

ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ — ЭЛЕКТРОННЫЕ КОНСУЛЬТАНТЫ ЛЕТЧИКА

[современное состояние, проблемы, перспективы]

К. т. н. Бочкарев А. М., к. т. н. Почуев С. И.

ВВЕДЕНИЕ

1. ОСОБЕННОСТИ БОРТОВЫХ ЭС

Экспертные системы (ЭС), которые, по-видимому, можно отнести к наиболее практическим достижениям в области искусственного интеллекта, получили в настоящее время достаточно широкое распространение. Достаточно упомянуть, например, «классические» ЭС, обеспечивающие решение задач в области медицины [1], химии [2] и геологии [3].

В авиационной радиоэлектронике тенденция использования результатов прикладных разработок в области ЭС усилилась в начале 80-х годов. Так, в [4, 5] анализируются вопросы применения ЭС для диагностики и оценки технического состояния самолета и его бортового оборудования, в [6] предлагается оригинальный подход к решению задач распознавания целей на основе использования функций доверия, в [7] рассматривается бортовая ЭС планирования маршрутов, в [8] определены принципы построения ЭС для решения задач борьбы с подводными лодками, в [9] рассматривается возможность комплексирования с помощью ЭС информации от бортовых датчиков различной физической природы.

Наиболее крупной программой, выполняемой рядом ведущих авиационно-космических фирм США совместно с военновоздушными силами (ВВС), является программа создания бортовой ЭС Pilot's Associate — электронный консультант летчика (ЭКЛ) [10—14]. Данная программа предусматривает анализ требований и обоснование облика ЭС ЭКЛ, а также их создание и испытание на образцах военной авиационной техники.

Облик любой ЭС в большой степени определяется областью и условиями, в которых она используется. Цель настоящего обзора — дать представление о прикладных проблемах и перспективах развития бортовых ЭС ЭКЛ, ориентированных на использование в реальном масштабе времени (РМВ).

Бортовые ЭС относятся к классу систем, работающих в РМВ. Как отмечается в [15], имеется ряд определений понятия РМВ, однако все они даны на интуитивном уровне и допускают весьма вольное толкование. Например, под системами, работающими в РМВ, понимаются системы, обеспечивающие быструю обработку информации, или решающие задачу быстрее, чем человек, или реагирующие на поступающую информацию со скоростью ее поступления. Важнейшим параметром систем РМВ является время реакции, т. е. время, необходимое системе для распознавания внешнего воздействия и формирования соответствующего отклика. В [16] применительно к ЭС предлагается считать, что она работает в РМВ, если гарантированно обеспечивается время реакции, не превышающее заданное. Причем время реакции определяется условиями задачи. Так, в ЭС ЭКЛ фирмы Lockheed время реакции при определении значимости цели составляет 0,5 с, а при оценке угроз — 0,1 с.

Функционирование ЭС в РМВ характеризуется рядом особенностей.

Работа с неполной, неточной и устаревающей информацией. Входные данные, получаемые ЭС от датчиков, и выдаваемые ею заключения не остаются неизменными. Достоверность получаемой информации уменьшается с течением времени, в связи с изменением состояния объекта управления под воздействием внешних факторов, со снижением качества работы датчиков. Поэтому в ЭС ЭКЛ должны быть предусмотрены средства для работы в условиях неполноты и неопределенности данных.

Отказоустойчивость (живучесть). Работа ЭС не должна прекращаться из-за выхода из строя одной или нескольких информационных подсистем бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) или отдельных элементов самой ЭС.

Возможность адаптивной реакции на незапланированные события. Значительная

часть процесса функционирования ЭС и РМВ происходит по заранее намеченной программе. Однако должны предусматриваться средства прерывания заданной программы после получения информации о незапланированных событиях. Система должна обеспечивать оценку значимости событий и сосредоточивать свои ресурсы на информации о наиболее важных событиях, прервав или отложив на некоторое время обработку менее важной информации.

Ориентация на информацию от технических систем. В отличие от традиционных ЭС, работающих со статической предметной областью, бортовая ЭС ЭКЛ должна получать основной объем информации не от человека — оператора, а от датчиков БРЭО.

Использование псевдофизических логик. ЭС РМВ должна, прежде всего, обеспечивать возможность временных рассуждений, т. е. оперировать с событиями прошлого, настоящего, будущего и их взаимосвязями.

Гарантированное время реакции. Должно обеспечиваться получение рекомендаций (в общем случае с оценкой их достоверности) за заданное время, которое можно варьировать.

Интеграция бортового матобеспечения. Необходимым условием эффективного функционирования ЭС ЭКЛ является интеграция «традиционного» матобеспечения БРЭО (сжатие данных, обработка сигналов, выделение характерных признаков, спецификация задач ввода-вывода) с эвристическим матобеспечением ЭС.

Дифференциация функций ЭС и экипажа. Рекомендации ЭС ЭКЛ непосредственно автоматически (автоматизированно) используются в контуре управления самолетом и его оборудованием. Это делает необходимым четкое разграничение функций экипажа и ЭС ЭКЛ, а также решение соответствующих вопросов, связанных с ответственностью за принимаемые решения.

2. НАЗНАЧЕНИЕ БОРТОВЫХ ЭС И РЕШАЕМЫЕ ИМИ ЗАДАЧИ

Увеличение объема информации, получаемой бортовыми датчиками, возросшие требования к точности и быстродействию систем обработки данных, необходимость принятия тактических решений за минимальное время, что характерно для современных боевых самолетов, выдвигают перед экипажем задачи, решение которых часто превышает психофизиологические возможности человека. Одним из подходов, на-

правленных на повышение степени автоматизации управления самолетом, его БРЭО и вооружением, является использование ЭС ЭКЛ. В табл. 1. приведен ряд бортовых ЭС, разрабатываемых в настоящее время, с указанием решаемых ими задач [10, 11, 22]. Отметим, что термин «ЭС ЭКЛ», используемый в настоящей статье, с точки зрения общего функционального назначения ЭС применим практически ко всем перечисленным в табл. 1 системам. Вместе с тем каждая из этих систем имеет особенности построения, связанные с формой представления знаний, механизмом построения заключений и организацией интеллектуального интерфейса.

Рассмотрим несколько подробнее задачи, решаемые ЭС ЭКЛ CSIM (Crew Station Manager — менеджер информации для экипажа) [17], разрабатываемой в рамках программы Pilot's Associate. Данная ЭС предназначена для автоматизации взаимодействия экипажа с БРЭО самолета. Система выполняет три основные функции:

управление количеством и номенклатурой информации, на которую в данный момент должен реагировать летчик;

прогнозирование решений, которые должны быть приняты, и синтез информации, необходимой для принятия этих решений; выбор из имеющихся наиболее подходящего формата воспроизведения информации.

В процессе функционирования система CSIM принимает от систем БРЭО информацию, касающуюся выполняемой боевой задачи. Например, фиксируются новые угрозы со стороны средств ПВО, появление новых целей и т. п. В соответствии с каждым событием прогнозируются требования к составу и объему информации, представляемой экипажу, а также способу передачи информации (например, индикация на лобовом стекле или синтезированное речевое сообщение). Затем прогнозируются возможные управляющие действия экипажа.

Как видно из табл. 1, номенклатура задач, которые в принципе могут решаться ЭС ЭКЛ различного назначения, весьма широка. Поэтому при определении областей применения бортовых ЭС важно не столько перечислить эти задачи, сколько выделить классы задач, для которых применение ЭС в настоящее время считается наиболее оправданным. К таким классам относятся задачи предсказания и классификации, предполагающие большое число возможных ответов, многопараметрические задачи, для которых трудно (невозможно) определить соответствующие строгие аналитические за-

Бортовые ЭС

Наименование	Назначение ЭС	Решаемые задачи	Разработчик, фирма	Состояние разработки
EPES	Оценка аварийной ситуации	Оказание помощи летчику при отказах БРЭО	Технологический институт ВВС США	Опытный образец 1986 г.
MAPA	Планирование атаки наземной цели	Планирование маршрута и обеспечение атаки	ВВС США	Разрабатывается с 1983 г.
ММРА	Автоматизация решения боевых задач	Планирование боевых задач и организация работы БРЭО	ВВС США	Разрабатывается с 1985 г.
РА	Автоматизация управления БРЭО	Определение состояния БРЭО, оценка обстановки, планирование боевых задач, оценка эффективности решения боевых задач, управление силовой установкой	Boeing Mil. Air. Adv. Decis. Systems	Разрабатывается с 1986 г.
KBS	Оценка и логическое объединение информации	Контроль и управление БРЭО, автономная навигация, оценка угрозы	ВВС США Grumman	Разрабатывается с 1986 г. для самолета F-16
TTDDBM	Определение типов целей и степени их опасности	Определение приоритетов целей по данным БРЭО и внешних информационных систем	ВВС США	Разрабатывается с 1983 г.
SM	Управление датчиками БРЭО	Выбор режимов работы БРЭО с учетом выполняемой задачи и состояния систем	ВВС США	Разрабатывается с 1983 г.
RIFCS	Управление аэродинамическими поверхностями самолета	Оптимизация положения аэродинамических поверхностей	Mc. Donn. Aircraft	Разрабатывается с 1983 г.
Pedro	Техническое обслуживание систем навигации и управления оружием	Обнаружение отказов, устранение неисправностей на земле и в воздухе	Dasso — Breguet	Разрабатывается с 1986 г. для самолета F-1 «Мираж»
AIMES	Техническое обслуживание БРЭО	Сбор и обработка данных в полете и на земле	Mc. Donn. Aircraft	Летные испытания на самолете F/A-18 в 1986 г.
ATNS	Тактическая навигация	Реконструкция БРЭО при отказах систем	Mc. Donn. Aircraft	Разрабатывается с 1983 г.

висимости, задачи, для решения которых требуется длительная профессиональная подготовка и, наконец, задачи обработки недостоверной информации.

В табл. 2 в качестве примера представлены количественные результаты экспертной оценки целесообразности решения ряда задач, относящихся к перечисленным классам, с помощью ЭС ESPA (Expert System Pilot Aid — экспертная система оказания помощи летчику) [18]. Оценка проводилась по совокупности критериев по

трехбальной шкале. Задачи, характеризующиеся максимальным числом баллов (табл. 2), в основном относятся к классу задач предсказания и классификации. Субъективное предпочтение экспертов, отданное данному классу, объясняется, по-видимому, лучшей структурированностью предметной области и наличием обширных экспертных знаний.

Необходимо отметить, что при выборе конкретных задач для бортовых ЭС полезными могут оказаться критерии, приведенные в табл. 3 [19].

Таблица 2

Результаты экспертной оценки областей применения системы

Решаемые задачи	Критерии						Общее число баллов
	Ценность помощи в бою	Простота реализации	Простота контроля	Доля вклада	Степень применимости искусственного интеллекта	Унификация	
Доставка оружия	3	1	2	2	3	1	12
Аварийные процедуры	3	2	2	2	3	3	15
Контроль систем	1	3	3	3	1	3	14
Навигация	1	1	2	1	3	2	10
Распознавание целей	2	0	1	3	3	1	10
Управление средствами радио-электронной борьбы	3	1	1	2	3	1	11
Управление средствами связи	2	2	2	1	3	2	12
Анализ угрозы	3	1	1	1	3	1	10

Таблица 3

Функциональные критерии, используемые при выборе задач для ЭС

Разработка ЭС возможна	Разработка ЭС оправдана	Разработка ЭС целесообразна
Решение задачи не требует обращения к «здоровому смыслу»	Решение задачи имеет высокую значимость	Решение задачи предполагает символьную обработку
Для решения задачи необходимы только когнитивные навыки	Отсутствуют квалифицированные эксперты	Задача требует эвристических решений
Эксперты могут четко изложить используемые методы	Требуется экспертиза в сложных (враждебных) условиях внешней среды	Задача не очень проста Задача имеет практическое значение
Эксперты единодушны относительно решения задачи		Задача имеет конечную приемлемую размерность
Задача не очень сложная	Предполагается массовое тиражирование ЭС	

3. СОСТАВ И СТРУКТУРА БОРТОВЫХ ЭС

Являясь составной частью БРЭО самолета ЭС ЭКЛ в общем случае включает в свой состав (рис. 1): базу знаний, дедуктивную машину, подсистему сбора знаний и учебно-консультационные средства [20]. ЭС ЭКЛ работает в тесном взаимодействии с другими программами и базой данных бортового вычислительного комплекса, которая, как отмечается в [21], содержит элементы, зависящие от времени. В базе знаний хранится информация о предметной области (правила, условия и т. п.). Под дедуктивной машиной (машиной логического вывода)

да) понимаются программы обращения к базе знаний, преобразующие ее и вырабатывающие рекомендации, советы или команды управления. Подсистема сбора знаний также представляет собой соответствующее программное обеспечение и предназначена для модификации и сопровождения эксплуатации базы знаний. Данная подсистема может содержать, по-видимому, как бортовую, так и наземную части [5]. Наконец, средства обучения (пояснения) используются для обеспечения интерактивности процесса общения экипажа с ЭС. Взаимодействие перечисленных подсистем как внутри самой ЭС, так и с другими элементами

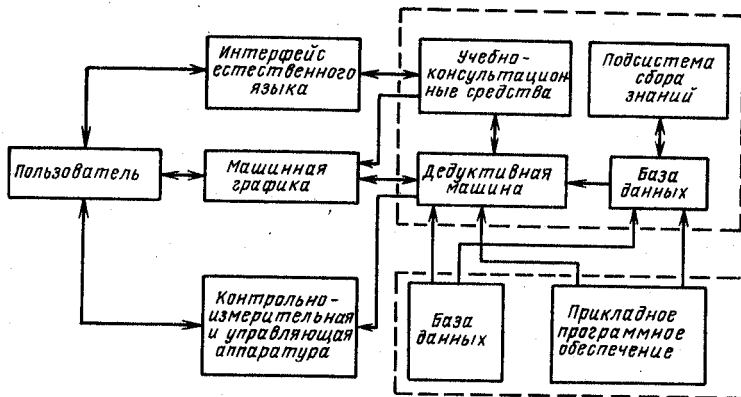


Рис. 1. Состав типовой ЭС и ее взаимодействие с пользователем и вычислительным комплексом

БРЭО обеспечивается соответствующими интерфейсами. На рис. 2 приведен вариант структурной схемы ЭС ЭКЛ, предложенной [2] фирмой Grumman. Данная схема предусматривает использование в составе ЭС ЭКЛ ряда функциональных экспертных подсистем (контроля состояния БРЭО, анализа угроз, глобального и локального планирования выполнения задачи). Взаимодействие между функциональными ЭС обеспечивается с помощью унифицированного интерфейса типа классная доска (blackboard), являющегося, по сути дела, общей памятью, в которой реализуется механизм логического вывода, основанный на порождении и проверке гипотез об аспектах решаемой задачи. Аналогичные концепции использования в составе ЭС ЭКЛ ряда взаимодействующих функциональных ЭС предлагаются также фирмами Boeing [13] и Systran [23].

В рамках программы BBC США Pilot's Associate предусматривается использование четырех экспертных подсистем.

Подсистема оценки обстановки предназначена для оценки внешних факторов, влияющих на выполнение боевой задачи. К этим факторам относятся характер местности, погодные условия, типы целей и характер противодействия противника, состояние самолета и наличие ресурсов, необходимых для выполнения боевой задачи.

Подсистема выбора тактических приемов предназначена для генерирования рекомендаций относительно тактики действий, выбора оружия, траектории полета, противодействия противнику в конкретной боевой обстановке. Подсистема производит ранжирование угроз и, в зависимости от степени срочности ответных действий, либо находится в режиме ожидания до тех пор, пока летчик не подтвердит правильность реко-

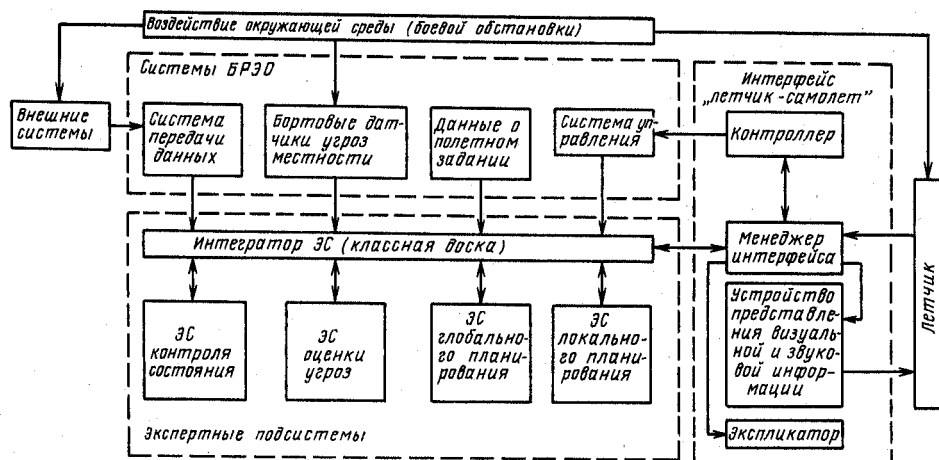


Рис. 2. Структурная схема ЭС ЭКЛ и ее взаимодействие с БРЭО

мендованных системой действий, либо инициирует их немедленное выполнение. В последнем случае летчик имеет возможность приостановить функционирование системы и взять управление на себя.

Подсистема корректировки полетного задания осуществляет адаптацию полетного задания на основе оценки текущей обстановки. В подсистеме производится сравнение предварительно подготовленных моделей полета с реальной обстановкой и оценивается влияние неожиданных событий.

Подсистема оценки состояния бортовых систем предназначена для контроля и диагностирования работоспособности ЭКЛ и всех бортовых систем самолета. Подсистема идентифицирует неисправные блоки и прогнозирует возможность отказа аппаратуры. Затем определяется способ компенсации неисправных блоков за счет нормально функционирующих.

Для прототипа истребителя YF-21A ATF фирма Lockheed разрабатывает ЭС ЕСОР (Electronic Copilot). Основными задачами системы являются оценка обстановки и опознание целей за пределами визуальной видимости. ЭС ЕСОР включает в себя следующие взаимосвязанные подсистемы.

Подсистема оценки обстановки предназначена для определения степени угроз и информирования летчика о приоритетных угрозах, например, пусках зенитных ракет. В составе данной подсистемы функционируют:

а) устройство опознания целей за пределами визуальной видимости, в устройстве имеется база данных по сигнатурам, летательных аппаратов (ЛА) противника;

б) устройство управления бортовыми датчиками (РЛС, ИК системами и др.) в соответствии с ограничениями, накладываемыми условиями выполнения боевой задачи на электромагнитные излучения, и приоритетностью целей.

Подсистема планирования (корректировки) полетного задания осуществляет сравнение предварительно составленной модели полета с действительными событиями, сопутствующими выполнению задания. В результате формируются варианты полетного задания, в частности с изменением маршрута полета с целью минимизации угрозы со стороны средств противника.

Подсистема выбора тактических приемов реагирует на внезапные изменения в условиях полета и выдает ранжированные варианты противодействия угрозам (в отдельных случаях выходные сигналы системы передаются непосредственно на исполнительные системы, минуя летчика).

Подсистема управления полетом обеспечивает совместное функционирование силовой установки и аэродинамических поверхностей с целью вывода ЛА в расчетную точку в определенное время с заданными полетными параметрами (скорость, высота), под управлением подсистемы выбора тактических приемов эта подсистема обеспечивает автоматическое маневрирование ЛА.

Взаимосвязь ЭС ЭКЛ с летчиком и бортовыми системами осуществляется с помощью интеллектуального интерфейса «летчик — самолет», для построения которого в полной мере использованы преимущества методов управления, индикации и автоматизации, применяемые в перспективной кабине [24—23], а также компьютерные модели поведения экипажа [26].

Контроллер интерфейса «летчик — самолет» (см. рис. 2) обеспечивает адаптивную оценку и выбор уровня автоматизации в зависимости от важности решаемой задачи и складывающейся ситуации. В принципе могут быть использованы следующие уровни взаимодействия в системе «летчик — самолет» [27]:

а) летчик анализирует альтернативные решения, принимает и выполняет решения;

б) ЭС предлагает несколько альтернативных решений, летчик может игнорировать их при принятии решения и его выполнении;

в) ЭС предлагает несколько альтернативных решений, летчик принимает и выполняет одно из них;

г) ЭС из ограниченного множества альтернативных решений предлагает одно, летчик может принять или отвергнуть его, принимает одно решение и выполняет его;

д) ЭС дает несколько альтернативных решений, предлагает одно, которое система будет выполнять, если летчик примет это решение;

е) ЭС принимает решение и информирует летчика, если необходимо прекратить выполнение решения;

ж) ЭС принимает решение выполняет его и информирует летчика о том, что решение выполнено;

з) ЭС принимает решение, выполняет его и информирует летчика о том, что решение выполнено, только в случае запроса от летчика;

и) ЭС принимает решение, выполняет его, информирует летчика о том, что решение выполнено, если система «считает», что летчика необходимо информировать;

к) ЭС принимает решение и выполняет его, если считает, что это необходимо, и

информирует летчика, если приходит к выводу, что это необходимо.

Как отмечается в [27], при высокой нагрузке экипажа ЭС ЭКЛ будет работать на уровне з). При необходимости принятия важных решений или значительном располагаемом времени ЭС будет работать на уровнях б) — ж). Уровень а) соответствует неавтоматизированной системе и не представляет интереса. Уровни и), к) соответствуют очень сложному управлению со стороны ЭС ЭКЛ и оно, по-видимому, никогда не будет реализовано.

4. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ И ПОИСК РЕШЕНИЙ В БОРТОВЫХ ЭС

Проблема представления знаний в бортовых ЭС ЭКЛ по своему содержанию является традиционной для систем, использующих технологию искусственного интеллекта, и предусматривает ответ на следующие вопросы. Каков должен быть состав знаний? Какова должна быть форма их представления? И, наконец, как воспользоваться выбранным представлением, используя тот или иной механизм логического вывода?

Определение рационального состава зна-

ний для ЭС ЭКЛ представляет собой весьма сложную задачу как из-за большого числа источников знаний, относящихся к предметной области, так и из-за дефицита соответствующих экспертов и трудностей работы с ними. Для решения указанной задачи фирмой Texas Instruments предлагается [28] специальная технология (рис. 3), представляющая собой поэтапную стандартизированную процедуру. Стандартизация анализа задач, получения знаний от экспертов, механизмов обратной связи, структурных интервью и моделирования на ЭВМ повышает эффективность процесса определения состава знаний. В [29] также отмечается целесообразность анализа действий летных экипажей при выполнении реальных полетов с использованием средств объективного контроля и аппаратуры видеозаписи.

Выбор подходящей модели представления знаний для ЭС ЭКЛ на практике осуществляется специалистами в области предметных знаний. Наибольшее распространение получили модели продукционного типа, позволяющие обеспечить модульность организации знаний, независимость используемых правил и возможность отделения управляющих знаний от предметных знаний. В качестве примера приведем продукционное правило изменения текущего приори-

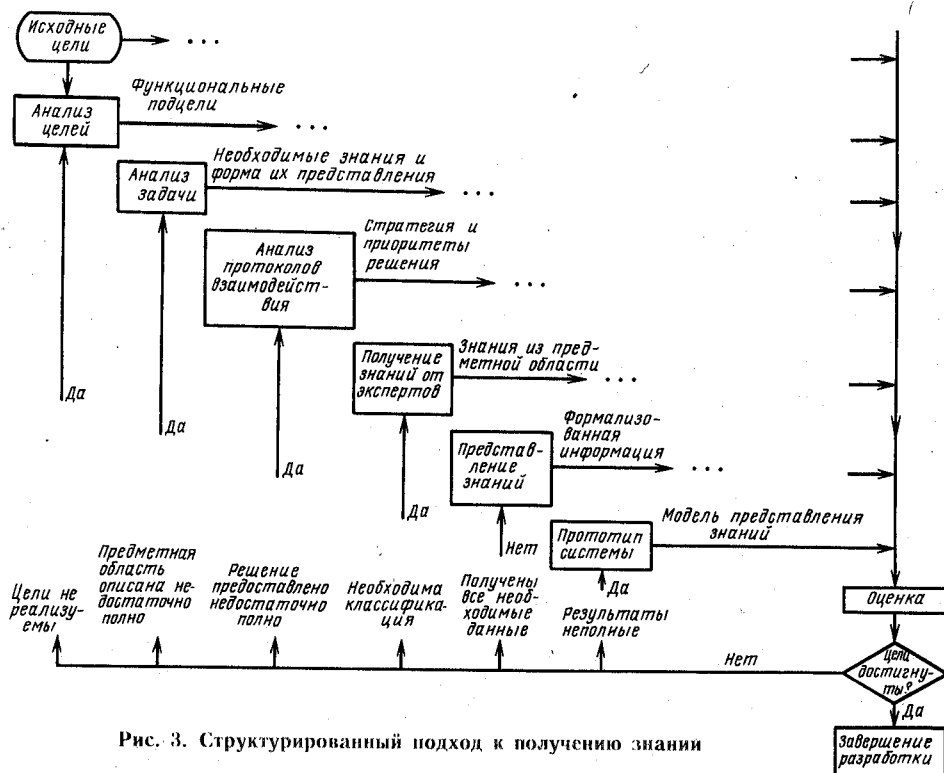


Рис. 3. Структурированный подход к получению знаний

тета обнаруженной РЛС наземного зенитно-ракетного комплекса [19].

- Если цель — «изменение приоритета»
- и — облучающая самолет РЛС имеет приоритет от 1 до 1,6,
 - и — степень перекрытия зоны обзора РЛС и коридора пролета низкая,
 - и — РЛС является высокоомобильной,
 - и — тип РЛС является редко встречающимся,

то присвоить данной РЛС новый приоритет, равный 2.

Приведенный пример иллюстрирует, что продукционное правило является формальной конструкцией, управляемой данными. Это отличает программирование на основе продукционных систем от традиционного программирования, где последовательность обработки (применение правил) мало зависит от обрабатываемых данных. Таким образом, в системах продукционного типа на каждом шаге программа анализирует текущую ситуацию и определяет по анализу информации подходящий модуль для ее обработки. При представлении знаний в бортовых ЭС реже встречаются фреймподобные представления, что объясняется прежде всего сложностью их практической реализации. Вместе с тем отмечается [30] их использование в инструментальных средствах разработки баз знаний.

При представлении качественных (декларативных) знаний, имеющих недостоверный характер, распространение получили разнообразные приложения теории нечетких множеств [31]. Так, в [14] рассматривается возможность использования нечеткой арифметики для ранжирования целей. Предлагается, в частности, использование нечетких массивов, дискретными элементами которых являются номера экспертов, используемые критерии и значимость целей.

Особенностью методов поиска решений в бортовых ЭС является их приспособленность к работе с динамической предметной областью и необходимость работы с несколькими моделями предметной области. В данной связи наибольшее распространение получил поиск с использованием архитектуры ЭС типа blackboard [32]. В [30] отмечается эффективность быстрых алгоритмов просмотра рабочей памяти [33] для данной архитектуры, однако исследования [34] показали сложность априорной оценки гарантированного времени реакции, обеспечение которого так важно для систем, работающих в РМБ. В [35] предложен

метод прогрессивных рассуждений (progressive reasoning), основанный на выделении в ЭС четырех уровней поиска решений. Первый уровень использует обычную логику, а последующие уровни работают с базой знаний, причем данные, используемые на каждом последующем уровне, требуют все большего времени для обработки. Подобный подход, по мнению авторов [15], может обеспечить приемлемые для РМБ характеристики.

5. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И РЕАЛИЗАЦИИ БОРТОВЫХ ЭС

К настоящему времени разработано значительное число (около 100) разнообразных инструментальных средств для ЭС, включающих в себя языки представления знаний, языки программирования систем искусственного интеллекта, а также, как правило, специализированные ЭВМ, реализующие соответствующие программы. Предпринимаются попытки использования данных инструментальных средств в целях разработки бортовых ЭС, работающих в РМБ. Например, при создании ЭС ESPA анализировались известные инструментальные средства: OPS-5, ROSS, HEARSAY-III и ROSIE (табл. 4). В результате анализа была выбрана система OPS-5, позволяющая осуществлять представление знаний в продукционной форме и имеющая единые средства для представления знаний и правил вывода. Вместе с тем отмечается [19], что использование OPS-5 для проектирования ЭС вызывает существенные трудности, обусловленные ограниченными возможностями по реализации управляющих структур, а также невозможностью математического вычисления значений атрибутов, входящих в продукционные правила, что весьма важно для систем, работающих в РМБ. Существенными ограничениями обладает и большинство других инструментальных средств, находящихся на стадии коммерческой реализации. Наиболее перспективными коммерческими образцами для систем, работающих в РМБ, считают [15] системы Pison и G2.

Существующие инструментальные средства не в полной мере удовлетворяют требованиям работы в РМБ по следующим основным причинам. Не обеспечивается требуемое быстрое действие проектируемых ЭС. Например, для программы Pilot's Associate оно ниже на 2—3 порядка [15]. Практически отсутствует возможность реализации в ЭС временных рассуждений. Слож-

Таблица 4

Сравнительный анализ инструментальных средств разработки ЭС

Параметр	HEARSAY-III	OPS-5	ROSIE	ROSS
Управление на основе события	Да	Да	Да	Да
Параллельная обработка	Нет	Да	Частично	Нет
Прерывание	Нет	Да	Нет	Да
Поиск в прямом направлении	Да	Да	Да	Нет
Поиск в обратном направлении	Да	Нет	Частично	Нет
Быстродействие	Небольшое	Может быть достаточно большим	Небольшое	Может быть достаточно большим
Емкость ЗУ, Мбайт	4,5	1,0	3,0	1,0

на интеграция с обычным бортовым матобеспечением. Наконец, использование инструментальных средств ориентировано на специализированную вычислительную базу, не предназначенную, как правило, к использованию в составе БРЭО самолетов.

Основными языками программирования для бортовых ЭС являются LISP и PROLOG, причем большинство практических разработок бортовых ЭС ведется на различных версиях языка LISP. Это обусловлено в первую очередь, как уровнем отработки самого языка, так и наличием достаточно широкой номенклатуры аппаратных средств LISP — машин типа Symbolics-3600.

При разработке аппаратных средств, предназначенных для бортовой реализации, предполагается широкое использование микропроцессорной технологии, примером чему является перспективный мультипроцессор Butterfly, использующий символическую логику и построенный на 256 микропроцессорах М-68020.

В ближайшем будущем аппаратная реализация бортовых ЭС планируется, прежде всего, на стандартной бортовой вычислительной технике, например процессорах MIL-STD-1750А, программируемых на языке Ada. В связи с этим имеет место проблема перевода на этот язык LISP-программ. Как отмечается в [13], сегодня существуют два основных препятствия для ее решения. Во-первых, это практическое отсутствие соответствующих инструментальных средств. Во-вторых, сложности, связанные с компиляцией Ada-программ. Для обеспечения процесса перевода прото-

типов ЭС, разрабатываемых на языке LISP, предлагается [13] подход, основанный на разделении базы знаний и механизма логического вывода. Данный подход позволяет повысить гибкость процесса создания бортовой версии ЭС за счет использования в механизме логического вывода различных языков без модификации базы знаний и улучшить качество результирующего программного продукта за счет возможности локализации ошибок, связанных с механизмом логического вывода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Область применения ЭС ЭКЛ охватывает решение слабо формализуемых задач, связанных в основном с контролем состояния и реконфигурацией бортовых систем и тактикой боевого применения БРЭО и вооружения самолетов.

2. Создание ЭС ЭКЛ, способных функционировать в РМВ, находится на начальной стадии. Большинство систем отработано на уровне демонстрационных и исследовательских прототипов на LISP-подобных языках. Эти системы не могут быть непосредственно реализованы на существующей бортовой вычислительной базе. Вместе с тем имеющиеся результаты показывают их потенциальную эффективность в сложной тактической обстановке, когда «традиционное» матобеспечение не позволяет достичь требуемого уровня автоматизации работы экипажа.

3. Для обеспечения широкого внедрения ЭС ЭКЛ в авиации необходимо решение ряда организационно-технических и

научных проблем, главными из которых являются: создание эффективных процедур сбора и представления авиационно-технических знаний, создание надежных механизмов логического вывода, обеспечивающих гарантированное время реакции, организация интеллектуального интерфейса в системе «летчик — ЭС — самолет».

Актуальным остается также решение задач интеграции традиционного бортового матобеспечения с матобеспечением ЭС, разработки инструментальных средств создания ЭС, ориентированных на РМВ, и оценки эффективности ЭС ЭКЛ.

4. Перспективным путем развития ЭС ЭКЛ является использование совокупности взаимосвязанных специализированных ЭС и иерархического (многоуровневого) принципа обработки поступающей информации и использования знаний.

С аппаратной точки зрения важным направлением развития ЭС ЭКЛ следует считать их бортовую реализацию на первом этапе на базе существующих бортовых вычислительных средств с последующим использованием ЭВМ пятого поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shortliffe E. H. Computer Based Medical Consultation: MYCIN — Academic Press, New York, 1976.
2. Feigenbaum E. A. — Machine Intelligence, 1971, v. 6.
3. Duda R. O. e. a. — In: Expert systems in the microelectronic age, Edinburgh University Press, Edinburgh, 1979.
4. Hernandez J. L. — In: Proc. AUTO-TESTCON, 1986.
5. Hom V. — In: IEEE WESTEX Conf., 1986.
6. Borden A. — AI Expert, 1987, v. 2, N 3.
7. Broadwell M. e. a. — In: SPIE, 1985, v. 548.
8. Hopson J. — SAE Paper, 1982, N 1428.
9. Glickstein I. — In: Proc. IEEE 7th DAS Conf., 1986.
10. Aviation Week & Space Technology, 1985, v. 122, N 16, p. 27.
11. Aviation Week & Space Technology, 1986, v. 125, N 1, pp. 17, 111.
12. Sheltnutt J. B. e. a. — In: Proc. IEEE NAECON, 1986, Dayton.
13. Pilet S. C. — In: Proc. IEEE NAECON, 1987, Dayton.
14. Baldwin M. J. — Ibid.
15. Laffey T. J. — AI Magazine, 1988, v. 9, p. 27.
16. O'Reilly C. A., Cromarty A. S. — In: Proc. Application of Artificial Intelligence, Bellingham, 1985.
17. Polhmann L. D. e. a. — In: Proc. IEEE NAECON, 1985, Dayton.
18. Surgensen J. R., Feldmann R. E. — Ibid.
19. Neal S. C., Grovella M. E. — In: Proc. IEEE NAECON, 1987, Dayton.
20. Электроника, 1985, т. 56, N 14, с. 15.
21. Graham S. M. — In: Proc. IEEE NAECON, 1987, Dayton.
22. Aviation Week & Space Technology, 1986, v. 126, N 7, p. 83.
23. Valdrón V. — In: Proc. IEEE NAECON, 1987, Dayton.
24. Flight Int., 1987, v. 131, N 4052, p. 29.
25. Summers P. I. — In: Proc. IEEE NAECON, 1985, Dayton.
26. McCoy M. S., Boys R. M. — In: Proc. IEEE NAECON, 1987, Dayton.
27. Klos L. C., Edwards J. A., Davis S. A. — In: AIAA Comput. Aerospace 4th Conf., 1983.
28. McGraw L., Hale M. R. — In: Proc. IEEE NAECON, 1987, Dayton.
29. McNulty C. — Ibid.
30. Lystad G. S. — Ibid.
31. Zadeh L. — Information and Control, 1965, N 8.
32. Erman L. O. e. a. — In: 7th Intern. Joint Conf. on AI, University of British Columbia, Vancouver, 1981.
33. Forgy C. — Artificial Intelligence, 1982, v. 19.
34. Haley P. V. — In: Proc. ROBOTEX-87, 3d Annual Workshop on Robotics and Expert Systems, 1987.
35. Wright M. — IEEE Software, 1986, March.