

Подход к построению интеллектуальной системы знаний для решения задач мониторинга воздушно-космического пространства

© А.В. Михалев, В.Я. Пророк, А.П. Кадочников,
А.С. Карайчев, В.А. Иванов

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

Предложен подход к построению интеллектуальной системы знаний для решения задач мониторинга воздушно-космического пространства. Осуществлен выбор вида модели представления знаний для решения задач мониторинга воздушно-космического пространства. Разработана онтологическая модель и представлены результаты ее работы.

Ключевые слова: онтология, база знаний, моделирование.

Введение. В современном мире подход к обработке информации стремительно изменяется из-за значительных потоков данных. В связи с этим встает серьезный вопрос о повышении качества принятия решений в разного рода ситуациях. Трудности, которые возникают в процессе принятия решений, включают неопределенности, ошибки в выборе приоритетов и недостаточность знаний об объектах, субъектах и их свойствах, характеристиках и их значениях в разных ситуациях, а также другие виды неопределенностей и противоречий. Все вышесказанное можно отнести к решению задач мониторинга воздушно-космического пространства, которые в последнее время значительно усложнились [1–5].

Онтологии служат для систем организации знаний и применяются в тех сферах, где необходимо выявить взаимосвязи элементов и обнаружить новые факты с учетом имеющихся сложных правил и связей между элементами, которые позволяют сделать извлечение знаний автоматическим. Онтологии разрабатывают:

- для анализа знаний в предметной области;
- вывода связей и создания явных допущений в предметной области;
- совместного использования специалистами и общего понимания структуры информации.

На помощь специалистам при обработке данных и принятии решений приходят классические автоматизированные средства, основу которых составляют базы данных. Но преимуществом онтологической

модели в сравнении с классической базой данных является ее гибкость, выдача более точной и достоверной информации по запросам. К примеру, в случае когда несколько экземпляров (объектов) имеют схожие атрибуты, такие как один и тот же материал, форма, скорость или одинаковые отражающие свойства в каком-либо диапазоне (радиолокационном, оптическом, инфракрасном), онтология благодаря своей структуре поможет сделать выборку и решить, о каком объекте идет речь, ссылаясь на отношения между различными сущностями.

В более широком смысле онтологическая модель — это та же база данных, только онтология обладает рядом ключевых особенностей, и именно эти особенности позволяют рассматривать ее в качестве возможной альтернативы применительно к решаемой задаче мониторинга воздушно-космического пространства. Эти особенности таковы:

- информация, которая отсутствует в онтологии, будет классифицироваться как «неизвестная», а в классической базе данных будет трактоваться как «ошибка»;
- в онтологии индивиды (экземпляры) могут иметь более одного имени, а в базе данных каждый экземпляр должен иметь собственное уникальное имя;
- онтология может создавать неявные, скрытые связи между сущностями (экземплярами) и оперировать ими, тогда как база данных позволяет делать только те выводы, которые в нее внесены.

Целью проводимого исследования является обеспечение поддержки деятельности по накоплению, разделению и повторному использованию знаний, а также разработка онтологической модели на основе баз знаний для идентификации наблюдаемых объектов в интересах решения задач мониторинга воздушно-космического пространства.

Выбор вида модели представления знаний. Существует несколько видов моделей представления знаний [6].

1. Семантическая модель — формализованные семантики данных, таких как описанные системы концептов, свойств и отношений, смысловые единицы. Семантические модели могут применяться для индексации знаний и создания справочников, которые характерны для определенной предметной области. Термины «семантическая модель» и «онтологическая модель» в данной работе употребляются как синонимы. Семантическая модель предполагает возможность обновления, расширения и дополнения модели новыми данными и фрагментами. Если в данной модели что-то не описано и не сказано, это не означает, что это неверно. Семантическая модель не может быть создана сразу целиком.

2. Продукционная модель — это онтологическая модель представления знаний, основанная на правилах (продукциях). Она состоит из трех частей: условия, действия и постусловия. Эта модель часто используется в экспертных системах и других интеллектуальных системах. Но у данной модели есть минусы, из-за которых мы будем использовать другой тип модели. А именно:

- сложность определения порядка выполнения правил;
- сложность отслеживания зависимостей правил друг от друга;
- сложность управления версиями правил и их зависимостей.

3. Фреймовая онтология — тип онтологии, в котором используются фреймы (структуры данных) для представления знаний о предметной области. Фреймы содержат информацию о свойствах объектов, отношениях между ними и правилах, управляющих этими отношениями. Характерной особенностью фреймовой модели является то, что первоначально слоты могут быть заполнены «заданиями отсутствия» — заранее заготовленными значениями, не обязательно имеющими место в конкретной ситуации. В качестве процедурного компонента во фреймовой онтологии может выступать продукционная модель, при этом фреймы будут являться главными источниками знаний, а правила продукционной модели — играть вспомогательную роль, например, для заполнения значениями фреймов-экземпляров.

4. Гибридная онтология — это более сложная онтология, потому что данный вид объединяет элементы двух и более онтологий, создавая интегрированное представление знаний, которое охватывает различные аспекты предметной области. Гибридные онтологии используются для решения сложных проблем, требующих интеграции знаний из разных областей, и помогают обеспечить согласованность и непротиворечивость знаний в рамках одной системы.

В данной работе будет использована фреймовая онтология, потому что для решения поставленной задачи нет необходимости объединения больше двух онтологий из разных областей знаний.

Средства формального описания онтологии включают несколько альтернатив:

- представление онтологии предметной области в виде набора элементов метаданных «дублинского ядра»;
- представление онтологии предметной области на языках логики первого порядка;
- представление онтологии предметной области с использованием стандарта языка описания онтологии — *Ontology Web Language (OWL)* для информационных ресурсов Web второго поколения на платформе XML.

Реализация онтологии. Онтология состоит из отдельных индивидов, свойств и классов. Экземпляры представляют собой конкретные объекты интересующей предметной области. Свойства — это бинарные отношения между экземплярами или классами. Другими словами, свойства соединяют два экземпляра или два класса. Классы интерпретируются как множества, элементами которых являются экземпляры. Их описывают, используя формальные (математические) конструкции, которые декларируют требования для членства в классе. Подклассы являются подмножествами своего суперкласса. Классы описывают понятия предметной области.

Опишем множества экземпляров классов (индивидов) $C = (c_a, c_b, c_c, \dots, c_n)$ и отношения (свойства) между ними $O = (o_a, o_b, o_c, \dots, o_n)$.

Рассмотрим литеральные свойства объектов.

Форма объекта определяется множеством $F = \{\text{круг, конус, сфера, цилиндр}\}$. Тип объекта $T = \{\text{военно-разведывательный, геодезический, геофизический, дистанционного зондирования земли, метеорологический, навигационный, научно-исследовательский, спутник связи}\}$. Массу m космического аппарата соотносим с одной из пяти градаций из множества $M = \{\text{большие, средние, малые, ...}\}$, где «большие», если $m \geq 1500$; «средние», если $1000 \geq m < 1500$; «малые», если $500 \leq m < 1000$; «мини-спутники», если $100 \leq m < 500$; «сверхмалые», если $0 \leq m < 100$. Значения массы указываются в килограммах. Материал объекта определяется множеством $S = \{\text{АД31, Алюминий, В95, Д16, Полимеры}\}$ [7]. Орбиту космического аппарата (КА) соотносим с одной из трех градаций из множества $O = \{\text{геостационарная, околоземная, средняя, ...}\}$. Значения высоты орбиты указываются в километрах.

На рис. 1 представлена простая онтология в виде графа. Данную модель можно описать простым предложением: «Космический аппарат состоит из деталей и имеет характеристики — тип, вид, размер».

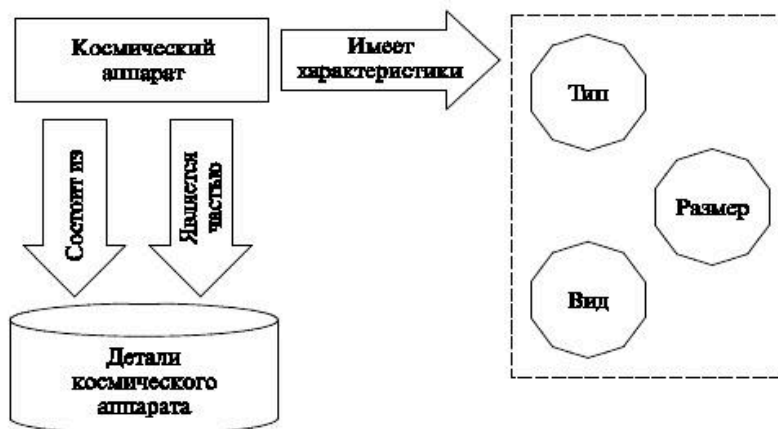


Рис. 1. Простое представление онтологии в виде графа, отношения между сущностями и их свойства

Создадим классы, экземпляры и свойства с помощью свободно распространяемого программного средства Protégé.

В данную онтологию входят следующие элементы.

1. Иерархия классов (рис. 2):

- а) вид корпуса КА;
- б) детали КА;
- в) космические объекты:
 - астероид;
 - галактика;
 - комета;
 - космический мусор;
 - космический аппарат;
 - черная дыра;
- г) орбиты;
- д) природные условия:
 - время года;
 - время суток;
 - географическая точка;
 - облачность;
- е) размер КА;
- ж) система мониторинга:
 - оптико-электронный комплекс (ОЭК);
 - радиолокационная станция (РЛС).

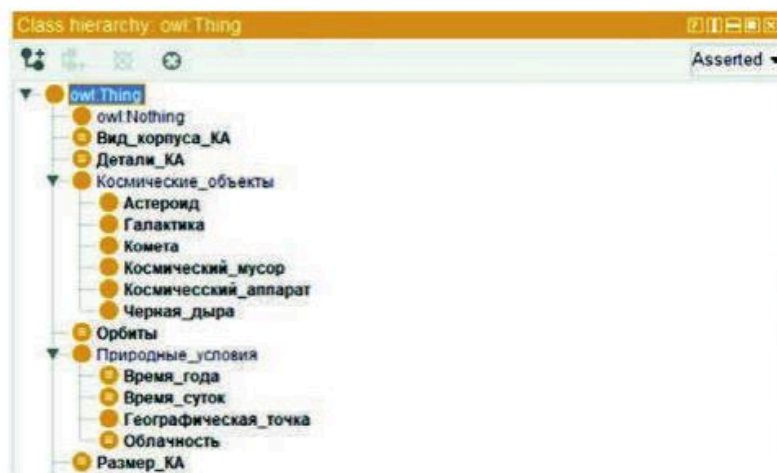


Рис. 2. Иерархия классов в онтологии

2. Экземпляры классов — свойства-отношения индивидов (рис. 3):

- а) имеет;
- б) использует;

- в) КА имеет вид корпуса;
- г) КА имеет размер;
- д) КА является типом;
- е) осуществляет орбитальный полет на высоте;
- ж) находится;
- з) обнаруживает;
- и) система мониторинга не функционирует;
- к) система мониторинга функционирует;
- л) состоит из;
- м) является частью.



Рис. 3. Свойства-отношения в онтологии

Создадим свойства-отношения, которые будут определять отношения между двумя индивидами (экземплярами классов), а именно: между субъектом и объектом в тройке будут индивиды.

Подробное описание свойств в онтологии показано ниже. В окне видны все связи, где встречается конкретное отношение между двумя индивидами. На рис. 4 показано свойство «состоит из», на рис. 5 — «является частью».

Далее создадим свойства-данные, определяющие некоторые фактические характеристики индивидов (экземпляров-классов), где субъектом тройки будет индивид, а объектом будет значение характеристики, которое может определяться в виде строк, чисел, дат и других данных. Созданные свойства данных (Data properties) индивидов показаны на рис. 6.

На основе построенной онтологии выведем онтологический граф (рис. 7).

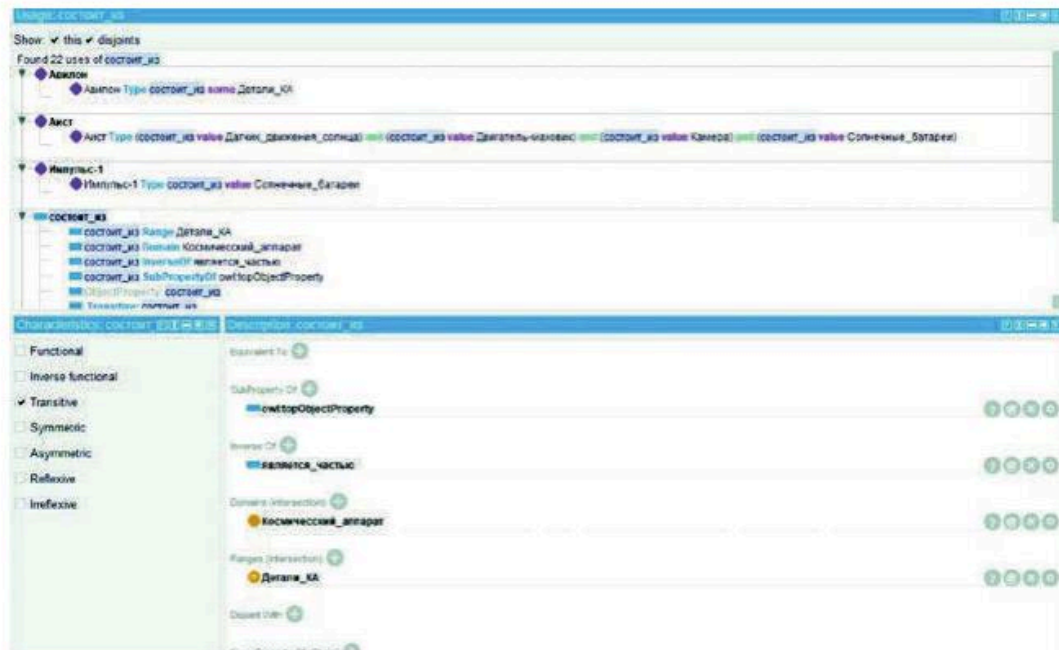


Рис. 4. Характеристики свойства «состоит из»



Рис. 5. Характеристики свойства «является частью»

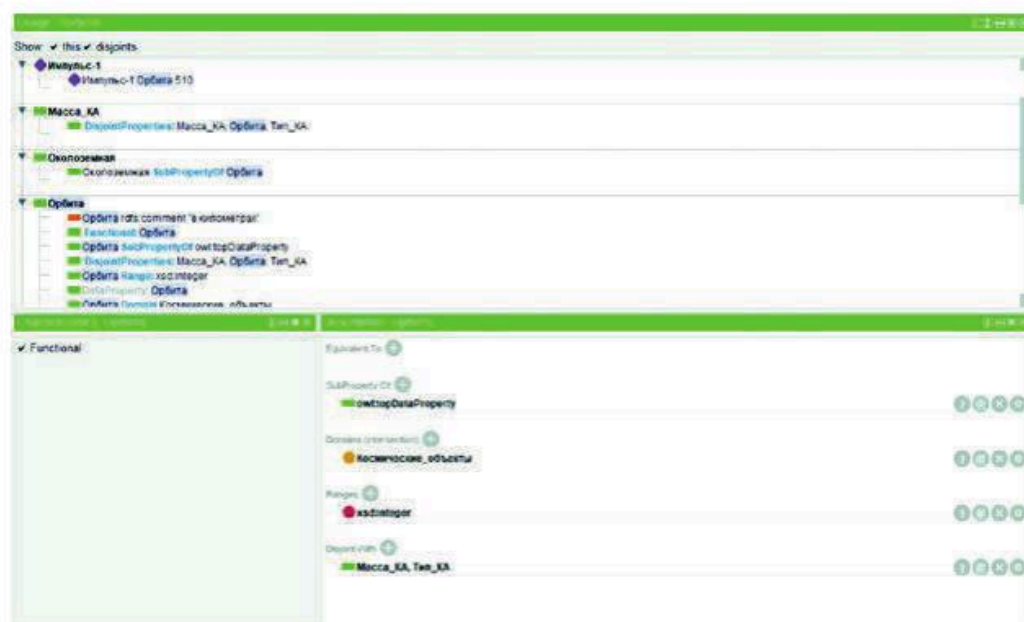


Рис. 6. Характеристики свойства данных «Орбита»

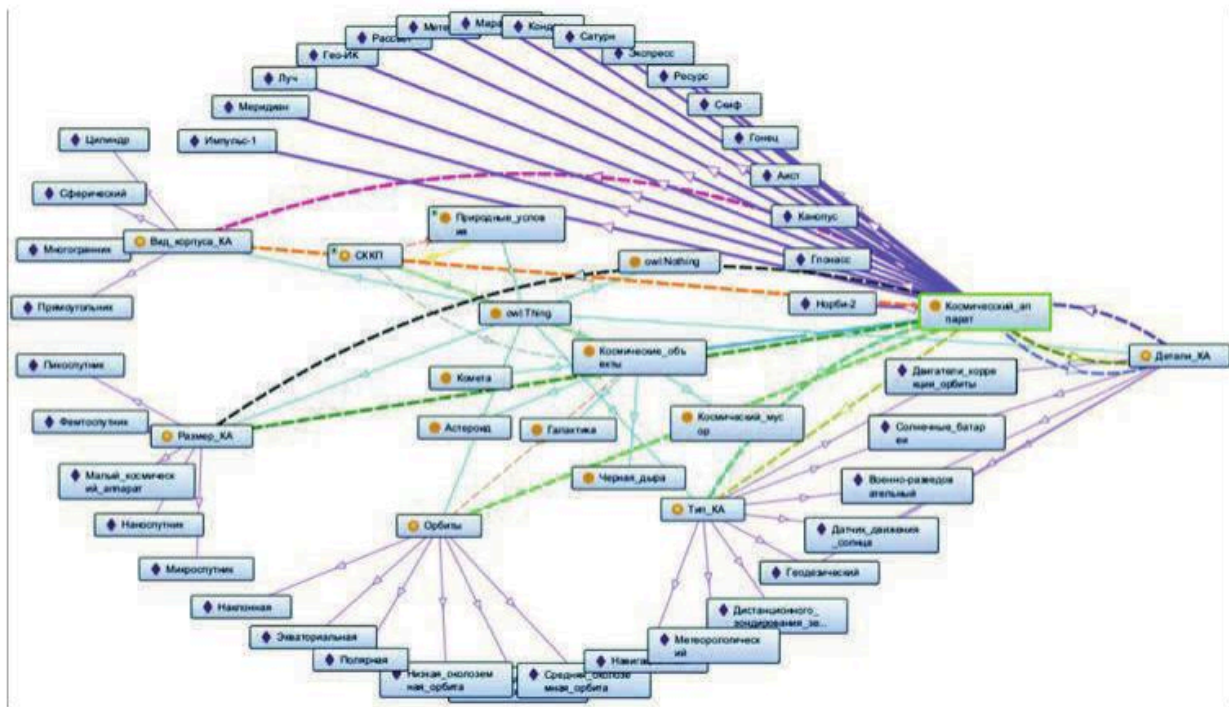


Рис. 7. Графическое представление онтологической модели

После определения и создания свойств в онтологии заполним онтологию экземплярами классов. В онтологии экземпляры классов называются индивидами, в объектно-ориентированных моделях аналогичным понятием является объект. В онтологии индивид указывается в качестве субъекта, а класс — в качестве объекта. Связь между индивидом и классом, к которому он относится, задается предикатом «rdf: type». На рис. 8 отображены созданные экземпляры классов, которые используются в онтологии.

По аналогии с базами данных для RDF (Resource Description Framework) и OWL онтологических моделей возможно выполнение запросов с целью извлечения знаний, содержащихся в них. В Protégé существует несколько способов выполнения запросов [8]. В данной статье будем использовать встроенный модуль DL Query.

Осуществлять запросы можно по суперклассам, эквивалентным классам, прямым классам и подклассам, по подклассам и по экземплярам классов.

Существует синтаксис для описания запросов внутри Protégé. Все запросы заполняются в форме Query, а ниже сразу же отображаются результаты запросов, которые основаны на заполненных данных в онтологии [9].



Рис. 8. Экземпляры классов в онтологии

Результаты моделирования. В нашей онтологии с помощью компилятора NetmiT можно построить логические связи на основе прописанных свойств данных и связей между экземплярами классов [10]. После компиляции видим следующее: онтология на основе данных сделала выводы, что деталь космического аппарата — солнечная батарея — является частью трех космических аппаратов из нашей онтологии (рис. 9). Вывод онтологии по связи между деталью и космическим аппаратом и базы знаний по экземпляру космического аппарата «Аист» представлены на рис. 10, 11.



Рис. 12. Нахождение некоторых космических объектов на заданной орбите

На рис. 12 показаны результаты запросов: в классе «Космические объекты» найдено 6 экземпляров, все они находятся в субклассе «Космические аппараты»: Аист; Импульс-1; Канопус; Марафон; Метеор; Старлинк.

В выборке находятся вышеперечисленные аппараты, потому что в каждом экземпляре класса прописаны уникальные свойства, такие как «Масса космического аппарата», «Орбита», «Тип космического аппарата».

В характеристиках свойств данных прописаны значения. Так на рис. 13 видны характеристики околоземной орбиты, что является подсвойством свойства «Орбита», куда входят геостационарная, средняя, околоземная, полярная, экваториальная орбиты. Каждое свойство и подсвойство имеют прописанные значения. В данном случае мы разбираем свойства околоземной орбиты. Если у экземпляра класса прописана высота полета и она попадает в промежуток от 150 до 2000 км, онтология определит высоту орбиты объекта как околоземную. По такому принципу работают и другие свойства данных.

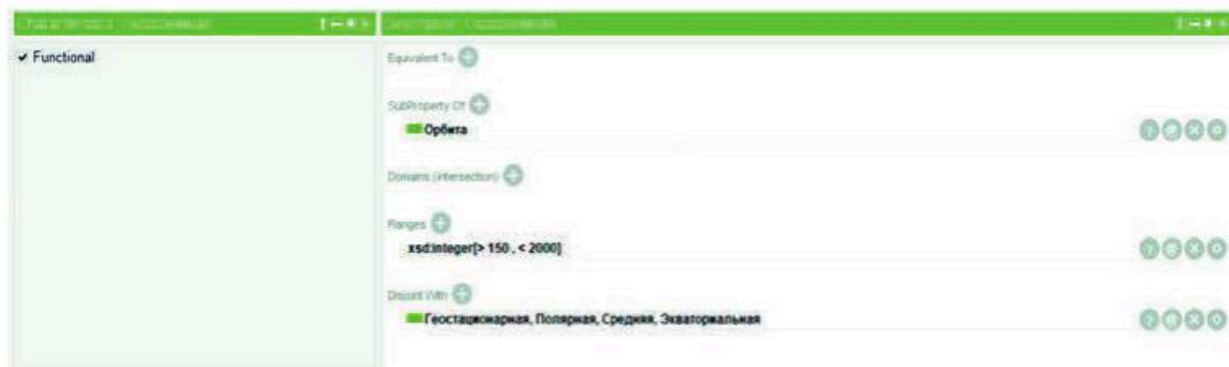


Рис. 13. Прописанные значения свойства данных «Околоземная орбита»

Рассмотрим еще несколько запросов. Необходимо узнать, какие космические объекты массой 10 кг находятся на орбите. Запрос будет выглядеть следующим образом: «Масса КА some {10}». В нашей базе знаний найден один КА «Импульс-1» массой 10 кг (рис. 14).



Рис. 14. Поиск космических объектов массой 10 кг

Выполним более сложный запрос с помощью логических операторов *or*, *and*. Необходимо выявить отдельные экземпляры обломков спутников или космические аппараты, которые по логическим связям имеют любые выносные элементы и обладают свойством формы «Куб» с типом «Спутник связи» на орбитах от 100 до 20 000 км.

Запрос выглядит так, как показано на рис. 15: **Космический_мусор or имеет_выносные_элементы some and имеет_материал some and имеет_форму some and Форма_Ка value "Куб" and Тип_КА value "Спутник_связи" and Орбита some xsd:integer[> 100 , < 20000]**.

Из всех космических аппаратов база знаний выявила три экземпляра (два космических аппарата, которые подходят по заданным параметрам, и обломки спутников) из двух разных подклассов — «Космические объекты» и «Космический мусор» (см. рис. 15).



Рис. 15. Результаты запроса

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что предложенный подход к построению интеллектуальной системы знаний в виде фреймовой онтологии может быть использован для решения задач мониторинга воздушно-космического пространства.

Заключение. Данное исследование посвящено описанию подхода к разработке фреймовой онтологии для решения задач мониторинга воздушно-космического пространства. Перечислены шаги при разработке онтологии и затронуты нетривиальные вопросы определения иерархий классов и свойств классов и экземпляров. Широко представлены результаты моделирования, которые подтверждают работоспособность созданной фреймовой онтологии.

Стоит также отметить, что проектирование онтологии — это творческий процесс и две онтологии, разработанные разными людьми, никогда не будут одинаковыми. Возможности приложения онтологии, понимание разработчиком предметной области и его точка зрения на нее будут, несомненно, влиять на принятие решений при проектировании онтологии.

Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования способов обработки данных, формируемых системой мониторинга воздушно-космического пространства, в условиях интенсивного увеличения количества космических объектов. Вместе с тем в качестве направления дальнейшего применения и совершенствования предложенного подхода можно выделить мультиагентные системы управления при решении задач динамического распределения ресурсов информационных средств мониторинга воздушно-космического пространства.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пророк В.Я., Кадочников А.П., Осадчая Д.С., Сотников С.В. Метод отождествления отметок, формируемых от группы маневрирующих объектов, на основе нечеткого кластерного анализа. *Наукоемкие технологии*. 2023, т. 24, вып. 2, с. 44–51.
- [2] Пророк В.Я., Кадочников А.П., Кадочникова Д.С., Нестеренко О.Е. Метод многогипотезного построения траектории движения группы маневрирующих летательных аппаратов на основе нечеткого логического вывода. *Информация и Космос*. 2023, вып. 3, с. 131–140.
- [3] Пророк В.Я., Кадочников А.П., Осадчая Д.С. Моделирование процесса развертывания многоспутниковой группировки низкоорбитальных космических аппаратов. *Известия Тульского государственного университета*. 2022, вып. 2, с. 339–347.

- [4] Кадочников А.П., Ерохин В.И., Осадчая Д.С., Смирнов М.С., Сотников С.В. Методика оценивания влияния ошибок первичных измерений на точность алгоритма определения параметров орбиты космических объектов. *Известия Тульского государственного университета*. 2021, вып. 9, с. 253–261.
- [5] Кадочников А.П., Ерохин В.И., Какаев В.В. Метод определения параметров орбиты космических объектов по измерениям на малых интервалах времени. *Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского*. 2022, вып. 682, с. 60–69.
- [6] *Представления знаний в интеллектуальных системах, экспертные системы*. URL: <https://habr.com/ru/articles/346236> (дата обращ 10.10.2024).
- [7] Пузин Ю.Я., Сафронов С.Л. *Основы устройства и эксплуатации космических комплексов*. Издательство Самарского университета, 2022, с. 19–99.
- [8] *Protégé*. URL: <https://amp.ru.autograndad.com/2315985/1/protege.html> (дата обращ. 10.10.2024).
- [9] Раюшкин Э.С., Колесникова В.О., Канубриков Н.Н. Построение онтологической модели «Астрономия» средствами программного обеспечения Protégé. *Молодой ученый*. 2021, № 26 (368), с. 27–32. URL: <https://moluch.ru/archive/368/82710/> (дата обращения: 10.10.2024).
- [10] *Краткие сведения о спецификациях семантической паутины*. Cyberpedia. URL: <https://cyberpedia.su/9x147ab.html> (дата обращения 10.10.2024).

Михалев Александр Владимирович — младший научный сотрудник Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. e-mail: grigoriytamasjan@mail.ru

Пророк Валерий Ярославович — д-р техн. наук, профессор кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. e-mail: val_prorok@mail.ru

Кадочников Андрей Павлович — канд. техн. наук, доцент, докторант Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. e-mail: kado162@mail.ru

Карайчев Алексей Сергеевич — адъюнкт Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского

Иванов Виталий Александрович — адъюнкт Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

An approach to building an intelligent knowledge system for solving the tasks of monitoring aerospace

© A.V. Mikhalev, V.Ya. Prorok, A.P. Kadochnikov,
A.S. Karaichev, V.A. Ivanov

Military Aerospace Academy

The article proposes an approach to building an intelligent knowledge system to solve the problems of monitoring aerospace. The choice of the type of knowledge representation model for solving the tasks of monitoring aerospace has been made. An ontological model has been developed and the results of its work are presented.

Keywords: *ontology, knowledge base, modeling.*

Mikhalev A.V., Junior research assistant at the Military Aerospace Academy.
e-mail: grigoriytamasjan@mail.ru

Prorok V.Ya., Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Department at Military Aerospace Academy.
e-mail: val_prorok@mail.ru

Kadochnikov A.P., Ph.D. (Eng.), Postgraduated student at Military Aerospace Academy.
e-mail: kado162@mail.ru

Karaichev A.S., Adjunct at the Military Aerospace Academy.

Ivanov V.A., Adjunct Military Aerospace Academy.