

# КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО І ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

УДК 004.825

Д.Е. Василенко<sup>1</sup>, Д.Н. Обидин<sup>1</sup>, П.Г. Бердник<sup>2</sup><sup>1</sup> Кировоградская летная академия НАУ, Кировоград<sup>2</sup> Харьковский национальный университет имени С.Н. Каразина, Харьков

## МЕТОД ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ О ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ, РЕШАЕМЫХ В ЦЕНТРАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

При разработке открытых экспертных систем различного назначения особую роль играет способ формализации и представления знаний. Решению задачи разработки метода формализации знаний для открытой экспертной системы реального времени посвящена данная статья. Особое внимание уделено вопросам разработки базы знаний, логическим взаимосвязям в такой базе, исследованы возможности сокращения ее объема без нарушения логической целостности и обеспечении логического вывода на такой базе в реальном масштабе времени. Результатом данной статьи является разработанный метод формализации знаний о задачах управления воздушным движением.

**Ключевые слова:** экспертная система, обработка знаний, знания, система управления, воздушное движение, база знаний, формализация знаний.

### Введение

Ранее рассмотрены основные вопросы формализации различных видов знаний о задачах управления воздушным движением решаемых в центрах управления воздушным движением. Однако задачу формализации знаний о задачах управления воздушным движением нельзя считать решенной если все этапы формализации не позволяют разработать базу знаний о предметной области для ее реализации в открытой экспертной системе реального времени. Поэтому **целью данной статьи** будет разработка подходов к формированию базы знаний и формированию метода формализации знаний о задачах управления воздушным движением решаемых в центрах управления воздушным движением.

**Анализ литературы.** Возможно применение различных подходов к разработке специального математического обеспечения открытой экспертной системы (СМО ОЭС) и базы знаний (БЗ) как его составной части. Для традиционного подхода (рис. 1 а) характерен ряд существенных недостатков [3-9]:

- данный подход не обеспечивает построение СМО, соответствующее лавинообразному

Основными достоинствами ООП, определяющими предпочтение его применения при разработке информационных систем являются [8, 9]:

- возможность учета при разработке систем свойств структурированных сложных систем;

- возможность использования объектно-ориентированных языков при формировании структуры понятий на уровне модулей и программ;

- существенное повышение качества разработки информационных систем как в целом, так и их отдельных фрагментов;

- компактная, по сравнению с традиционными подходом, реализация; упрощение процесса внесения изменений;

- снижение риска отрицательного результата при разработке информационных систем, повышение уверенности в правильности их работы; ориентирование на "человеческое" восприятие мира.

Таким образом, для разработки БЗ ОЭС воспользуемся подходом, предложенным при объектно-ориентированном подходе к разработке программного обеспечения.

### Основная часть

При разработке БЗ будем руководствоваться следующими этапами ООП:

- объектно-ориентированный анализ (ООА) [7];

- объектно-ориентированное проектирование;

- эволюция системы совмещает в себе этапы программирования, тестирования и интегрирования системы;

- необходимость модификации системы следует из того, что в процессе жизненного цикла системы возникает потребность добавлять или изменять некоторые имеющиеся у системы свойства.

нарастанию сложности разрабатываемых в настоящее время информационных систем;

- внесение изменений в разрабатываемую систему существенно осложнено из-за высокой степени взаимосвязанности компонентов системы;

- требуется обязательная последовательность выполнения этапов разработки проектов, что вызывает значительные затруднения при возврате на предыдущий этап;

- несовместимость с перспективными методами разработки.

В ряде работ [6 – 8] обосновано использование при разработке информационных систем объектно-ориентированного подхода (ООП). На рис. 1, б представлена схема разработки информационной системы с использованием ООП.

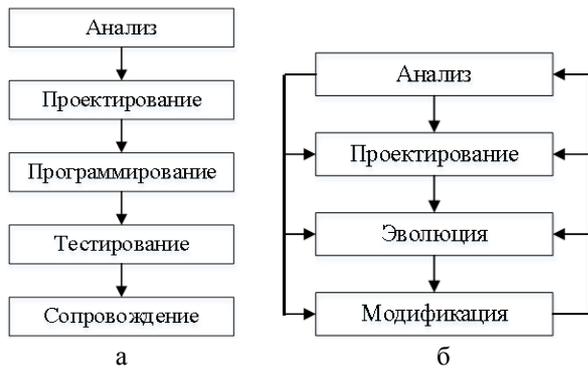


Рис. 1. Схемы разработки информационных систем

Все эти этапы имеют итеративный характер, что позволяет приближаться к заданным для разработки информационных систем требованиям постепенно.

Принципиальным моментом в процессе формализации описаний закономерностей ПО является наличие двойственного семантического характера основных структурных элементов рассматриваемой-структуры целевых установок (СЦУ) [1, 2]. Двойственность проявляется в наличии в рамках СЦУ элементов, имеющих явно выраженную семантическую интерпретацию (целевые установки, начальные условия, ресурсы и т.д.) но не имеющих семантической интерпретации в рамках конкретных задач, а также для этих элементов семантической интерпретации, привязанной к конкретным условиям и задачам. Последние описания имеют интенциональный характер, так как по отношению к ним применимы интенциональные описания свойств и закономерностей данных элементов, однако их дальнейшая семантическая интерпретация уже невозможна. Структурные элементы СЦУ, имеющие семантическую интерпретацию в рамках некоторого ограниченного набора задач будем называть экземплярами структурных элементов. Структурные элементы, от которых поро-

ждаются экземпляры будем называть базовыми.

Экземпляры структурных элементов СЦУ целесообразно объединять, в свою очередь, в единые структурные элементы БЗ. Таким образом, должны быть сформированы библиотеки экземпляров целей; экземпляров начальных условий, экземпляров ресурсов. Кроме того, вследствие наличия семантической интерпретации ресурсов в рамках конкретных задач, нормативные правила использования их экземпляров могут иметь принципиально отличную семантику от базовых структурных элементов (например, правила использования различных ресурсов). Это предопределяет введение в БЗ библиотек нормативных правил использования экземпляров ресурсов. Широкое использование множества признаков (в описаниях целевых установок, начальных условий и т.д.), а также ограниченность набора доступных системе признаков, определяют необходимость сведения последних в библиотеку признаков. Данный структурный элемент БЗ прямо связан с БД и содержит необходимые ключи доступа к соответствующим данным. В библиотеке признаков размещаются:

- семантическая интерпретация признаков в понятиях базы знаний;
- атрибуты признаков в соответствии с методикой описания прагматического аспекта знаний [9];
- значение признака определяющее его истинности ключ поиска признака в БД.

Возможность пополнения БЗ на этапе эксплуатации ОЭС делает необходимым сведение базовых структурных элементов в единую библиотеку базовых объектов сети. Сюда же включаются объекты описания пространственных отношений, отношений сравнения.

Характерной особенностью базовых объектов является возможность их дальнейшей семантической интерпретации при адаптации системы к решению конкретных задач в процессе формирования и пополнения БЗ.

Создание экземпляра объекта предполагает заполнение соответствующих полей базового объекта. Пример формирования экземпляра объекта из базового объекта приведен на рис. 2.



Рис. 2. Графическая иллюстрация процесса формирования экземпляра объекта

В общем объеме знаний, подлежащих формализации в рамках ОЭС возможно разделение знаний на объективные и субъективные [11]. К объективным относятся знания, описывающие объективные закономерности предметной области. К субъективным - методы и методики, используемые экспертами при решении частных задач с различным набором исходных данных в конкретных условиях обстановки, являющимися обобщением их личного опыта. Очевидно, что объективные закономерности, присущие предметной области

могут быть выделены непосредственно на этапе разработки и являются фундаментом БЗ. Знания данного класса носят характер метазнаний экспертной системы (ЭС). Дальнейшее формирование БЗ может осуществляться уже на этапе эксплуатации ЭС. При этом эксперты, формализуя свои знания и опыт в рамках БЗ, могут вносить новые отношения между понятиями и объектами, формировать новые целевые установки (ЦУ), вводить отношения между самими ЦУ, определять начальные условия функционирования системы и их взаимосвязь с ЦУ. В данном случае возможно выделение в отдельные группы, с одной стороны - знаний о внутренней структуре и условиях достижения выделенных ЦУ ЭС, с другой стороны - знания, определяющие отношения между целевыми установками, ЦУ и начальными условиями формирования решений, порядок достижения высших целей системы.

Таким образом, возможно создание иерархической БЗ ЭС (рис. 3). Знания высшего уровня иерархии (метазнания) такой БЗ формализуются специалистами-когнитологами на стадии создания ЭС. Знания более низких уровней иерархии формализуются экспертами непосредственно в процессе эксплуатации. При этом, более высокие уровни иерархии БЗ являются нормативными для всех нижестоящих уровней. На промежуточных уровнях иерархии могут описываться правила изменения общности понятий, позволяющие приводить в однозначное соответствие закономерности, представленные как в обобщенных понятиях, характерных для органов планирования, так и в понятиях, имеющих место для органов оперативного управления.

Приведенные выше структурные элементы БЗ ОЭС рассматриваемого класса позволяют адекватно формализовать отдельные компоненты знаний (ЦУ, НУ и т.д.). Вместе с тем, необходима организация четкой логической взаимосвязи отдельных элемен-

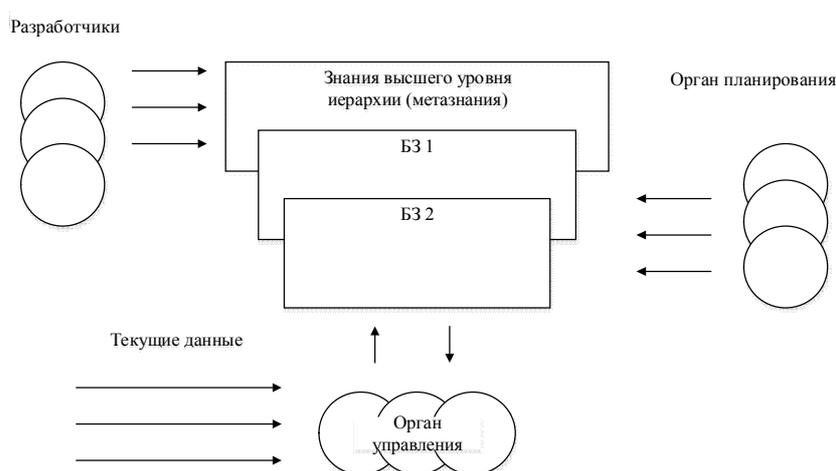


Рис. 3. Структура иерархической базы знаний открытой экспертной системы КП корпуса ПВО

тов СЦУ, обеспечивающей строгую адекватность СЦУ рассматриваемой ПО на уровне модулей и программ.

Как было показано в [2] для адекватного представления графа сетевой модели могут быть использованы матрицы СЦУ.

В существующих работах для организации логических взаимосвязей в матрицах смежности использовались символы  $\{1, 0\}$  [3]. Логические взаимосвязи в представленном виде на уровне модулей и программ потребуют при реализации логического вывода проведения анализа значительного количества символьных данных, являющейся элементами соответствующих матриц. Это может привести к существенному снижению быстродействия. Решение данной задачи может быть найдено при переходе от символьного заполнения содержания матриц и таблиц к адресному. Такой подход позволит сократить количество операций, связанных с анализом символьных данных, частично заменив их операциями прямой адресации соответствующих элементов в соответствующих библиотеках. Изменение содержания элементов матриц обосновано использованием их только для отражения структуры графа сети и отсутствием, по отношению к самим матрицам, арифметических операций.

Таким образом, в основу логической организации знаний в БЗ ОЭС могут быть положены адресные матрицы смежности и таблицы.

Использование адресных матриц взамен традиционных символьных позволяет:

- сократить время обращения к необходимым элементам в процессе логического вывода за счет сокращения операций символьного анализа и, тем самым, повысить оперативность решения задач;

- существенно сократить размерность. Хранение адресов позволяет устранить необходимость анализа всех элементов матриц в процессе логического вывода, непосредственно используя адреса

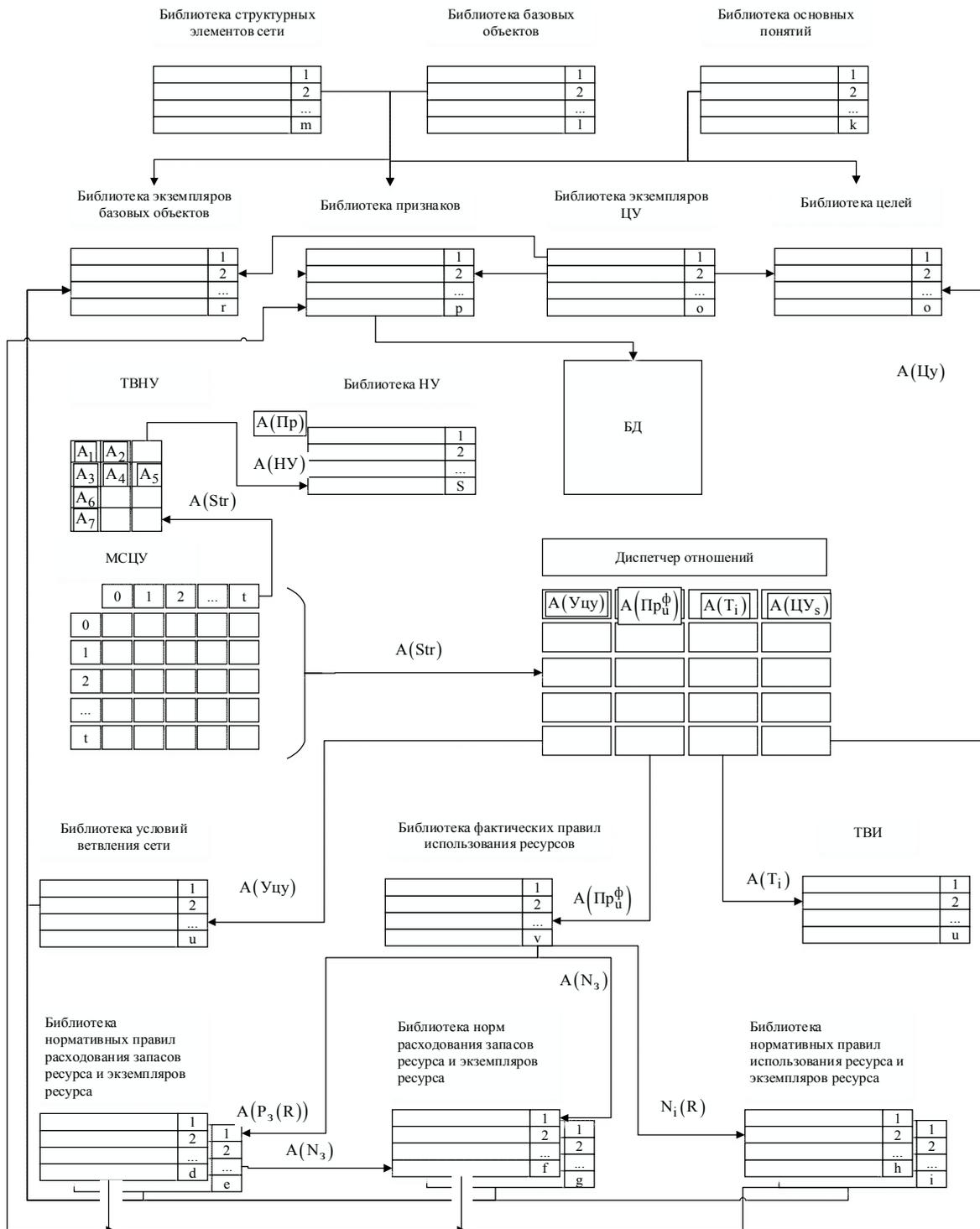


Рис. 4. Структура логических взаимосвязей элементов БЗ ОЭС реального времени

прямого доступа к соответствующим элементам. Так, при объеме БЗ в 200 ЦУ, в традиционной МСЦУ необходимо размещение 40000 символов. Для адресной (при наличии отношений каждой ЦУ с 10-ю смежными целями) - 2000 адресов. Данный подход реализуется посредством "динамических матриц", и "динамических коллекций", широко применяемых в объектно-ориентированном программировании.

Приведенные рассуждения позволяют сформировать структуру логических взаимосвязей элемен-

тов БЗ ОЭС в следующем виде (рис. 4). Приведенная структура логически следует из описанного выше метода формализации знаний и отражает особенности построения соответствующего СЦУ.

С учетом результатов полученных в [1, 2] и подхода к формированию БЗ ОЭС структура метода формализации знаний о задачах управления воздушным движением решаемых в центрах управления воздушным движением будет иметь следующий вид (рис. 5).

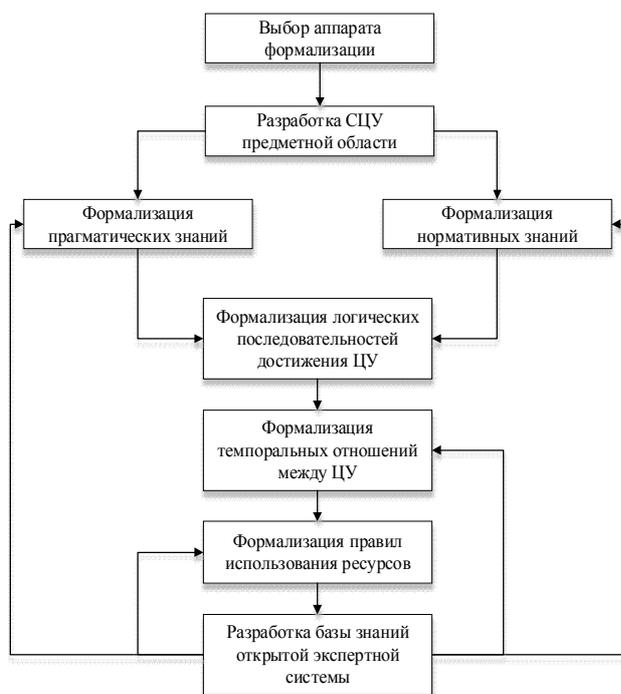


Рис. 5. Структура метода формализации знаний о задачах управления воздушным движением для открытых экспертных систем реального времени

## Выводы

Представление структур знаний на уровне модулей и программ возможно посредством матриц смежности, таблиц и библиотек отражающих структуру и содержание сетевой модели.

Использование принципов структурирования и ООП позволяет разработать иерархическую структуру БЗ, органично соединяющую знания, формализуемые органами планирования и оперативного управления. Использование адресных матриц и таблиц позволяет снизить их размерность при хра-

нении на носителях информации, упростить логические взаимосвязи между элементами СЦУ.

Предложенные методы позволяют осуществлять формализацию знаний с использованием динамических структур, существенно упростить и ускорить поиск решений в условиях дефицита времени.

## Список литературы

1. Искусственный интеллект. Справочник в 3-х книгах. Книга 2. Модели и методы / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
2. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления / [Ярушек В.Е., Прохоров В.П., Судаков Б.Н., Мишин А.В.] . – X: ХВУ, 1993. – 446 с.
3. Ивлев Ю.В. Содержательная семантика модальной логики / Ю.В. Ивлев. – М.: МГУ, 1985. – 170 с.
4. Слинин Я.А. Современная модальная логика / Я.А. Слинин. –Л.: ЛГУ, 1976. – 104 с.
5. Object-Oriented Analysis and Design with Applications (3rd Edition) Grady Booch, Robert A. Maksimchuk, Michael W. Engle, Bobbi J. Young, Jim Conallen, Kelli A. Houston, - 720 p.
6. Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software Eric Evans. – 442 p.
7. Vaughn Vernon Implementing Domain-Driven Design / Vaughn Vernon «ВИЛЬЯМС», 2016, - 688 p.
8. Павленко М.А. Когнитивний підхід до розробки інформаційних моделей в системах підтримки прийняття рішень / М.А. Павленко, В.К. Медведев, П.Г. Бердник, С.В. Міхасьов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2016. — № 2. — С. 138-141.
9. Гибридная модель знаний для распознавания ситуаций в воздушном пространстве / М.А. Павленко, А.И. Тимочко, Н.А. Королюк, М.Ю. Гусак // Автоматика и вычислительная техника. – Рига: АВТ, 2014. – No. 5, (Vol. 49). – С. 16-25.

Надійшла до редколегії 25.12.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ ПРО ЗАВДАННЯ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ, РОЗВ'ЯЗУВАНИХ У ЦЕНТРАХ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Д.Є. Василенко, Д.М. Обідін, П.Г. Бердник

При розробці відкритих експертних систем різного призначення особливу роль відіграє спосіб формалізації і представлення знань. Вирішенню завдання розробки методу формалізації знань для відкритої експертної системи реального часу присвячена ця стаття. Особливу увагу приділено питанням розробки бази знань, логічним взаємозв'язкам в такій базі, досліджені можливості скорочення її обсягу без порушення логічної цілісності і забезпечення логічного висновку на такій базі в реальному масштабі часу. Результатом даної статті є розроблений метод формалізації знань про завдання управління повітряним рухом.

**Ключові слова:** експертна система, обробка знань, знання, система управління, повітряний рух, база знань, формалізація знань.

## METHOD FORMALIZATION OF KNOWLEDGE ABOUT THE TASKS OF AIR TRAFFIC SOLVED IN THE CENTER OF AIR TRAFFIC CONTROL

D.E. Vasilenko, D.M. Obidin, P.G. Berdnik

In developing public expert systems for various purposes special role played by way of formalizing and knowledge representation. The task of developing a method of formalizing knowledge to open real-time expert system dedicated to this article. Particular attention is paid to the development of the knowledge base logical relationships in such a database, investigated the possibility of reducing the volume without disturbing the integrity and logical inference to provide such a basis in real time. The result of this paper is the method of formalization of knowledge about the problem of air traffic control.

**Keywords:** expert system, knowledge processing, knowledge management system, air movement, knowledge base, knowledge formalization.