

МОДЕЛЬ ЗНАНИЙ В ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЕ ПОМОЩИ ЭКИПАЖУ

© 2008 А. А. Воронцов

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Рассматривается представление знаний в экспертной системе помощи экипажу воздушного судна для предметной области «Действия экипажа воздушного судна в особых ситуациях». Предложена комбинированная иерархическая модель представления знаний, основанная на объектном подходе, производственных правилах и структуре сети Петри. Разработанное представление знаний позволяет формировать целостную модель предметной области для анализа базы знаний и механизма вывода на знаниях.

Экспертная система, представление знаний, предметная область, система помощи экипажу, принятие решений, механизм вывода

Сложность современной авиационной техники требует от экипажа воздушного судна (ВС) владения значительным багажом знаний о системах самолёта и осуществления в реальном времени анализа большого объёма поступающей информации. Данное обстоятельство вызывает рост психофизической нагрузки на экипаж и во многом обуславливает увеличение числа авиационных происшествий по вине «человеческого фактора» [1].

Помочь в сложившейся ситуации призваны бортовые экспертные системы-советчики, которые из всего информационного потока должны предоставлять экипажу данные, актуальные на текущий момент, и рекомендации по необходимым действиям в сложившейся обстановке.

В данной статье рассматриваются принципы построения экспертной системы помощи экипажу (ЭСПЭ) ВС для предметной области (ПО) «Действия экипажа ВС в особых ситуациях». Особой ситуацией (ОС) называется состояние параметров ВС и внешней среды в результате воздействия неблагоприятных факторов, ведущее к снижению безопасности полёта.

Главной целью работы ЭСПЭ в рассматриваемой ПО является безопасное выполнение полёта, достижению которой могут воспрепятствовать возникающие на борту ОС. В зависимости от текущего этапа полёта возникновение ОС требует от членов экипажа выполнения определённой последовательно-

сти действий, регламентируемых «Руководством по лётной эксплуатации» (РЛЭ) для данного ВС и другими нормативными документами. Выполняя предписанные действия, экипаж изменяет состояние параметров ВС и внешней среды, стремясь парировать негативное развитие ОС. Таким образом, для обеспечения достижения главной цели ЭСПЭ должна осуществлять анализ текущего состояния параметров ПО на предмет возникновения ОС и формировать для каждого члена экипажа рекомендации по её ликвидации.

При разработке ЭСПЭ приходится решать исследовательские задачи по следующим направлениям:

1. Анализ и структурирование ПО.
2. Выбор или разработка модели представления знаний (МПЗ) с учётом специфики ПО.
3. Разработка или адаптация (с учётом принятой МПЗ) механизма вывода для системы вывода на знаниях (СВЗ).
4. Формирование и анализ базы знаний (БЗ).

В результате проведённых исследований для адекватного описания ПО было выделено три уровня представления знаний:

1. Первый – нижний уровень содержит декларативные знания об отдельных элементах ПО (оборудовании ВС, экипаже, внешней среде и т.п.).
2. Второй – средний уровень содержит процедурные знания и описывает правила взаимодействия знаний нижнего уровня меж-

ду собой: условия возникновения ОС и описания действий элементов ПО.

3. Третий – верхний уровень описывает ПО как взаимосвязанную структуру знаний нижних уровней, задавая модель ПО для использования её при анализе и выводе на знаниях.

Выделение в ПО трёх указанных уровней представления потребовало разработки комбинированной иерархической МПЗ с учётом особенностей знаний на каждом уровне.

В разработанной комбинированной МПЗ для описания знаний нижнего уровня предложено использовать объектный подход [2], где каждый элемент ПО представляется в виде объекта, характеризующегося набором своих атрибутов, вида: {Объект.Атрибут <значение>}. Совокупность всех текущих значений атрибутов для всех объектов определяет текущее состояние ПО и представляет собой базу данных экспертной системы. Между объектами нижнего уровня может быть установлена семантическая связь «ЧАСТЬ – ЦЕЛОЕ», задающая иерархию объектов (рис. 1).

Такое объектное иерархическое представление знаний нижнего уровня обеспечило простоту анализа и структурирования ПО при работе с экспертами и документацией по формированию БЗ.

Для знаний ПО среднего уровня в ЭСПЭ разработана МПЗ, полученная на основе синтеза объектной модели и продукционных правил. Полученные в результате синтеза МПЗ объекты-правила в качестве ядра содержат продукционное правило (ПП) вида «ЕСЛИ А, ТО Б», в которых в качестве операндов «А» и «Б» используются утверждения о состоянии атрибутов объектов – знания нижнего уровня (1):

$$\{ \text{Объект.Атрибут} \langle \text{значение} \rangle \} \{ \text{отношение} \} \{ \text{Эталонное значение} \}. \quad (1)$$

Например, {Самолёт}. {Высота (м) <>} { = } {7000}.

В выражении (1) в качестве эталонного значения может выступать не только константа или значение атрибута другого объекта, но и результат вычисления функции: {Объект.Атрибут <значение>} {отношение} {Функция([Аргумент1],..., [Аргумент N])}. Применение таких функций позволяет при необходимости реализовать дополнительные возможности, например, контроль внешних процессов, организацию информационного обмена, работу с нечёткими знаниями и нейросетями.

Для представления знаний ПО на среднем уровне в ЭСПЭ существуют два основных типа объектов-правил: объекты-прави-

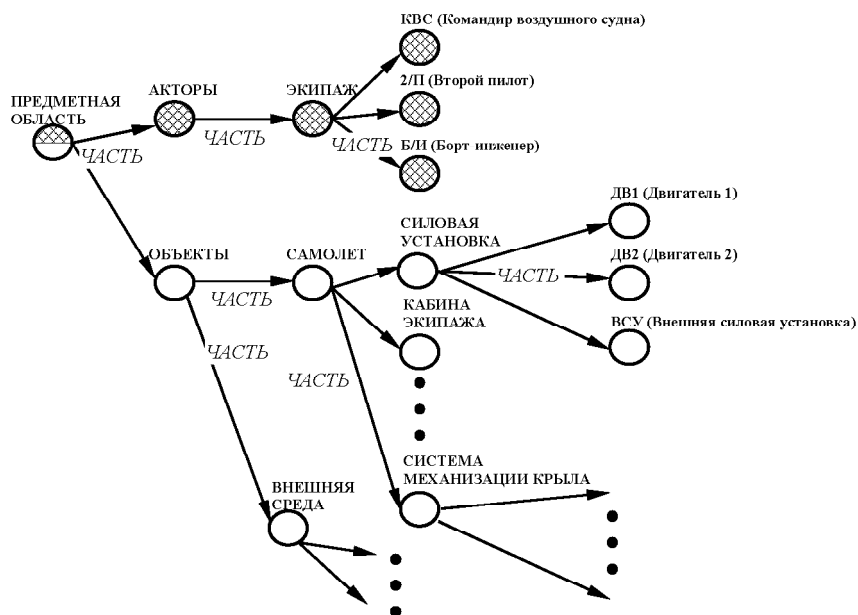


Рис. 1. Фрагмент иерархического дерева объектов

ла, описывающие условия возникновения ОС (далее описания ОС), и объекты-правила, описывающие действия.

Описание ОС можно представить при помощи таблицы 1.

Возникновение ОС определяется по наличию набора её отличительных признаков, которые задаются в виде конъюнкций выражений (1) (выделенные строки таблицы 1). Если конъюнкция истинна, то признак считается активным. Каждому признаку на основе экспертного анализа ставится в соответствие его вес. Веса активных признаков суммируются и, если полученная сумма превышает заданную величину – порог приня-

тия решения (ППР), то делается вывод о наличии ОС. Для упорядочивания обработки ОС в качестве одного из атрибутов её описания вводится величина «степени опасности ОС», т.е. показатель того, насколько одна ОС потенциально опасней другой. Величина степени опасности ОС зависит от этапа полёта и рассчитывается на основе экспертных оценок. В ЭСПЭ для этого применяется метод парных сравнений.

Таким образом, описание ОС состоит из ПП, определяющих активность признаков на основе анализа знаний нижнего уровня, и ПП, сопоставляющего веса активных признаков с ППР.

Таблица 1. Представление описания ОС

Свойство		Значение				
Название ОС		Пожар двигателя 1				
ППР		40				
Степень опасности	Этап	Взлет	Маршрут	Снижение	Посадка	Руление
	Значение	90	85	85	90	50
Описание признаков						
№ Объекта	Объект	Атрибут	Отношение	Значение	Вес	
1.1.9.1	Речевое сообщение	Текст	=	ПРОВЕРЬ ПОЖАР	20	
1.1.3.1.1	Табль ПОЖАР	Текст	–	ПОЖАР	20	
1.1.1.1.1	Табль ДВ1 ПОЖАР	Текст	=	ДВ1 ПОЖАР	20	
1.1.3.5.1	Кадр ДВ/СИГН	Текст	CON	ДВ1 ПОЖАР	20	
1.1.2.1.1	Табль ДВ1 ОТКЛЮЧИ	Текст	=	ДВ1 ОТКЛЮЧИ	20	
1.1.1.1.11	Переключатель ДВ1 ОЧЕРЕДЬ 1	Надпись	=	ВКЛ	20	
1.1.1.1.8	Табль ОЧЕР 1 РАЗРЯД	Текст	–	ОЧЕР 1 РАЗРЯД	20	

Описание действий можно представить в виде таблицы 2.

Продукционное ядро при этом имеет составную конструкцию вида:

«ЕСЛИ: <Условие>, ТО [Если <Операция>, то <Реакция>]».

Часть <Условие> определяет активность правила, часть <Операция> описывает требуемое действие, а часть <Реакция> позволяет контролировать выполнение рекомендаций, изменять состояния атрибутов объектов и моделировать работу ЭСПЭ. В частном случае одна из частей ядра может отсутствовать. Для устранения конфликтов между описаниями действий экспертным

путём им назначаются приоритеты. Так как необходимость выполнения конкретного действия актуальна при наличии определённой ОС на конкретном этапе полёта, а само действие должно быть выполнено конкретным членом экипажа, то данная информация задаётся в таблице описания действий в качестве атрибутов. Введение в МПЗ для описания действий атрибутов обеспечило использование при выводе на знаниях только актуальных ПП и сделало выдачу рекомендаций более оперативной и адресной. Работа ЭСПЭ с каждым членом экипажа при этом происходит по принципу классной доски.

Применение для среднего уровня представления знаний ПО МПЗ на основе синте-

Таблица 2. Представление описания действий

ОС	Полет со всеми неработающими двигателями		
Исполнитель	Б/И (бортинженер)		
Этап полета	Маршрут		
Приоритет	50		
ЯДРО			
Объект	Атрибут	Отношение	Значение
Условие			
ВБМ	Показание высоты	IN	[1500; 5000]
ВСУ	Состояние	=	Включена
Операция			
Переключатель ГВСУ	Положение	=	Нажат
Реакция			
Переключатель ГВСУ	Надпись	=	ВКЛ
Переключатель ГВСУ	Цвет	=	Зеленый

за продукций и объектного подхода позволило эффективно организовать процесс анализа ПО и формирования БЗ, так как хорошо соотносится со способом подачи информации, используемым в РЛЭ и других нормативных документах, и не вызвало особых затруднений при работе с экспертами.

Представление знаний ПО среднего уровня при помощи МПЗ с использованием продукций позволяет использовать для вывода на знаниях традиционную схему вывода в продукционных системах (рис. 2), модифицированную с учётом использования двух типов объектов-правил.

На этапе выборки осуществляется определение подмножества правил в соответствии с активной ОС. Если в системе не активна ни одна из ОС, то рассматриваются только правила описания ОС. На этапе сопоставления по результатам анализа условий продукций определяется, какие правила готовы к выполнению, и формируется конфликтный набор правил. На этапе разрешения конфликтов механизм вывода выбирает одно правило, которое будет выполняться в текущем цикле. На этапе выполнения осуществляется выполнение выбранного правила и изменение рабочей памяти.

В алгоритме применяются следующие стратегии, перечисленные в порядке очередности использования:

1. Правила определения ОС рассматриваются первыми.

2. Если в конфликтном наборе содержится несколько правил ОС, то первым выбирается то правило, которое относится к наиболее опасной ОС.

3. Среди правил действий первыми выбираются правила, которые относятся к наиболее опасной ОС.

4. Среди правил действия выбираются правила с наибольшим приоритетом.

Приведённая на рис. 2 общая схема алгоритма требует значительных затрат времени и ресурсов, даже несмотря на группирование ПП по ОС и этапам полёта, так как требует повторного сопоставления данных и правил на каждом цикле работы.

Для минимизации вычислений и исключения повторного сопоставления данных, не изменившихся на предыдущем цикле работы системы, применяют индексирование правил [3], что подразумевает формирование единой структуры, устанавливающей связи между ПП и объектами ПО.

Такую структуру в ЭСПЭ призван обеспечить верхний уровень представления знаний. В большинстве случаев при разработке продукционных экспертных систем этап формирования единой структуры знаний ПО передаётся в СВЗ, что приводит к тому, что БЗ таких систем представляет собой набор не связанных друг с другом ПП, а анализ таких БЗ весьма сложен.

В ЭСПЭ в качестве основы для формирования единой структуры ПО на верхнем

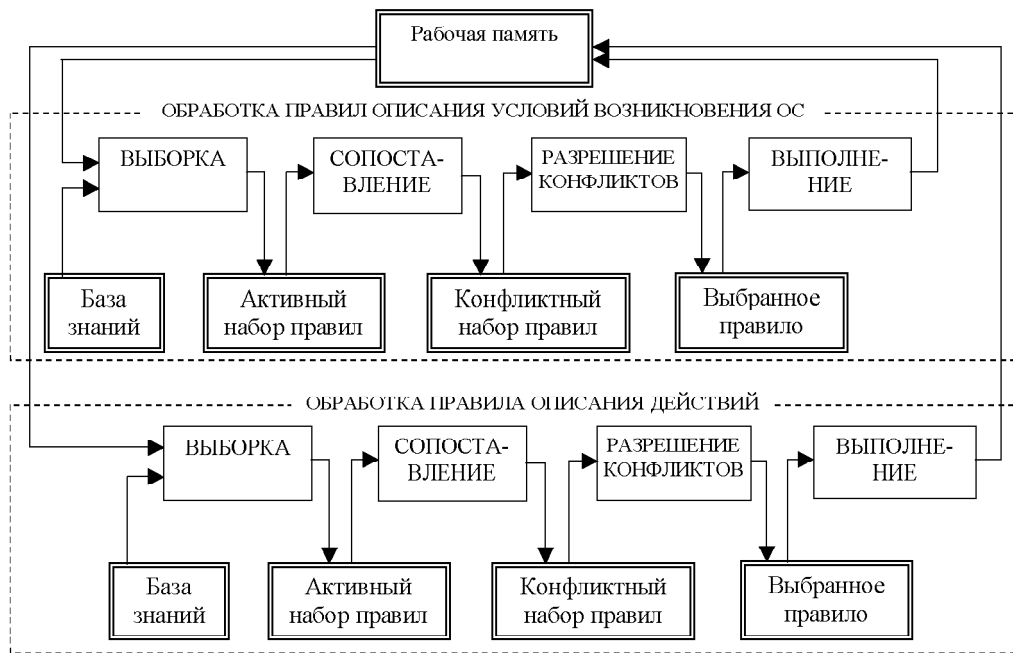


Рис. 2. Схема общего алгоритма вывода ЭСПЭ

уровне представления знаний применён математический аппарат сети Петри (СП).

СП применяют для моделирования работы систем и управления процессами. Если же позициям СП поставить в соответствие выражения вида (1), а срабатывание перехода рассматривать как выполнение ПП, то механизм СП можно использовать как алгоритмическую основу для вывода на производствах [4]. Данный подход и применён в ЭСПЭ.

На рис. 3 показан пример представления при помощи СП продукционного ядра объекта-правила для описания ОС. Атрибуты описания ОС при этом используются для группирования и взаимной диспетчеризации описаний ОС.

Из рис. 3 видно, что определение наличия ОС происходит в два этапа: 1) определение суммы весов активных признаков и 2) сравнение суммы весов с ППР.

Пример использования СП для описания действий показан на рис. 4. Заметим, что для связи частей <Условие> → <Операция> и <Операция> → <Реакция> вводится специальная вспомогательная позиция (позиция P_5).

Объединение СП, соответствующих отдельным объектам-правилам, в единую СП позволяет представить ПО в виде интегрированной структуры знаний нижнего и среднего уровня и формирует верхний уровень представления знаний.

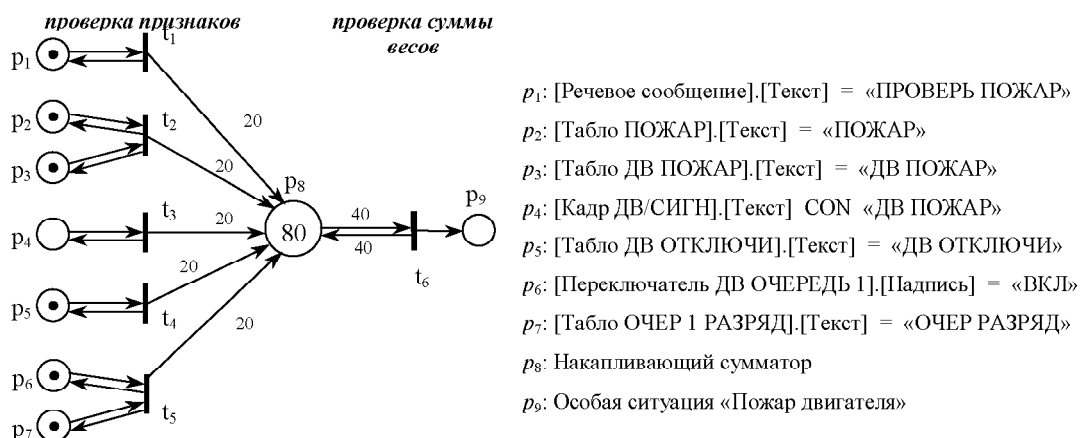


Рис. 3. Пример сети Петри для правила описания ОС

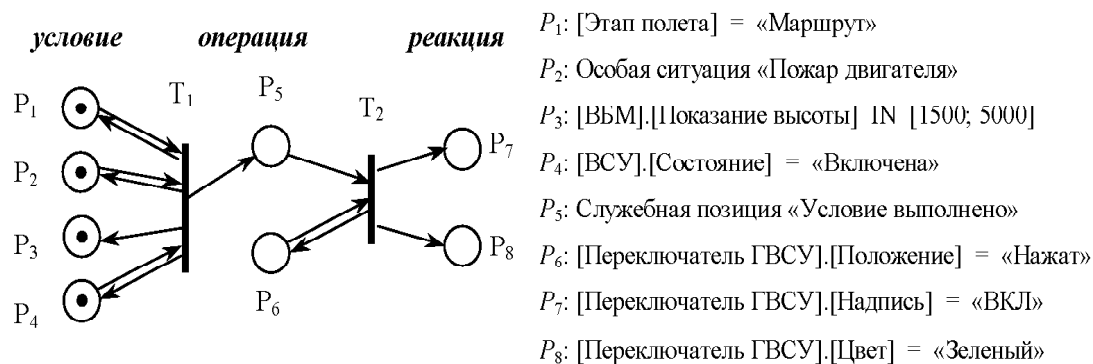


Рис. 4. Пример сети Петри для правила описания действия

Следует отметить, что представление ПО при помощи СП в ряде случаев не позволяет установить точное соответствие элементов СП элементам в ПО. Данная особенность возникает при формировании БЗ и может быть обусловлена различными причинами. Например, ввод вспомогательных позиций (рис. 4) или переходов при устранении разрывов в сети, а также замена сложных логических выражений вида «Если ... или ..., то ...» набором элементарных конъюнкций.

Достоинством представления знаний с помощью СП в ЭСПЭ стала возможность более эффективной организации процесса вывода на производствах, т.к. минимизируются вычисления на этапе сопоставления. Это происходит за счёт того, что на каждом цикле работы механизма вывода необходимо анализировать активность только тех правил, для которых был изменён статус входных позиций, что отслеживается при помощи разметки СП. Таким образом, СП выполняет функцию индексирования правил.

Главным положительным эффектом применения СП является то, что оно позволило получить не только структуру знаний верхнего уровня, но и обеспечило формирование модели, описывающей процесс взаимодействия знаний между собой. Данный эффект использования СП обеспечил переход от сетевого структурирования к сетевому моделированию, что даёт возможность проводить анализ взаимодействия отдельных знаний уже на этапе формирования БЗ. При

этом применение СП позволило многие практические вопросы анализа СП (поиск конечных и начальных состояний, локализация разрывов, поиск конфликтующих правил) свести к ряду хорошо известных задач анализа СП: достижимости, активности, живости и др.

Предложенная комбинированная иерархическая МПЗ совместно с алгоритмом вывода на знаниях на основе СП нашли применение при создании программного комплекса наземного макета ЭСПЭ «База знаний по предотвращению неблагоприятного развития ОС», который используется в ФГУП НИИАО для проведения исследований по отработке технологий построения бортовой экспертной системы.

Библиографический список

1. Никифоров С. П. Бортовые средства повышения безопасности полёта транспортных самолётов. Система интеллектуальной поддержки экипажа в особых ситуациях. – Жуковский: НИИАО, 1999.
2. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е издание / Пер. с англ. - М.: ИД «Вильямс», 2007.
3. Яковлев К. В. Сетевая модель вывода в производственных системах // Труды Шестого международного симпозиума «Интеллектуальные системы». - Саратов, 2004.
4. Плотников В. Н., Суханов В. А. Системы, основанные на знаниях. - М.: Изд-во МГТУ, 1995.

Информация об авторе

Воронцов Андрей Андреевич, начальник департамента строительства и эксплуатации стенда «Электронная птица». Место работы: Закрытое акционерное общество «Гражданские самолёты Сухого», МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: экспертные системы, системы помощи экипажу, обработка знаний, системы управления.