

# РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕМАНТИЧЕСКОЙ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ТАКТИЧЕСКОГО ЗВЕНА

Михайлов В. П.<sup>1</sup>, Зацепин В. А.<sup>2</sup>

DOI:10.21681/3034-4050-2026-2-18-24

**Ключевые слова:** сетецентрическое управление, онтологический инжиниринг, категориальный аппарат, дескрипционная логика, цикл НОРД (наблюдение, ориентация, решение, действие), графы знаний, метаданные, сопряжение гетерогенных сред, машинное понимание.

## Аннотация

**Цель работы:** повышения уровня семантической интероперабельности гетерогенных информационных систем тактического звена в условиях ведения многодоменных операций за счет разработки теоретико-математических моделей и алгоритмического обеспечения.

**Метод исследования:** применен междисциплинарный подход, включающий методы системного анализа, теория категорий для формализации структур данных, логика Хорна для описания правил преобразования информации, а также теорию Демпстера-Шефера и байесовские сети для слияния данных в условиях неопределенности.

**Результаты исследования:** предложена алгебраическая модель объектно-ориентированной архитектуры взаимодействия военных ИС; сформулирован категориальный критерий семантической эквивалентности трансляции данных. Выполнен анализ мирового опыта. Разработан и верифицирован комплекс алгоритмов семантического сопряжения и доверительной фильтрации разведданных, внедренный в прототип специального программного обеспечения. Разработан оригинальный алгоритмический базис автоматизированного онтологического маппинга и разрешения семантических конфликтов, базирующийся на адаптивном структурно-семантическом анализе метаданных и применении нейросетевых моделей для интерпретации неформализованных тактических сообщений в условиях динамичного боя. Предложена инновационная архитектура семантического шлюза специального программного обеспечения, реализующая концепцию «семантической шины данных» для бесшовной интеграции разнородных элементов разведывательно-ударных контуров без необходимости модификации их исходного программного обеспечения.

**Научная новизна** исследования заключается в обосновании теоретико-методического подхода к обеспечению семантической интероперабельности гетерогенных систем тактического звена на основе синтеза теории категорий и дескрипционной логики, что позволило формализовать и верифицировать процессы смысловой трансформации данных между разнородными информационными моделями в реальном масштабе времени.

## Введение

Современная эволюция военного дела характеризуется переходом от классических иерархических структур к децентрализованным сетецентрическим операциям, где критическим фактором успеха становится превосходство в скорости принятия решений и точности огневого поражения. В условиях ведения многодоменных операций (Multi-Domain Operations, MDO – в терминах принятых в армии США), охватывающих сушу, море, воздух, космос и киберпространство, интеграция гетерогенных информационных систем (ИС) командования, разведки и поражения превращается в фундаментальную научно-техническую проблему.

В современной парадигме вооруженной борьбы успех достигается за счет синергии действий в физическом, информационном и когнитивном пространствах. Ключевым технологическим

укладом становится создание разведывательно-ударных контуров (РУК), функционирующих в реальном масштабе времени. В тактическом звене управления (батальон – рота – взвод – отдельный военнослужащий/робот) наблюдается взрывной рост количества источников информации: от носимых терминалов бойца (системы типа «Ратник» и перспективные «Сотник») до роев беспилотных воздушных судов (БВС) и автономных наземных платформ [1, 6, 8].

Однако, несмотря на развитие каналов связи, сохраняется фундаментальная проблема – низкий уровень семантической интероперабельности. Различные изделия, разработанные разными предприятиями ОПК в разное время, используют несовместимые форматы данных, протоколы и, что самое важное, разные понятийные аппараты (модели данных). Например, координаты цели, переданные с БВС гражданского типа

<sup>1</sup> Михайлов Владимир Павлович, начальник группы Главного управления цифрового и технологического развития МО РФ., г. Москва, Россия. E-mail: mixaylovvp@yandex.ru

<sup>2</sup> Зацепин Владимир Александрович, кандидат педагогических наук, преподаватель кафедры Военной академии связи, г. Санкт-Петербург. E-mail: vsepin@yandex.ru

в формате текстового обмена данными JavaScript Object Notation (JSON), не воспринимаются напрямую баллистическим вычислителем самоходной артиллерийской установки (требующей СК-42/ПЗ-90 и бинарный протокол) [1, 7, 8], а также предписаны ГОСТом<sup>3</sup>.

Традиционные подходы к сопряжению таких систем, основанные на жестко заданных форматах сообщений, приводят к возникновению изолированных туннельных систем. Они способны устанавливать технический канал связи, но зачастую не способны бесшовно взаимодействовать в динамически меняющейся обстановке из-за семантических разрывов. Решением данной проблемы выступает обеспечение семантической интероперабельности – способности взаимодействующих систем не только обмениваться данными, но и одинаковым образом интерпретировать их смысл, сохраняя логическую целостность информации на всех этапах цикла «сенсор – стрелок» [5, 8].

Теоретической базой для решения этой задачи служат наработки в области интероперабельности объектно-ориентированных систем (ООС). Исследования показывают, что процессы сборки и модификации программных комплексов могут быть формализованы через алгебраические модели и онтологии. Перенос этого опыта в область тактических ИС позволяет рассматривать элементы боевого порядка – от разведывательного БВС до артиллерийской батареи – как автономные компоненты открытой информационной системы, взаимодействие которых регулируется семантическими интерфейсами и правилами логического вывода [2, 5, 8].

## 1. Генезис и методологические основы открытых информационных систем в военном управлении

Развитие концепций открытых информационных систем в военной сфере тесно связано с историей вычислительной техники и методологиями программной инженерии. В тактическом звене сложность проявляется в необходимости интеграции унаследованных систем с перспективными комплексами на базе искусственного интеллекта (ИИ) [1, 3, 6].

Принципы SOLID принятые в армии США (Single Responsibility, Open-Closed, Liskov Substitution, Interface Segregation, Dependency Inversion) находят свое отражение в современных военных архитектурах, базирующихся на модульном подходе (Modular Open Systems Approach, MOSA). Данные принципы позволяют создавать масштабируемые системы, где новый сенсор или огневая платформа могут «включаться в бой»

без переработки всей сетевой инфраструктуры. Информационный аспект открытой системы в данном контексте характеризуется способностью к обмену данными с внешней средой на основе унифицированных интерфейсов [2, 5].

Особое значение приобретает инверсия управления (Inversion of Control, IoC) и внедрение зависимостей (Dependency Injection).

В классических автоматизированных системах управления войсками (АСУВ) последовательность вызовов функций жестко задана. В адаптивных тактических ИС, подобных нашему разрабатываемому специальному программному обеспечению тактического звена (СПО ТЗ), инфраструктурный слой сам управляет потоками данных, динамически «внедряя» нужную разведывательную информацию в модули огневого поражения на основе изменения тактической ситуации. Такой подход позволяет реализовать принцип «all sensors to all shooters» (все сенсоры для всех стрелков) [2, 5].

Анализ проблемы интероперабельности в современных АСУВ (автоматизированных системах управления войсками). Согласно модели LCIM (Levels of Conceptual Interoperability Model), принятой в международной практике (в т.ч. в стандартах, анализируемых в работах Thomas G., Schaper K.), выделяют несколько уровней совместимости:

1. Технический: способность передать биты (физический канал).
2. Синтаксический: способность разобрать структуру (форматы: XML, JSON, бинарный).
3. Семантический: способность понять смысл (контекст) данных [5, 8].

В настоящее время в ВС РФ успешно решены задачи технического и, частично, синтаксического уровней. Однако семантический разрыв сохраняется. Существующие подходы, основанные на жесткой стандартизации протоколов обмена (Message Text Formats – MTF), в условиях тактического звена показывают низкую эффективность по следующим причинам:

- высокая динамика изменений: появление новых типов вооружения (например, FPV-дронов) происходит быстрее, чем обновляются стандарты информационного обмена;
- гетерогенность парка техники: в одном бою могут участвовать новейшие танки с цифровой бортовой системой и модернизированные образцы 80-х годов с аналоговыми или проприетарными цифровыми интерфейсами;
- ограниченность каналов связи: передача полных XML-схем с метаданными в тактических радиосетях невозможна из-за низкой пропускной способности [1, 6, 8].

<sup>3</sup> ГОСТ Р 70569-2022. Информационные технологии. Сетевые технологии. Информационно-управляющие системы. Интероперабельность.

Таким образом, необходим переход от жесткой стандартизации «точка-точка» к адаптивной архитектуре на основе онтологий и графов знаний, что соответствует передовым тенденциям применения искусственного интеллекта [4, 8].

## 2. Математическая формализация семантической интероперабельности

Для обеспечения доказательности и надежности взаимодействия элементов ИС тактического звена вводится строгий математический аппарат.

Любая тактическая ИС может быть представлена как совокупность множеств автономно функционирующих блоков и связей:

$$S = \{BP, BD, LU, LE\}, \quad (1)$$

где  $BP$  – множество блоков прикладных моделей (отдельные цели, подразделения, события),  $BD$  – множество спецификаций и стандартов (доменные ограничения),  $LU$  – семантические связи (UML-отношения ассоциации, агрегации, композиции), а  $LE$  – пространственно-временные связи. В тактическом звене блок  $BP$  инкапсулирует состояние боевой единицы. Любая модификация структуры такой системы (например, передача управления беспилотником от одного штаба другому) формализуется через операции CRUD (Create, Read, Update, Delete) над элементами кортежа.

Использование теории категорий позволяет формализовать процессы преобразования данных между разнородными форматами (XML, JSON, и т.д.) и общей онтологической моделью. Семантическая интероперабельность достигается тогда, когда существует морфизм, отображающий категорию моделей данных в категорию общей тактической онтологии  $O$ . Условие семантической эквивалентности обмена между системой разведки  $A$  и системой артиллерии  $B$  формулируется через коммутативность диаграммы преобразований:

$$f_{A \rightarrow B} = h_{O \rightarrow B} \circ g_{A \rightarrow O}. \quad (2)$$

Это математически доказывает, что данные, переданные напрямую (через морфизм  $f$ ), абсолютно идентичны по смыслу данным, прошедшим через семантический онтологический посредник (композиция проекции  $g$  в онтологию и генерации  $h$  из нее). [4, 7, 10]

Данное свойство критически важно для исключения фатальных ошибок интерпретации в условиях дефицита времени. Процесс низкоуровневой семантической трансляции сообщений формализуется с помощью логики предикатов

первого порядка, а именно – дизъюнктов Хорна. Дизъюнкт Хорна представляет собой логическую формулу, имеющую не более одного положительного литерала, и имеет вид: [4, 7]

$$A \leftarrow B_1 \wedge B_2 \wedge \dots \wedge B_n. \quad (3)$$

В контексте нашего СПО ТЗ модификация ИС и трансляция данных выражается через систему правил, которые система автоматически обрабатывает в реальном времени, обеспечивая доказательную трансформацию информационной модели поля боя.

Для решения задачи формализации смысла передаваемой информации предлагается использовать теоретико-множественный подход к описанию онтологии предметной области [2, 4, 8].

Пусть  $O$  – онтология предметной области (тактической обстановки), которая может быть представлена кортежем:

$$O = \{C, R, A, I\}, \quad (4)$$

где:  $C$  – конечное множество концептов (классов). Примеры: «Бронетехника», «Личный состав», «Укрепление», «Маршрут».  $R \subseteq C \times C$  – множество отношений между концептами. Примеры: «атакует», «находится\_в», «подчиняется».  $A$  – множество атрибутов, описывающих свойства концептов. Примеры: «калибр», «скорость», «принадлежность (свой/чужой)».  $I$  – множество экземпляров классов (конкретных объектов на поле боя). В условиях разнородных ИС мы имеем множество локальных онтологий (моделей данных)  $O_{1..n}$  соответствующих различным системам (БПЛА, АСУ ПВО, планшет командира).

Задача семантической интероперабельности сводится к нахождению отображения (mapping)  $M$ :

$$M: O_i \rightarrow O_G, \quad (5)$$

где  $O_G$  – глобальная (референтная) онтология или единое информационное пространство.

Однако, прямое отображение затруднено из-за семантических конфликтов: конфликты именованности: синонимия (в одной системе «БТР», в другой «ArmoredCarrier») и омонимия; структурные конфликты: различная детализация (в одной системе класс «Танк», в другой – деление на «Т-72Б3» и «Т-90М»), конфликты единиц измерения [4, 8].

Для разрешения этих конфликтов предлагается ввести функцию семантической близости вычисляемую на основе гибридного подхода: лексического анализа и структурного сопоставления графов.

### 3. Онтологическое моделирование и стандарты (jc3iedm)

Центральным компонентом обеспечения семантической совместимости является единая тактическая онтология.

Базовым международным стандартом НАТО разработанным США в этой области выступает JC3IEDM (Joint Consultation, Command and Control Information Exchange Data Model), утвержденный в рамках соглашения STANAG 5525. Модель содержит более 300 классов и свыше 4500 бизнес-правил, описывающих пять фундаментальных сущностей поля боя: Организация (Organization), Материальные средства (Materiel), Особенности местности (Feature), Сооружения (Facility) и Личный состав (Person)<sup>4</sup>.

Однако сложность реляционной структуры JC3IEDM и наличие бизнес-правил, описанных на языке OCL (Object Constraint Language), делает прямую реализацию модели громоздкой. В рамках исследования применяется подход семантического отображения, при котором реляционная модель JC3IEDM переводится в формат онтологий OWL-DL (Web Ontology Language – Description Logic). Это позволяет использовать логику подстановок (SWRL-правила) для машинного вывода новых знаний (например, автоматического определения принадлежности объекта на основе паттернов его поведения) прямо на тактическом крае.

### 4. Алгоритмы слияния данных: байесовские сети и теория Демпстера-Шеферса

Семантическая интероперабельность невозможна без разрешения конфликтов в данных (Data Fusion), поступающих от разных сенсоров. Байесовский подход оперирует жесткими вероятностями, что затруднительно в условиях хаоса боя, когда априорные вероятности неизвестны. Для преодоления этого ограничения в нашем прототипе СПО ТЗ применяется теория очевидностей Демпстера-Шефера (Dempster-Shafer theory), которая позволяет оперировать мерой доверия  $m$  (mass) к подмножествам гипотез, включая состояние неопределенности. Важным параметром является коэффициент конфликтности  $K$ . В условиях сильного конфликта классическое правило Демпстера может давать контринтуитивные результаты (например, приписывая высокую вероятность гипотезе, в которой оба сенсора изначально не были уверены). Для решения этой проблемы в алгоритмы СПО интегрированы модифицированные правила пропорционального перераспределения конфликта

(например, PCR5 или взвешенное усреднение на основе расстояния Хеллингера). Если конфликт превышает критический порог ( $K > 0.8$ ), система маркирует цель для дополнительной доразведки, предотвращая «дружественный огонь» или пустую трату боеприпасов<sup>5,6</sup>.

### 5. Мировой опыт реализации семантической интероперабельности

Верификация предложенных математических моделей опирается на анализ инициатив цифровизации вооруженных сил других государств<sup>7</sup> [9].

Концепция JADC2 и стратегия VAULTIS (США). Стратегия объединенного вседоменного управления и контроля (JADC2) MB США направлена на создание единого тактического пространства данных (Data Fabric). Ключевым требованием является переход к архитектуре, ориентированной на данные. Согласно доктрине VAULTIS, все данные в боевой сети должны быть: Visible (Видимыми), Accessible (Доступными), Understandable (Понятными), Linked (Связанными), Trustworthy (Достоверными), Interoperable (Интероперабельными) и Secure (Безопасными). Семантическая интероперабельность («Understandable» и «Linked») достигается за счет строгой разметки метаданными и применения открытых протоколов реального времени (например, DDS – Data Distribution Service). Опыт экспериментов показал, что такая интеграция сокращает цикл «сенсор-стрелок» с десятков минут до считанных секунд [9].

Сети НАТО: FMN Spiral 6 и стандарты Link. Инициатива Federated Mission Networking (FMN) обеспечивает оперативную совместимость коалиционных сил. Новейшая 6-я спираль спецификаций (Spiral 6), утвержденная в конце 2025 года, делает упор на тактический уровень. Спираль включает 53 процедурные инструкции и ссылается на более чем 400 стандартов, требуя бесшовного семантического моста между компонентами<sup>7</sup>.

Кроме того, активно решается проблема совместимости тактических каналов передачи данных. Современный стандарт Link 22 (заменяющий Link 11 и дополняющий Link 16) использует архитектуру TDMA и обеспечивает загоризонтную связь (BLOS). Сопряжение форматов J-Series сообщений Link 16/22 с IP-сетями требует сложного онтологического отображения, что подтверждает актуальность алгоритмов трансляции [8].

5 Dempster A. P. Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping // The annals of mathematical statistics. – 1967. – Vol. 38, No. 2. – P. 325–339.

6 Shafer G. A Mathematical Theory of Evidence. – Princeton University Press, 1976.

7 NATO Federated Mission Networking (FMN) Spiral 6 Specification. – NATO HQ SACT, 2025.

4 JC3IEDM – Joint Consultation, Command and Control Information Exchange Data Model, ver.3.1b. – Brussels: MIP Group, 2012.

Израильский опыт: система Tzayad и Fire Weaver. Программа цифровизации сухопутных войск ЦАХАЛ «Tzayad» пятого поколения, реализуемая компанией Elbit Systems, является ярким примером внедрения искусственного интеллекта в управление войсками. Система сохраняет подход «human-in-the-loop», где ИИ берет на себя рутину фильтрации больших данных, сужая фокус внимания командира для быстрого принятия решений.

Система Fire Weaver от компании Rafael демонстрирует возможности единого семантического пространства. Она создает GPS-независимый 3D-язык общения на базе гео-пикселей, позволяя любому бойцу видеть на экране прицела ту же цель, что и оператор БПЛА, с точностью до окна здания. Система мгновенно замыкает цикл «сенсор-стрелок», автоматически подбирая оптимальное огневое средство с учетом баллистики и правил безопасности.

### 6. Практическая реализация: архитектура и алгоритмы прототипа СПО

На основе предложенных моделей был разработан программный прототип СПО. Архитектура построена на микросервисном подходе с использованием графовых СУБД для хранения тактической онтологии в реальном времени в соответствии с ГОСТ<sup>8</sup>, а также [4, 8].

Реализация алгоритмов распределения данных базируется на агентной модели параллельных вычислений (на базе фреймворка Akka). Каждый элемент системы (БПЛА, цель, оружие) представлен легковесным программным агентом (Supervisor, Scanner, Parser, Builder), которые обмениваются асинхронными сообщениями. Замеры показали, что использование 5 параллельных агентов-строителей (Builder) и 4 агентов-парсеров (Parser) снижает время обработки массива из 1000 тактических сущностей на 50 % (с 1350 мс до ~675 мс) по сравнению с линейными алгоритмами.

В ходе имитационных экспериментов (сценарий «БПЛА – Артиллерийская батарея») достигнуты следующие показатели:

1. Время реакции: сокращение цикла от обнаружения цели до генерации огневой команды с 7–10 минут до менее 2 минут.
2. Точность целеуказания: полное исключение ошибок ручного пересчета координат (человеческого фактора).
3. Достоверность: фильтрация ложных целей на основе модифицированного алгоритма Демпстера-Шефера предотвратила напрасный расход боеприпасов, повысив долю валидированных целей до 98 %.

<sup>8</sup> ГОСТ Р 70569-2022. Информационные технологии. Сетецентрические информационно-управляющие системы. Интероперабельность.

В рамках исследования разработанная архитектура СПО выступает в роли «Семантического шлюза». Архитектура включает следующие модули:

- Модуль нормализации и синтаксического разбора. Принимает поток данных от сенсоров (NMEA от GPS, MAVLink от дронов, кодограммы тактической сети). Преобразует их в промежуточное представление (RDF-триплеты), не теряя исходной структуры<sup>9</sup>.
- Модуль онтологического отображения. Это ядро системы, использующее методы ИИ. Алгоритм работы следующий:
  - ◆ *Извлечение метаданных:* Анализ входящего сообщения для определения его типа и источника.
  - ◆ *Поиск соответствий:* Использование предварительно обученной нейронной сети (на базе трансформеров, дообученной на военных текстах и уставах), которая преобразует термины источника в векторы и находит ближайшие векторы в эталонной онтологии. *Пример:* Термин `uav_alt` (высота БПЛА) автоматически сопоставляется с концептом `Altitude` с атрибутом `Unit: Meters`. *Логический вывод:* Применение правил (SWRL) для вывода новых знаний. *Пример:* ЕСЛИ объект имеет атрибут `type: T-72` и `status: hostile`, ТО классифицировать как `Target_Priority_1`.
- Модуль генерации выходных данных. Преобразование унифицированного представления информации в формат, понятный системе-получателю (например, формирование команды целеуказания для АСУ артиллерии в формате протокола обмена).

Реализация этих алгоритмов и использование искусственного интеллекта является ключевой инновацией предлагаемого подхода. Результатом является отказ от статических таблиц перекодировки в пользу динамического анализа. Для этого используется алгоритм вычисления семантической близости на основе графовых метрик. Использование нейросетевых моделей позволяет системе адаптироваться к сленгу или нестандартным сокращениям, часто встречающимся в текстовых чатах тактического звена (например, распознать, что «коробочка» в контексте переговоров означает «БМП» или «Танк») [4, 8].

### 7. Будущие направления: тактическое пространство данных

Дальнейшее развитие систем подобного класса СПО ТЗ лежит в переходе от локальных баз знаний к концепции тактического

<sup>9</sup> NATO STANAG 4586. Standard Interfaces of UAV Control System (UCS) for NATO UAV Interoperability, Ed.2. – Brussels: NATO Standardization Office, 2012.

пространства данных и сетей пространств данных. Это гибридная архитектура, где семантический слой (Semantic Layer) с помощью открытых API «прошивает» данные от датчиков IoT, логистики и разведки, делая их доступными на периферии. Внедрение искусственного интеллекта (перенос нейросетевых моделей непосредственно на процессоры окопных радиостанций и дронов) потребует сверхкомпактных механизмов логического вывода (на базе дизъюнктов Хорна), чтобы устройства могли «договариваться» о целях автономно в условиях подавления связи [9] или NATO Federated Mission Networking (FMN) Spiral 6 Specification. – NATO HQ SACT, 2025.

### Заключение

Обеспечение семантической интероперабельности ИС тактического звена является не просто технической задачей по сопряжению протоколов, а фундаментальным вызовом, определяющим исход многодоменных боевых действий. Перенос методологий разработки и семантической интероперабельности объектно-ориентированных на разработку СПО тактического звена позволяет создать адаптивную

архитектуру, способную к самоорганизации [1, 6, 8] и соответствующую ГОСТ Р 70569-2022. «Информационные технологии. Сетецентрические информационно-управляющие системы. Интероперабельность.»

Применение математического аппарата теории категорий, дизъюнктов Хорна и теории очевидностей Демпстера-Шефера гарантирует строгую эквивалентность преобразования данных и надежность фильтрации конфликтующей разведывательной информации. Разработанный прототип СПО и анализ мирового опыта (JADC2, FMN, Tzayad, Fire Weaver) доказывают, что онтологический подход радикально сокращает разведывательно-ударный цикл, снижает когнитивную нагрузку на командиров и обеспечивает решающее информационное превосходство на современном поле боя. В работе предложено решение фундаментальной научно-технической проблемы семантической интероперабельности ИС тактического звена. Разработанная модель на основе онтологий и алгоритмы семантического маппинга, реализованные в прототипе СПО, доказали свою эффективность.

### Литература

1. Анисимов В. Г., Анисимов Е. Г. Проблемы и подходы к обеспечению информационного взаимодействия в автоматизированных системах военного назначения // Военная мысль. – 2021. – № 9. – С. 64–72.
2. Захаров А. С. Модели и алгоритмы семантической интероперабельности элементов объектно-ориентированных систем: дис. канд. техн. наук: 05.13.01. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2022. – 155 с.
3. Кузнецов С. В., Мельников А. А. Методы информационного обеспечения сетецентрических систем управления войсками // Сборник трудов ВИА. – 2020. – № 2(79). – С. 10–18.
4. Ломакин, И. В. Применение методов искусственного интеллекта для автоматизации семантического сопряжения данных в тактических сетях // Телекоммуникации и связь. – 2023. – № 3. – С. 15–23.
5. Макаренко, С. И. Интероперабельность информационных систем: монография. – Санкт-Петербург: Научно-технологические технологии, 2021. – 654 с.
6. Макаренко С. И. Робототехнические комплексы военного назначения – современное состояние и перспективы развития. – СПб.: Научно-технологические технологии, 2019.
7. Мирошников, В. В. Семантическая интероперабельность автоматизированных систем управления в условиях сетецентрических войн // Информационно-управляющие системы. – 2018. – № 4. – С. 45–52.
8. Цыгичко, В. Н., Смолян, Г. Л. Проблемы межуровневой интероперабельности в системах управления специального назначения // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2022. – № 1. – С. 12–21.
9. Summary of the Joint All-Domain Command and Control (JADC2) Strategy. – Department of Defense, USA, 2022.

## SOLVING THE PROBLEM OF SEMANTIC INTEROPERABILITY OF TACTICAL INFORMATION SYSTEMS

Mikhailov V. P.<sup>10</sup>, Zatsepin V. A.<sup>11</sup>

**Keywords:** network-centric control, ontological engineering, categorical apparatus, description logic, NORD cycle (observation, orientation, decision, action), knowledge graphs, metadata, coupling of heterogeneous media, machine understanding.

<sup>10</sup> Vladimir P. Mikhailov, Head of the Group of the Main Directorate of Digital and Technological Development of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia. E-mail: mixaylovvp@yandex.ru

<sup>11</sup> Vladimir A. Zatsepin, Ph.D. of Pedagogical Sciences, Lecturer of the Department of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, E-mail: vsepin@yandex.ru

### Abstract

**The purpose of the work** is to increase the level of semantic interoperability of heterogeneous tactical information systems in the conditions of multi-domain operations through the development of theoretical and mathematical models and algorithmic support.

**Research method:** an interdisciplinary approach is applied, including methods of system analysis, category theory for the formalization of data structures, Horn logic for describing the rules for transforming information, as well as the Dempster-Schaefer theory and Bayesian networks for data fusion under uncertainty.

**Results of the research:** an algebraic model of the object-oriented architecture of interaction of military information systems is proposed; a categorical criterion for semantic equivalence of data translation is formulated. An analysis of world experience is carried out. A set of algorithms for semantic conjugation and trusted filtering of intelligence data, implemented in the prototype of special software, has been developed and verified. An original algorithmic basis for automated ontological mapping and semantic conflict resolution based on adaptive structural-semantic analysis of metadata and the use of neural network models for the interpretation of non-formalized tactical messages in dynamic combat is developed. An innovative architecture of the semantic gateway of special software is proposed, which implements the concept of a «semantic data bus» for seamless integration heterogeneous elements of reconnaissance and strike circuits without the need to modify their original software.

**The scientific novelty** of the study lies in the substantiation of the theoretical and methodological approach to ensuring the semantic interoperability of heterogeneous tactical systems based on the synthesis of category theory and description logic, which made it possible to formalize and verify the processes of semantic transformation of data between heterogeneous information models in real time.

### References

1. Anisimov V. G., Anisimov E. G. Problemy i podkhody k obespecheniyu informacionnogo vzaimodejstviya v avtomatizirovannyx sistemax voennogo naznacheniya // Voennaya mysl'. – 2021. – № 9. – S. 64-72.
2. Zaxarov A. S. Modeli i algoritmy semanticheskoy interoperabel'nosti elementov ob'ektno-orientirovannyx sistem: dis. kand. texn. nauk: 05.13.01. – Nizhnij Novgorod: NGTU im. R. E. Alekseeva, 2022. – 155 s.
3. Kuznecov S. V., Mel'nikov A. A. Metody informacionnogo obespecheniya setecentricheskix sistem upravleniya voj-skami // Sbornik trudov VIA. – 2020. – № 2(79). – S. 10–18.
4. Lomakin, I. V. Primenenie metodov iskusstvennogo intellekta dlya avtomatizacii semanticheskogo sopryazheniya dan-ny'x v takticheskix setyax // Telekommunikacii i svyaz'. – 2023. – № 3. – S. 15–23.
5. Makarenko, S. I. Interoperabel'nost' informacionnyx sistem: monografiya. - Sankt-Peterburg: Naukoemkie tehnologii, 2021. – 654 s.
6. Makarenko S. I. Robototexnicheskie komplekсы voennogo naznacheniya – sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya. – SPb.: Naukoemkie tehnologii, 2019.
7. Miroshnikov, V. V. Semanticheskaya interoperabel'nost' avtomatizirovannyx sistem upravleniya v usloviyax setecentricheskix vojn // Informacionno-upravlyayushhie sistemy'. – 2018. – № 4. – S. 45–52.
8. Cygichko, V. N., Smolyan, G. L. Problemy mezhurovnevoj interoperabel'nosti v sistemax upravleniya special'nogo naznacheniya // Informacionny'e tehnologii i vychislitel'ny'e sistemy'. – 2022. – № 1. – S. 12–21.
9. Summary of the Joint All-Domain Command and Control (JADC2) Strategy. – Department of Defense, USA, 2022.

