изменение некоторых критериев, согласно которым принимаются решения. Чем выше неопределенность в процессе принятия решения и чем чаще случаются такие незапланированные события, тем ниже эффективность существующих систем, неспособных самостоятельно принимать решения и автоматически перестраиваться под изменения в среде. Кроме того, любая модификация схем принятия решений в системах представляет собой весьма сложный и трудоемкий процесс и требует высокой квалификации работников, из-за чего разработка и эксплуатация этих систем становится крайне дорогостоящей. В статье [10] описывается поход к решению этих проблем с помощью применения многоагентных технологий. В основе этих технологий лежит понятие “агента”, программного объекта, способного воспринимать ситуацию, принимать решения и

взаимодействовать с себе подобными.

Характерными особенностями интеллектуальных агентов являются, они перечислены в источнике [10]:

1. Коллегиальность - способность к коллективному целенаправленному поведению в интересах решения общей задачи.
2. Автономность - способность самостоятельно решать локальные задачи.
3. Активность - способность к активным действиям ради достижения общих и локальных целей.

Эти возможности кардинально отличают многоагентные системы (МАС) от существующих на конец нулевых годов “жестко” организованных систем управления группы автономных БПЛА, о которых подробнее рассказано в [10].

1.3.2 Управление группой беспилотных летательных аппаратов с помощью многозначной логики

Использование нечетких баз знаний систем интеллектуальной поддержки предполагает построение алгоритмов распознавания складывающихся в полете типовых ситуаций и получение соответствующих управляющих решений, согласно статье [11]. При этом используется нечеткая логика второго уровня (т. н. нечеткозначная логика), в которой складывающаяся ситуация оценивается набором лингвистических переменных вместе со степенями значимости/уверенности значений этих переменных. В свою очередь степени уверенности принимают уже значения в числовом отрезке, обычно $[0,1]$. Построение нечетких баз знаний ситуационных систем интеллектуальной поддержки решения задач показаны в статье [12].

1.3.3 Управление группой беспилотных летательных аппаратов, основанное на продукционных правилах

Еще один подход к созданию интеллектуальных систем для управления группы БПЛА описан в [9]. Он основывается на продукционных правилах, которые описывают знания в виде взаимосвязей типа: «причина» – «следствие», «явление» – «реакция», «признак» – «факт» и т.д. Этот подход, согласно [9], является расширением задачи проводки БПЛА по заданному маршруту с учетом преследования цели. Продукционные правила задают условия, при которых вырабатываются конкретные управления в соответствии с выбранной стратегией и текущими данными о состоянии БПЛА. Среди стратегий в [9] рассматривается стратегия

движения с коррекцией текущего уклонения, стратегия сближения с целью, а также в этой статье рассматривается пример исполнения продукционных правил в этой задаче, а также говорится об уверенности обрабатывания подобных систем.

1.4 Использование интеллектуальных систем в беспилотных летательных аппаратах в рамках специальной военной операции

Современные конфликты, такие как специальная военная операция (СВО), показали значительное изменение роли беспилотной авиации. Согласно источнику [13], применение пилотируемых боевых самолетов ограничивается наличием мощных систем противовоздушной обороны у противника. В результате сверхманевренность пилотируемых летательных аппаратов утратила свою актуальность, а ключевым фактором их применения стала возможность использования дальнобойных высокоточных боеприпасов.

На фоне этих изменений, в [13] утверждается, что беспилотная авиация стала важнейшим элементом современных вооруженных сил. Различные типы БПЛА играют доминирующую роль на поле боя, обеспечивая войска информацией в реальном времени и нанося удары по живой силе и технике противника. Из [13] видно, что эффективное применение БПЛА требует комплексного информационного обеспечения. Разведка, связь и автоматизация управления приобретают важность.

По словам [13], украинские вооруженные силы используют американские интеллектуальные системы, такие как Palantir и Primer AI, обрабатывающих информацию из разных источников в реальном времени. Среди украинских разработок выделяется платформа Delta, а также система «Крапива», применяемая для управления артиллерией и обмена разведанными.

Согласно [13], один из важных вопросов, связанных с БПЛА, — это опознавание. В отличие от пилотируемой авиации, оснащение беспилотников такими системами сопряжено с высоким риском захвата и взлома, что делает потерю БПЛА менее критичной, чем возможный компромисс системы опознавания. Таким образом, необходимы новые подходы к решению этой проблемы, учитывая, что опознавание важно не только для воздушных, но и для наземных объектов.

В [13] утверждается, что особое значение приобретает развитие интеллектуальных систем в БПЛА, поскольку это позволяет существенно повысить их автономность, улучшить обработку данных в реальном времени, а также принимать решения на основе быстро изменяющейся обстановки. Внедрение искусственного интеллекта и машинного обучения обеспечивает более эффективное использование БПЛА в разведывательных и боевых операциях, минимизируя участие человека и повышая точность и скорость реагирования.

2 Эволюция интеллектуальных систем в пилотируемых летательных аппаратах

В статье [14] говорится о том, что одним из ключевых направлений в процессе разработки ЛА является разработка основ построения бортовых систем управления и поддержки принятия решений. Поэтому в связи с растущей технологической сложностью систем ЛА и из-за увеличения их количества интеллектуальная поддержка решений играет большую роль. Во время выполнения полета экипаж может столкнуться с непредвиденными проблемами, которые связаны с внешним воздействием или внутренним, связанным с бортовыми системами. Для решения данных проблем экипаж должен оперативно решать задачи целеполагания и задачи конструирования оптимального способа достижения измененной текущей цели полёта, согласно [14].

При подготовке полёта ЛА (в одиночку или в составе группы) всегда ставится генеральная задача вылета и назначаются ранги ЛА в группе, о чем говорится в материале [14]. В процессе выполнения полёта в каждый текущий момент времени на любом ЛА в составе группы с помощью алгоритмов деятельности экипажа и алгоритмов, реализованных на БЦВМ (БЦВМ-алгоритмов), решаются различные задачи. В материалах [15–20] данные задачи делятся на три глобальных уровня управления:

1. Задачи оперативного целеполагания (I ГЛУУ – первый глобальный уровень управления).
2. Задачи определения рационального способа достижения оперативно поставленной цели (II ГЛУУ- второй глобальный уровень управления).
3. Задачи реализации принятого способа достижения оперативно поставленной цели (III ГЛУУ – третий глобальный уровень управления).

Согласно приведённой в статьях [15,17,18] информации, решение задач I-ГЛУУ и II-ГЛУУ на летательных аппаратах 4-го поколения осуществляется экипажем без какой-либо поддержки с помощью оперативно вырабатываемых БЦВМ-алгоритмами рекомендаций. Решения задач I ГЛУУ на самолетах 4-го поколения (как и на любых других современных ЛА) осуществляется экипажем без какой-либо поддержки БЦВМ-алгоритмов. Для самолетов этого поколения разрабатывались БЦВМ-алгоритмы в основном для решения III-ГЛУУ. При этом использовалась концептуальная модель «Эпизод» [15]. Она содержит набор проблемных субситуаций (ПрСС), выделенных для каждого этапа полета (типовой ситуации (ТС)), и по каждой такой ПрСС безотносительно к другим ПрСС этой же ТС разрабатывается своё бортовое алгоритмическое и индикационное обеспечение.

При использовании концептуальной модели «Эпизод» задачи I ГЛУУ и II ГЛУУ (так называемые тактические задачи) исчезают из поля зрения конструкторов бортового оборудования. При возникновении возможности реализовать алгоритмическую поддержку процесса решения летчиков задач частично I ГЛУУ и в полной мере II ГЛУУ возникла необходимость перехода к новой концептуальной модели «Этап», согласно статье [15].

2.1 Модель «Этап»

Однако решение задач I-ГЛУУ с применением БЦВМ-алгоритмов на практике невозможно и их решение в обозримом будущем будет полагаться только на действия экипажа ЛА, а бортовые интеллектуальные системы могут оказать помощь только путём своевременного предоставления экипажу достаточной для принятия решения информации о внешней и внутренней бортовой обстановке – согласно информации в [16].

Данная модель включает в себя заданный набор главных задач вылета, представление каждой такой задачи через семантическую сеть типовых ситуаций полёта и представление каждой ТС через семантическую сеть её проблемных субситуаций. Согласно [20], в рамках данной концептуальной модели несколько переопределяются уровни глобального управления:

1. Результатом решения задачи I-ГЛУУ является назначение текущей типовой ситуации полёта.
2. Задача II-ГЛУУ интерпретируется как оперативное построение конкретного фрагмента семантической сети проблемной субситуации назначенной ТС.
3. III-ГЛУУ – уровень реализации способа достижения цели, сконструированный на II-ГЛУУ.

Решение задач I-ГЛУУ и II-ГЛУУ требует диалоговых процедур с экипажем ЛА, а БЦВМ-алгоритмы обеспечивают частичную поддержку процесса принятия решений, что сказано в материале [15]. Полная поддержка его возможна только при использовании бортовых интеллектуальных систем тактического уровня (БИС-ТУ).

Согласно [15], для решения приведённых выше задач на борту летательного аппарата должны быть размещены интеллектуальные системы двух классов: интеллектуальная информационная система «Ситуационная осведомлённость экипажа» (ИИС СОЭ), обеспечивающая ситуационную осведомлённость экипажа, и набор бортовых оперативно советующих экспертных систем типовых ситуаций полёта (БОСЭС).

2.2 Бортовые интеллектуальные системы первого глобального уровня управления на борту летательных аппаратов

В статье [17] описываются интеллектуальные системы, решающие задачи 1-ГЛУУ, которые работают на всех этапах полета ЛА. Эти системы обладают информацией и рекомендациями поддерживать осмотрительность экипажа, ситуационную осведомленность экипажа и ситуационную уверенность экипажа – все составляющие процесса решения задач.

Осмотрительность экипажа обеспечивается предъявлением ему потенциальных угроз целостности ЛА или выполнению заданной им генеральной задачи вылета. Для этого создается информационная модель внешней и внутрибортовой обстановки с представлением потенциальных угроз. В источнике [17] описано, что эта модель реализуется с помощью БЦВМ-алгоритмов обработки первичной информации, которая поступает от бортовых измерительных систем, а также обнаруженных угроз с классификацией по их типу. Этот процесс не требует диалога с экипажем.

Ситуационная осведомленность экипажа осуществляется соответственно системой ситуационной осведомленности экипажа (ИИС СОЭ), описанная в статьях [17,18]. Эта система среди потенциальных угроз, выделенных в бортовой информационной модели внешней и внутрибортовой обстановки, определяет те, которые непосредственно угрожают выполнению текущего этапа полета ЛА или его целостности. Информация об обнаруженных угрозах представляется экипажу, а тот использует ее для решения задачи оперативного целеполагания в соответствии с задачей полета и ранга в группе. Работа ИИС СОЭ также не требует диалоговых процедур с экипажем.

Ситуационная уверенность экипажа обеспечивается бортовой оперативно советующей экспертной системой оперативного целеполагания, согласно [17]. При появлении внутрибортовой или внешней угрозы выполнению полетной задачи заблаговременно система предъявляет экипажу рекомендацию по текущей цели полета ЛА. Рекомендация согласована с главной задачей. Эта система предполагает диалоговые процедуры с экипажем.

2.3 Система «Ситуационная осведомлённость экипажа»

Интеллектуальная информационная система «Ситуационная осведомлённость экипажа» относится к классу систем, которые не предусматривают использования диалоговых процедур с экипажем. Подробнее всего эта система рассматривается в [15,17,18,21]. По информации, содержащейся в [15], база знаний ЛА имеет одноуровневую семантическую структуру с набором продукционных правил.

В материалах [17,18] описана из каких блоков состоит база знаний ИИС СОЭ. Первый блок - блок наблюдаемых потенциальных угроз получает от бортовых информационных средств, от БЦВМ-алгоритмов обработки информации все обнаруженные потенциальные угрозы:

1. Внешние угрозы.
2. Внутрибортовые угрозы.
3. Угрозы недостаточности бортовых расходуемых средств.

Инженеры собирают экспертные оценки времени, необходимого экипажу для принятия решений о возможности и типе противодействия угрозе, которые могут использоваться другими блоками в дальнейшем, например, блоке выделения непосредственных угроз. В статье [17] приведены таблицы с примерами угроз, обнаруживающих их устройств и оценками времени, которое необходимо экипажу для принятия решения.

Следующий блок - блок выделения непосредственных угроз. В этом блоке в режиме реального времени по каждой обнаруженной потенциальной угрозе проводится прогноз ее развития и определение «точки невозврата» - момента, после которой любое противодействие данной угрозе будет неэффективным, согласно [17]. Для этого в блоке выделения непосредственных угроз должны содержаться математические модели прогноза развития угрозы с процедурами выявления соответствующих «точек невозврата».

И наконец в последнем, в блоке классификации выделенных угроз полученные из блока выделения непосредственных угроз данные проходят ранжирование по моментам наступления «точек невозврата» и типам самих угроз, классификация которых, описанная в статьях [17,18], приведена ниже. Классификация непосредственных угроз из источников [17,18]:

1. Внешние угрозы, влияющие на выполнение задачи вылета, угрозы ЛА или команда корректирующая/изменяющая выполняемую генеральную задачу взлёта. Экипаж имеет резерв времени на принятие решения.
2. Внутрибортовые угрозы, влияющие на качество выполнения генеральной задачи взлёта. Экипаж также имеет резерв времени.
3. Внешние или внутрибортовые угрозы целостности летательного аппарата и здоровью его экипажа с резервом времени на принятие решений.
4. Внешние или внутрибортовые угрозы целостности летательного аппарата и здоровью его экипажа, достаточного времени для принятия решения нет.

Как указано в источнике [21], ИИС СОЭ, размещенные на борту ЛА, является только подспорьем экипажа в решении им задачи оперативного целеполагания. Выходная

информация ИИС СОЭ предоставляется экипажу через бортовые речевые информаторы и индикаторы информационно-управляющего поля (ИУП). Таким образом, согласно источникам [15,17,18,21], ИИС СОЭ предназначена для решения проблемы выделения угроз, непосредственно мешающих протеканию текущей типовой ситуации полёта, путём развёртывания на ИУП информационной модели внешней и внутрибортовой обстановки.

2.4 Бортовые оперативно советуемые экспертные системы

Бортовые оперативно советуемые экспертные системы (БОСЭС) – это второй класс систем, которые, согласно источнику [15], должны быть включены в конструкцию ЛА, который соответствует концептуальной модели «Этап». Как указано в источниках [19], БОСЭС предназначены для полного или частичного решения тактических задач (задач I-ГЛУУ и II-ГЛУУ). В материале [22], они называются БИС-ТУ – бортовые интеллектуальные системы тактического уровня. В источнике [19] приводится разделение на БИС_I-ГЛУУ и БИС_II-ГЛУУ. К первой категории относятся БИС, помогающие экипажу в решении задач оперативного целеполагания: информационная система «Ситуационная осведомлённость экипажа» и БОСЭС-целеполагание. Второй категории принадлежат БИС, предоставляющие возможность поиска оптимального способа достижения оперативно поставленной цели. Такие системы в источниках [15,16,19–24] называют БОСЭС ТС.

2.4.1 Бортовые оперативно советуемые экспертные системы оперативного целеполагания

Бортовые оперативно советуемые экспертные системы оперативного целеполагания (БОСЭС-целеполагание) описаны в материалах [20,22,24]. Согласно информации из статей [22,24], БОСЭС-целеполагание предназначена для обеспечения ситуационной уверенности экипажа при решении задачи оперативного целеполагания. БОСЭС-целеполагание предполагает наличие процедуры диалога с экипажем – он может выделить одну из непосредственных угроз, для которой система осуществит поддержку в принятии решения для экипажа. Однако в определённых ситуациях, когда установленная ИИС СОЭ экспертная оценка времени для выработки экипажем решения на противодействие угрозе целостности летательного аппарата или здоровью экипажа превышает расчётное время до преодоления «точки невозврата», такая угроза сразу попадает в БОСЭС-целеполагание. Согласно статье [22], база знаний данной экспертной системы состоит из двух иерархических уровней и трёх функциональных блоков, обслуживающих три режима работы БОСЭС соответственно. На первом иерархическом уровне активируется один из трёх режимов работы, на втором в активированном режиме

вырабатываются соответствующие рекомендации экипажу.

Первый режим соответствует ситуации, когда экипаж выделил непосредственную угрозу на текущем этапе полета ЛА. Для оценки сложившейся ситуации в данном случае можно привлечь экипаж. В базе знаний БОСЭС ранее накопленный положительный опыт противодействия выделенной экипажем угрозе формализован в виде матрицы знаний, как показано в материале [22]. На основе этой матрицы производится расчёт приоритетов возможных решений экипажа, решение в виде типовой ситуации полёта с наивысшим приоритетом рекомендуется экипажу. Второй режим активизируется в случае, когда ЛА находился в состоянии противодействия угрозе, сработал сигнал «Угроза миновала» и есть факт отсутствия других непосредственных угроз. В этом режиме в базе знаний не всегда имеется достоверная оценка текущего состояния ЛА и экипажа, поэтому БОСЭС-целеполагание запрашивает эти сведения и количественную оценку ситуации у экипажа, согласно [22]. На основе полученных данных будут предоставлены те ТС, на которые ещё можно вывести ЛА.

Третий режим активизируется в случае чрезвычайных ситуаций, когда у экипажа нет времени для противодействия угрозы целостности ЛА. В этой ситуации угроза сразу поступает в БОСЭС-целеполагание, а ее рекомендации, передаются на реализацию в бортовые исполнительные системы. БОСЭС-целеполагание в таком режиме решает следующие задачи определения, они описаны в статье [24]:

1. Способ противодействия критической угрозе.
2. Возможность её предотвращения без изменения текущего состояния летательного аппарата.
3. Необходимость перехода летательного аппарата в новое, обязательно определённое, состояние, в котором возможно безопасно применить рекомендуемый способ противодействия угрозе.
4. Способ перехода летательного аппарата в это новое состояние.
5. Возможность безопасно применить рекомендуемый способ противодействия угрозе.

Пример алгоритма работы БОСЭС-целеполагание в одном из режимов и его подробный и иллюстрированный разбор представлен в [23].

Однако, как утверждает автор статьи [19], из результатов анализа российских и зарубежных источников становится понятно, что на момент её написания ещё не существует полных исследовательских прототипов БИС_І-ГЛУУ. Иначе говоря, БОСЭС-целеполагание не существует в образцах истребителей 4+ поколения, а база знаний ИИС СОЭ проработана и

внедрена только фрагментами.

2.4.2 Бортовая оперативно советующая экспертная система типовой ситуации функционирования

Бортовая оперативно советующая экспертная система типовой ситуации функционирования (БОСЭС ТС) (полёта) предназначены для решения задач второго глобального уровня управления (в статье [19] БОСЭС ТС относят к БИУ_II-ГЛУУ), т.е. задач определения рационального пути достижения оперативно поставленной цели. Согласно источнику [15], БОСЭС ТС обеспечивает нахождение способа решения проблем той ТС, для которой она разрабатывалась. Это означает, что для каждой ТС требуется разработка собственной БОСЭС, и это подтверждается в материалах [19,23,24]. Экипаж имеет право не следовать предлагаемыми способами решения задачи, а реализовать свой, и в таком случае, как отмечено в [24], следующую рекомендацию БОСЭС ТС должна выработать уже с учётом реализованного экипажем способа.

В [24] приведены основные особенности БОСЭС ТС, однако их также можно назвать и требованиями к таким системам:

1. Должна решать все проблемы «своей» ТС. Иначе говоря, быть замкнутой по проблемам одной конкретной типовой ситуации функционирования.
2. Должна иметь ограниченный по временному лимиту и по возможностям ввода информации диалог с экипажем через информационно-управляющее поле кабины.
3. Алгоритмы и правила в базе знаний должны ориентироваться на структуры ситуационного управления.
4. Должна всегда быть согласована с активизированной концептуальной моделью поведения экипажа, вырабатывая рекомендации по разрешению текущей проблемы на уровне оператора(пилота)-профессионала с достаточной для него значимостью.
5. Должна иметь «отложенную» компоненту самообучения.

Архитектура базы знаний БОСЭС ТС описана в материалах [15,16,23,24]. База знаний имеет два иерархических уровня. Первый иерархический уровень БЗ – формальное представление семантической сети проблемных субситуаций соответствующей типовой ситуации функционирования. На этом уровне базы знаний на основе информации о внешней и внутрибортовой обстановке с использованием продукционных правил реализуется выбор одной из проблемных субситуаций этой сети. Второй иерархический уровень базы знаний представляет собой математическую постановку задач каждой проблемной субситуации с

указанием соответствующего ей алгоритма решения поставленной задачи. Также в статье [24] подробно описаны некоторые дополнительные блоки, входящие в состав БОСЭС ТС:

1. Блок предъявления экипажу рекомендаций и объяснений к ним информирует экипаж о рекомендуемом решении, используя для этого индикаторы и речевые информаторы информационно-управляющего поля кабины.
2. База математических моделей (ММ) значимых в рамках конкретной ТС событий, обеспечивающих пространственно-временной прогноз их наступления и обеспечивающих генерирование и ранжировку текущего множества допустимых решений.
3. Блок регистрации отказов экипажа от использования рекомендаций БОСЭС фиксирует в штатной бортовой системе объективного контроля летательного аппарата отвергнутую рекомендацию, принятое экипажем решение и текущие условия полёта. Данный блок реализует компоненту отложенного «самообучения» БОСЭС ТС.
4. Семантический паспорт БОСЭС используется при осуществлении экспресс-контроля полноты и глубины спроектированной базы знаний БОСЭС ТС и контроля вписываемости рекомендаций БОСЭС ТС в семантический облик информационно-управляющего поля кабины экипажа.

В [24] приведён пример семантической структуры базы знаний бортовой оперативно-советующей экспертной системы типовой ситуации функционирования «Дальний воздушный бой» (БОСЭС ТС «Дуэль»).

Как было указано выше, на втором иерархическом уровне базы знаний БОСЭС ТС для каждой поставленной проблемной субситуации указан алгоритм её решения. В материалах [15,20,24,25] приведён список возможных алгоритмов:

1. Алгоритм выработки решения на основе продукционных правил. Наиболее часто встречающимся методом построения таких правил, как указано в [24], является метод интервьюирования экспертов.
2. Вывод на базе алгоритмов многокритериального выбора заключается в формировании двух множеств: множества альтернативных способов разрешения проблемной субситуации и множества критериев оценки результата применения каждой альтернативы. Оперативный многокритериальный выбор наиболее предпочтительной альтернативы производится с использованием метода парных сравнений Т. Саати, согласно [24].
3. Вывод по прецеденту требует профессионала-эксперта по предметной области, который конструирует ситуационный вектор (проблема - прецеденты её решения), описывающий

лингвистическими переменными решаемую задачу до глубины, на которой возможно использование каждого прецедента при различных реализациях проблемы. В статье [24] формальными элементами механизма являются ситуационный вектор, матрица знаний с учётом предыдущего успешного опыта использования прецедента и описание оперативно реализовавшейся задачи заданного типа количественными значениями координат (проблема – прецеденты её разрешения). Результатом работы механизма вывода по прецеденту является ранжирование по приоритету прецедентов, прецедент же с наивысшим приоритетом будет рекомендован для разрешения возникшей проблемы. В источнике [26] приведён пример использования механизма вывода по прецеденту во фрагменте базы знаний БОСЭС ТС «Ввод группы в воздушный бой».

4. Алгоритм поиска оперативного решения проблемы численными методами оптимизации. Метод имеет серьёзные недостатки: требование тщательной математической постановки задачи и повышенные требования к бортовым вычислительным ресурсам; пример его использования описан в [27].

Согласно данным из статьи [19], разработка практически значимых БОСЭС ТС началась в конце 80-х годов прошлого века в Израиле, США и СССР, наибольшее развитие по итогу получили БОСЭС ближнего и дальнего воздушных боёв, ввода группы летательных аппаратов в воздушный бой и БОСЭС выбора аэродрома посадки в незапланированных условиях, используемая в США некоторых самолетах. В той же статье [19] приведён и состав ожидаемых БОСЭС ТС самолётов-истребителей 5 и следующих поколений.

В материалах статьи [22] продемонстрирована работа совокупной работы бортовых интеллектуальных систем тактического уровня: автор рассмотрел несколько реально произошедших случаев вынужденной посадки самолёта на воду и показал, как бы в этих случаях повели бы себя условно установленные на борту БОСЭС оперативного целеполагания и типовых ситуаций полёта.

2.5 Комплекс бортового оборудования летательного аппарата

Как цифровые вычислительные системы КБО появились лишь в 60-х годах прошлого века, как указано в источниках [28–30], и с тех пор претерпевают постоянную трансформацию в архитектуре аппаратного обеспечения, получили многочисленные улучшения в плане увеличения функциональных возможностей, новый интерфейс. Благодаря развитию КБО степень автоматизации процесса полета возросла настолько, что от пилота иногда требуется лишь наблюдение за полетом.

Выделяют три основных типа архитектур КБО, описанных в [29]:

1. Независимая.
2. Федеративная.
3. Интегральная модульная.

Эволюция КБО началась с независимой архитектуры (первого типа) – такой организации структуры авионики, в которой сама КБО состоит из нескольких независимых систем, каждая из которых имеет свои датчики, устройства вычисления, индикаторы и пульты управления. Между собой их связи минимальны и представляются как соединения «приемник-источник». КБО первого типа были созданы на базе технологии механических вычислителей, что сейчас является устаревшей технологией. Вычислители обладают рядом минусов, описанных в [29] на сегодняшний день:

1. Функции в них заложены на конструктивном уровне, поэтому при попытке изменения назначения вычислителя его необходимо будет перестраивать.
2. Реализация математических функций в электромеханике является очень ресурсоемкой в плане памяти задач.
3. Сильно ограничена скорость вычислений.
4. Низкий срок эксплуатации.
5. Необходимость в регулярном техническом обслуживании.
6. Для детекции неисправностей потребуются более квалифицированные специалисты.

У архитектуры первого типа на порядок меньше плюсов, согласно [29] – одно из преимуществ это независимость систем внутри КБО: так, при выходе из строя одной из них остальные продолжают исправно работать, помимо этого системы с такой архитектурой невосприимчивы к воздействию электромагнитного излучения.

В материале [29] говорится о том, что с появлением полупроводниковых электронных компонентой КБО начали приобретать черты, присущие современным комплексам, поскольку стало возможным использование цифровых технологий. В тот период сформировалось понятие бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ) [29], которые в свою очередь стали предметом разработок крупнейших предприятий мира. Работы были направлены на создание двух типов вычислителей: универсальные и специализированные. Специализированные применялись в системах функциональных модулей с высокой вычислительной нагрузкой. В материале [29] описана разработка БЦВМ, она также была направлена на создание средств обмена информацией между системами, что позволяло избавиться от дублирования функций,

а также на создание программного обеспечения. Несмотря на развитие БЦВМ к середине 70-х годов появилась необходимость в вычислительных машинах, которые могли выполнять сложные задачи в составе систем автоматизированного управления войсками, сложных авиационных радиоэлектронных комплексах и т.д. Таким образом из-за уникальности БЦВМ, трудоемкости производства и стоимости разработки построение КБО первого типа продолжалось до середины 70-х годов и привело к созданию федеративной архитектуры, которая согласно приведенной в [29] и [30] информации стала приемником независимой.

Главная особенность федеративной архитектуры состоит в том, что в ее основе находится несколько полунезависимых систем, которые объединены мультиплексными каналами обмена данных или другими системами связи. Это обеспечивает возможность общего доступа систем к общим ресурсам (датчики, индикаторы и пульта управления). Как указано в статье [29] федеративная структура является промежуточным звеном между независимой архитектурой и ИМА.

В работе [28] содержится информация о режиме работы КБО с федеративной архитектурой - он характеризуется набором функциональных задач (программ), для каждой из которых задаются требования к ее выполнению в режиме реального времени. Так для каждой программы задаются частота F ее выполнения и фазовые сдвиги. Частота определяет совокупность интервалов времени выполнения программы, длительность которых равна ее периоду. Фазовые сдвиги задают время внутри каждого интервала, в рамках которого программа обязательно должна быть выполнена.

В комплексах бортового оборудования реализованы три уровня обработки данных, перечисленные в [28]: предобработка, первичная обработка и вторичная обработка. Чтобы обеспечить выполнение программ в режиме реального времени необходима производительность на уровне первичной обработки данных. В КБО с федеративной архитектурой каждая подсистема выполняет свои функциональные задачи и имеет свой вычислитель для первичной обработки данных, который соединяется с источниками/приемниками устройств подсистемы локальной сетью. Для обеспечения производительности, необходимой для выполнения программ в режиме реального времени, применяются специализированные вычислительные модули.

Федеративная КБО обладает следующими минусами, которые можно выделить в материале [29]:

1. Аналогично независимой изменение функционального назначения невозможна без изменения состава АО.

2. Увеличение функциональности прямо пропорционально массогабаритным характеристикам.
3. Количество систем очень велико, что приводит к снижению уровня надежности и стоимости разработки.
4. Трудоемкость разработки.
5. Сложность согласования работы систем между собой.
6. Восприимчивость к электромагнитному излучению.

Однако она имеет на порядок больше плюсов в сравнении с независимой архитектурой, согласно статье [29]:

1. Системно-ориентированный принцип построения функциональной архитектуры КБО позволяет эффективно выполнять функции комплекса при помощи специализированных систем.
2. Функциональные подсистемы и системы КБО территориально распределены на борту ВС и имеют связь с общими ресурсами комплекса и друг с другом при помощи стандартных информационных соединений.
3. Каждая система имеет внутренний контроль работоспособности, что позволяет централизованно формировать данные о неисправностях КБО. Это обеспечивает лёгкость процесса детектирования поломок комплекса.
4. Стало возможным незначительное изменение их функций без вмешательства на аппаратном уровне.

Сокращение издержек на проектирование и создание КБО второго типа проблематично из-за того, что унификация происходит на уровне подсистем, из-за чего программные и аппаратные средства некоторой подсистемы недоступны разработчикам других подсистем и системному интегратору. Поэтому, как указано в материале [30] рост числа подсистем, стоимость создания и обслуживания повлекли за собой необходимость создания новой более универсальной системы. Но даже несмотря на это федеративная архитектура используется и до сих пор: в статье [29,30] есть информация о том, что БЦВМ разных поколений с этой структурой применялись на ТУ-154, ИЛ-96, Боинг 737 и СУ-25, которые находятся в эксплуатации и по сей день.

В источнике [31] описана интегрированная модульная авионика - наиболее перспективное направление развития КБО. На этом принципе построены бортовые комплексы таких современных самолетов как Боинг 787, Эирбас А380, американский истребитель F-35, а также один из самых известных отечественных истребителей СУ-57.

АО комплекса представлено группой датчиков, индикаторов, сигнализаторов и единым вычислительным блоком – крейтом (так его называют в статье [30]). Функции реализованы в качестве программных приложений, разделяющих общие вычислительные ресурсы крейта. В основе концепции ИМА соответственно лежит открытая сетевая архитектура и единая вычислительная платформа, согласно [32]. Таким образом, осуществляется интеграция и обобщение ресурсов как программного, так и аппаратного обеспечения на платформе ИМА. По сравнению с федеративной архитектурой переход к концепции ИМА позволяет существенно снизить весовые и стоимостные характеристики бортового оборудования ВС.

Концепция ИМА подразумевает полную централизацию вычислительных функций КБО на одном вычислительном ядре, согласно информации в [32]. Всё оставшееся оборудование комплекса располагается любым образом, отвечающим условиям эргономики кабины ЛА. Среди этого оборудования: пульта управления, комплект датчиковой аппаратуры, комплект радиосвязного оборудования, комплект радионавигационного оборудования и прочее оборудование в кабине пилота. Разграничение крейта и периферийного оборудования приводит к тому, что отказ функции комплекса становится возможен в случае неисправности непосредственно самого периферийного оборудования, линии передачи данных или крейта, согласно [31]. Учитывая высокие показатели надёжности каждого из этих элементов, получается, что вероятность отказа функции в КБО третьего типа меньше, чем в КБО других типов, к тому же эти улучшения приводят к повышению удобства и невысокой стоимости сервисного обслуживания. Отказ конкретной функции не влечет за собой замену всей системы в целом, а требует лишь замены сломавшегося периферийного оборудования, благодаря чему стоимость обслуживания и ремонта КБО снижается, что указано в источнике [31]. Исключительная особенность КБО третьего типа заключается в свойстве независимости ПО и АО, благодаря чему становится возможной реконфигурация КБО (вследствие реконфигурации можно добиться снижения стоимости АО, не потеряв уровень надёжности и вероятно даже повысив уровень безотказности. Благодаря открытой архитектуре появилась возможность включать новые функции КБО без влияния на уже работающие, а также замены устаревших модулей или включения дополнительных.

Важным компонентом интегральной модульной архитектуры является операционная система реального времени, которую авторы [32] называют «разделяющим слоем» между АО и ПО. Роль этого слоя выполняет ОСРВ - операционная система реального времени. Она предусматривает стандартный набор интерфейсов и услуг для приложений – программ, выполняющих ту или иную функцию. Каждое приложение выполняется в своей собственной среде, на своей собственной виртуальной машине, при этом доступ к общим разделяемым

ресурсам для данного приложения строго ограничен. Приложение работает автономно и не имеет доступа к информации о разделении ресурсов процессора.

Это необходимо для возможности одновременного запуска приложений различных уровней критичности на одном процессоре. К разделяемым ресурсам АО относятся [30]: память, процессорное время и сетевые ресурсы. Первичное распределение ресурсов происходит при начальной инициализации, которая следует после включения комплекса. Любая попытка нарушить установленные границы любого из ресурсов вызывает обращение к ядру операционной системы и инициирует процедуру восстановления. Наряду с независимостью АО и ПО обеспечивается независимость ПО от физического интерфейса и топологии сети.

Основной недостаток КБО третьего типа – трудоемкость создания ПО, согласно [31]. В то же время, существующие КБО на архитектуре ИМА далеки от идеальных представлений, в связи с трудностью решения некоторых проблем, а в отдельных случаях это не представляется возможным.

Таким образом, острая необходимость в автоматизации рабочих процессов, процессов управления ВС, анализа показаний и неполадок привели к необходимости создания новых мощных БЦВМ, которые будут эффективны, универсальны, удобно в эксплуатации и недороги в разработке, а также будут способны решать тяжелые вычислительные задачи. В [31] говорится, что это оказывается возможным только при наличии общего интеллектуального ядра, который связывает все системы друг с другом, но при этом может рассматривать их как отдельные компоненты, которые с легкостью можно заменить или просто добавить новые.

В источниках [28–30] говорится о том, что КБО является одной из самых важных систем самолета, т.к. увеличивает интеграцию с управляемым объектом, создает возможность ограниченного участия оператора, непрерывное функционирование всех систем в реальном времени, обладая при этом высокой надежностью и отвечает требованиям к ограниченным массогабаритным характеристикам. Благодаря КБО возможны: управление радиотехническими системами, сводка информации для пилота – пилотажная, навигационная, обзорная информация, информация о функционировании бортового оборудования, его отказах, неисправностях, рекомендаций по избежанию некоторых ситуаций и решения неисправностей, а также контроль за техническим состоянием бортового оборудования

3 Внебортовые интеллектуальные системы

3.1 Система интеллектуальной поддержки авиаспециалистов при техническом обслуживании систем и оборудования самолёта

Интеллектуальные системы, используемые в авиации применяются не только на борту ЛА в процессе выполнения полетного задания, но и на земле. В источниках [33–35] рассмотрен один из примеров такого использования – экспертная система интеллектуальной поддержки авиаспециалистов при техническом обслуживании систем и оборудования самолёта. Согласно [33], целью создания такой экспертной системы является получение интеллектуальной поддержки при анализе причин возникновения неисправностей в оборудовании самолёта и выдача рекомендаций по их устранению за счёт использования знаний экспертов авиапредприятий. Логические выводы из имеющихся в базе знаний делаются на основе продукционного механизма, причём в экспертную систему входят модули обеспечения интерфейса для правильной передачи ответа пользователю и модуль, составляющий комментарии и пояснения к сделанному экспертной системой заключению и объясняющий, как именно это заключение было сделано.

Принцип работы системы описан в [34]: при возникновении каких-либо затруднений во время наземного технического обслуживания неопытный специалист обращается к ЭС за помощью, отвечая на вопросы системы через интерфейс оператора. Используя заполненную базу знаний, система генерирует и выдаст пользователю рекомендации с локализацией отказавшего элемента в электросхеме самолета, объясняя при этом ход своих рассуждений при помощи модуля объяснений, с указанием степени уверенности эксперта. База знаний в данной системе, как указано в [34], заранее составляется специально обученными специалистами, также являющимися специалистами и в предметной области; также разработан механизм, позволяющий пополнять базу знаний для поддержки её в актуальном состоянии как с помощью человека (в [33] это названо «интерфейс когнитолога»), так и автоматически, используя в качестве источника знаний нормативно-техническую документацию. Применение такой экспертной системы, согласно [33], позволит сократить временные (в 2-5 раз) и финансовые затраты и задействованный высококвалифицированный персонал, повысить квалификацию работников и повысить качество документально сопровождения самолёта средствами экспертной системы. В материалах [33–35] проиллюстрирована структура экспертной системы и приведены отрывки её базы знаний.

3.2 Интеллектуальные системы диагностики летательных аппаратов

Как указано в статье [36] внедрение новейших технологий способствует развитию систем диагностики летательных аппаратов (ЛА) и позволяет повысить их надежность и безопасность. Происходит смена периодической системы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) на систему обслуживания по фактическому состоянию ЛА и оптимизация их эксплуатации. Актуальным является переход от систем мониторинга к системам управления техническим состоянием (HMS, health management system), которые прогнозируют отказы, изменяют характеристики и параметры электрооборудования ЛА и автоматически составляют последовательность работ по ТО и Р. При этом основными требованиями к подобным системам являются повышенное быстродействие, точность и малые массогабаритные параметры, что сказано в источнике [36].

В статье [36] приведен небольшой обзор таких систем, так компания Acellent Technologies (США) разработала интегрированную систему диагностики конструкций ЛА, которая включает сеть ультразвуковых датчиков, контроллера и блока-анализатора и конструктивно выполнена в виде тонкой пленки с интегрированными в нее ультразвуковыми модулями. В пассивном режиме работы модули записывают собственные колебания детали, а система на основании полученных данных дает заключение о состоянии детали из композиционного материала. В активном режиме работы модули по очереди переводятся в режим излучения. Определение состояния детали и полученных ей повреждений производится путем сравнения с эталонными данными, получаемыми при первой активации диагностической системы.

Также в материале [36] описывается система, которая разработана совместно с европейскими компаниями Airbus, Invent и FACC. В этой системе при проведении диагностики в композитной конструкции срабатывают ультразвуковые излучатели, а их сигнал принимают датчики. Если в структуре композиционного материала есть повреждение, оно будет отклонять ультразвук или задерживать его прохождение, по изменениям в прохождении ультразвуковых волн в композите оцениваются и локализовываются повреждения.

Заключение

В этой работе рассмотрена история развития интеллектуальных систем в авиации, и хотя различные ЛА и их системы существуют уже относительно долго, интеграция их с интеллектуальными системами началась не так давно. Этот факт подтверждает история развития архитектуры КБО.

Были рассмотрены интеллектуальные системы управления автономных БПЛА, которые как уже существуют, так и созданы пока только в теории, системы управления БПЛА в составе группы, основанные на различных методах и с системой ситуационной осведомленности.

Следующим пунктом были рассмотрены бортовые интеллектуальные системы, а конкретно концептуальная модель антропоцентрического объекта «Этап» и архитектуры входящих в неё классов интеллектуальных систем:

Интеллектуальные системы I-ГЛУУ, интеллектуальная информационная система «Ситуационная осведомлённость экипажа», бортовая оперативно советующая экспертная система оперативного целеполагания и бортовая оперативно советующая экспертная система типовой ситуации функционирования.

Помимо этого, была рассмотрена внебортовая интеллектуальная экспертная система, предназначенная для помощи авиаспециалистам в поиске и устранении неполадок в состоянии летательного аппарата и обучения молодых специалистов, а также представлен краткий обзор систем диагностики ЛА.

Можно сделать вывод, что интеллектуальным системам в авиации предстоит еще долгий путь для уменьшения роли человека в задаче принятия решений чтобы в будущем предоставить ИС обработку сложных логических решений.

Список источников

1. Капустин А., Бунас К. [Искусственный интеллект в авиации](#) // Наука и инновации. 2019. № 9 (199). С. 21–22.
2. Лукашов А.М. и др. [Развитие технологий искусственного интеллекта в интересах создания интеллектуальных боевых систем](#) // Военная мысль. 2021. № 6.
3. Макаров Д.А., Панов А.И., Яковлев К. [Архитектура многоуровневой интеллектуальной системы управления беспилотными летательными аппаратами](#) // Искусственный интеллект и принятие решений. 2015. № 3. С. 18–33.
4. Журавлев Д.О. [Эволюция систем управления беспилотных летательных аппаратов: от появления до наших дней](#) // Достижения и перспективы современной науки: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. 2017. С. 57–87.
5. Долгов Е.Н. [Искусственный интеллект для управления летательными аппаратами](#) // Молодой ученый. 2021. № 16 (358). С. 81–86.
6. Попов В.Г., Галиаскаров Д.Ф., Рыбаков Д.К. [Актуальность интегрированных интеллектуальных систем в задачах управления беспилотным летательным аппаратом](#) // Научный электронный журнал «Меридиан». 2021. № 3 (56). С. 136–138.
7. Осипов Г.С. и др. [Интеллектуальное управление транспортными средствами: стандарты, проекты, реализации](#) // Авиакосмическое приборостроение. 2009. № 6. С. 34–43.
8. Инсаров В.В. [Концепция построения интеллектуальных систем управления автономных беспилотных летательных аппаратов с реализацией функции ситуационной осведомленности](#) // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018. Т. 19, № 2. С. 111–119.
9. Хачумов М.В. [Управление группой беспилотных летательных аппаратов, основанное на производственных правилах](#) // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики. 2014. С. 249–254.
10. Амелин К.С. и др. [Адаптивное управление автономной группой беспилотных летательных аппаратов](#) // Стохастическая оптимизация в информатике. 2009. Т. 5. С. 157–166.
11. Максимов Д.Ю. [Управление группой беспилотных летательных аппаратов с помощью многозначной логики](#) // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2019). 2019. С. 620–626.

12. Гайнуллин И.А., Рогалев А.П. Построение нечетких баз знаний ситуационных систем интеллектуальной поддержки решения задач авиационных бортовых комплексов // Авиакосмическое приборостроение. 2007. № 2. С. 57–66.
13. Буренок В.М. О перспективах развития вооружения, военной и специальной техники на основе опыта специальной военной операции // Вооружение и экономика. 2024. № 2 (68). С. 5.
14. Юков М.С. Бортовые автоматические системы управления // Международный студенческий научный вестник. 2020. № 6. С. 12.
15. Федун Б.Е. Модель «Этап» для разработки облика бортовых интеллектуальных систем антропоцентрических объектов // Онтология проектирования. 2012. № 2 (4).
16. Федун Б.Е. Бортовые оперативно-советующие экспертные системы – новый класс алгоритмов управления // Четырнадцатая международная конференция «Knowledge-Dialogue-Solution». 2008. С. 123–132.
17. Колисниченко А.В., Федун Б.Е. Бортовая интеллектуальная информационная система «Ситуационная осведомленность экипажа вертолета» // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. Т. 17, № 10. С. 703–708.
18. Грибков В.Ф., Федун Б.Е. Бортовая интеллектуальная информационная система «Ситуационная осведомленность экипажа боевых самолетов» // Труды ГосНИИАС. Серия: Вопросы авионики. 2010. № 1 (19). С. 3–21.
19. Федун Б.Е. Бортовые оперативно советующие экспертные системы тактического уровня для пилотируемых летательных аппаратов - объекты разработки и эксплуатации // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием : Труды конференции. 2016. Т. 3. С. 212–219.
20. Федун Б.Е. Интеллектуальные агенты в базах знаний бортовых оперативно советующих экспертных системах типовых ситуаций функционирования антропоцентрического объекта // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2019. № 6. С. 90–102.
21. Желтов С.Ю., Федун Б.Е. Оперативное целеполагание в антропоцентрических объектах с позиции модели «Этап» // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014: Труды конференции. 2014. Т. 2. С. 31–44.

22. Федунов Б.Е. Бортовые интеллектуальные системы тактического уровня: состав, назначение, использование в рейсах пассажирских самолётов, завершившихся вынужденной посадкой на воду // Семнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2019: Труды конференции. 2019. Т. 1. С. 51–65.
23. Федунов Б.Е. Интеллектуальные системы тактического уровня: состав, базы знаний // Восемнадцатая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2020 : Труды конференции. 2020. С. 87–94.
24. Федунов Б.Е. Бортовые оперативно-советующие экспертные системы типовых ситуаций и семантический облик их баз знаний // Известия ЮФУ. Технические науки. 2003. № 2.
25. Козловских Б.Д., Федунов Б.Е. Нормативно-техническая документация при разработке БОСЭС // Стандартизация и унификация АТ. Вопросы авиационной науки и техники. Журнал НИИСУ. 1995. № 1-2.
26. Федунов Б.Е., Шестопалов Е.В. Оболочка бортовой оперативно советующей экспертной системы для типовой ситуации полета «Ввод группы в воздушный бой» // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2010. № 3. С. 88–105.
27. Демкин М.А., Тищенко Ю.Е., Федунов Б.Е. Базовая бортовая оперативно советующая система для дуэльной ситуации дальнего воздушного боя // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2008. № 4. С. 59–75.
28. Костенко В.А. Архитектура программно-аппаратных комплексов бортового оборудования // Приборостроение. 2017. № 3.
29. Хакимов Д.В., Киселев С.К. Историческое развитие и современное состояние комплексов бортового оборудования летательных аппаратов // Вестник УлГТУ. 2017. № 2 (78). С. 54–59.
30. Хакимов Д.В., Киселев С.К. Историческое развитие и современное состояние комплексов бортового оборудования летательных аппаратов (Окончание) // Вестник УлГТУ. 2017. № 3 (79).
31. Чуянов Г.А., Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И. Перспективы развития комплексов бортового оборудования на базе интегрированной модульной авионики // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 3 (140).
32. Федосов Е.А., Косьянчук В.В., Сельвесюк Н. Интегрированная модульная авионика // Радиоэлектронные технологии. 2015. № 1. С. 66–71.

33. Перфильев О.В., Липатова С.В. Концепция экспертной системы анализа причин неисправностей самолёта Ту-204 и его модификаций // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. № 4-4.
34. Перфильев О.В. Экспертная система интеллектуальной поддержки авиаспециалистов при техническом обслуживании систем и оборудования самолёта // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. № 1-5.
35. Перфильев О.В., Молозин А.В. Формирование базы знаний при разработке экспертной системы технического обслуживания систем самолета // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. № 6-2.
36. Пашали Д.Ю., Юшкова О.А. Интеллектуальные системы диагностики летательных аппаратов // Электротехнические комплексы и системы. 2016. С. 140–143.