

УДК 004.95:005

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ОПЕРАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ПЛАНИРОВАНИЮ ПОДВОЗА МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ВОЙСКАМ В ОПЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ

М.Г. Пантелеев, Д.А. Филиппов (Санкт-Петербург)

1. Состояние вопроса. Постановка цели и задач исследования

Важнейшим условием успешного ведения операций группировками войск является организация их всестороннего и своевременного материально-технического обеспечения (МТО) [1-3]. В настоящее время с учетом опыта проведения СВО существенно возросли требования к оперативности и качеству принятия решений по МТО войск. Данное обстоятельство актуализирует необходимость автоматизации деятельности должностных лиц, решающих широкий спектр задач планирования и реализации МТО.

Существующие средства автоматизации деятельности должностных лиц МТО ориентированы, главным образом, на решение задач учета МС, ведения документооборота и т.п. Для решения логистических задач МТО традиционно используются модели теории массового обслуживания и различные инструменты имитационного моделирования [4-6]. Такой подход позволяет решать задачи МТО при некоторых усредненных допущениях относительно исходных данных, однако не удовлетворяет требованиям оперативности принятия решений и всестороннего учета факторов динамично меняющейся оперативной обстановки на ТВД.

При определении перспективных подходов к автоматизации решения задач МТО необходимо учитывать высокую динамику развития форм, методов и средств вооруженного противоборства. Это обстоятельство обуславливает появление новых типов угроз, которые необходимо учитывать при решении задач МТО. К наиболее существенным факторам относятся:

- возрастающие возможности огневого воздействия противника на все большую (постоянно возрастающую) глубину оперативного построения наших войск, в частности за счет массового применения БПЛА различных типов и других средств поражения;
- применение противником разнообразных тактик ведения боевых действий, направленных на срыв МТО нашей группировки войск (включая, диверсионную деятельность, дистанционное минирование путей подвоза и др.).

Высокая динамика общей оперативной обстановки на ТВД требует, в частности, учета в реальном времени текущего и прогнозируемого в краткосрочной перспективе состояния дорожной сети, с учетом погодных и других факторов, имеющих малый горизонт прогнозирования.

Таким образом, в настоящее время является актуальным создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений (СППР) для оперативного решения задач МТО с учетом широкого спектра динамично меняющихся факторов оперативной обстановки.

Существенной особенностью ведения современных операций является значительная удаленность от районов постоянной дислокации войск и стационарных баз (складов) хранения материальных средств (МС). Вследствие этого одной из ключевых задач МТО является оперативное планирование своевременного и надежного подвоза МС обеспечиваемым частям и соединениям в условиях сложной быстроменяющейся обстановки на ТВД.

Целью настоящего исследования является разработка и практическая апробация подхода к построению СППР нового поколения для решения задач МТО на основе перспективных технологий управления знаниями. Разработка и апробация подхода в рамках настоящего исследования проводилась применительно к задаче оперативного планирования подвоза МС.

В процессе проведения исследований решались следующие основные задачи:

- уточнение постановки задачи и требований к СППР;
- разработка принципов построения и общего сценария использования СППР (основные этапы и укрупненные алгоритмы);
- выбор и разработка моделей и методов решения частных подзадач в рамках общего сценария;
- разработка архитектуры СППР;
- разработка пилотной онтологии;
- разработка и экспериментальная апробация прототипа СППР на основе новых технологий работы со знаниями.

2. Применяемые методы решения задач и принятые допущения

2.1. Уточненная постановка задачи

Задача оперативного планирования подвоза МС включает следующие подзадачи:

1. определение места (или мест) целесообразного размещения объекта (объектов) хранения (ОХ) МС – складов;

2. определение возможных (основных и резервных) маршрутов подвоза МС потребителям и их оценку с учетом множества факторов;

3. определение наряда сил и средств подразделений МТО, необходимых для обеспечения своевременного и надежного подвоза МС требуемого объема и номенклатуры обеспечиваемым частям и соединениям.

Исходными данными задачи являются:

- состав обеспечиваемых соединений и частей (объектов потребителей – ОП);
- районы их дислокации (предназначения);
- продолжительность операции;
- лимит расхода МС на день операции для каждого ОП по каждому виду МС;
- неснижаемые (минимальные) уровни запасов МС для каждого потребителя по каждому виду МС.
- места первичной поставки МС.

Первичная поставка МС осуществляется на объекты выгрузки (ОВ), в качестве которых используются выгрузочные ж/д станции (ВСт). В общем случае при решении задачи оперативного планирования могут рассматриваться несколько вариантов выбора ОВ для поставок в течение планового периода. Для поставки может быть задействовано несколько ОВ, на которые могут поступать части общего необходимого объема МС. Предполагается, что объемы суточной поставки соответствуют суммарному суточному потреблению всех обеспечиваемых частей и соединений – объектов потребителей (ОП).

2.2. Принципы построения СППР

На основе анализа особенностей проблемной области и решаемого класса задач в основу подхода к разработке СППР положены следующие основные принципы:

- открытость системы на уровне явной концептуальной модели проблемной области, представленной онтологической базой знаний (ОБЗ);
- гибридный характер СППР – использование для решения частных (под)задач различных формальных моделей и методов – аналитических, логических и эвристических (основанных на экспертных знаниях);

– интерактивность и итеративность процесса формирования решений – варианты решения частных подзадач и общей задачи и их оценки формируются пошагово в режиме интерактивного взаимодействия с пользователем СППР (ЛПР);

– многокритериальность – оценка вариантов, формируемых на различных этапах решения общей задачи, выполняется по множеству критериев, которое может расширяться путем пополнения базы знаний;

– использование основанного на ГИС интерфейса пользователя, обеспечивающего ввод и отображение необходимых данных на картфоне;

– объяснимость решений (формируемых рекомендаций) – пользователю СППР (ЛПР) может предоставляться информация о том, каким образом (на основе каких данных и с использованием каких методов) было сформировано та или иная рекомендация.

2.3. Использование онтологической БЗ

Открытость СППР обеспечивается явным представлением концептуальных знаний о проблемной области в ОБЗ и возможностью ее расширения при необходимости [7, 8].

Например, при появлении новых подлежащих учету факторов риска в ОБЗ могут добавляться их онтологические описания, наряду с новыми критериями и методами оценки вариантов решений с учетом этих факторов.

В соответствии с современным подходом, ОБЗ строятся с использованием стандартизированного языка OWL [9], имеющего формальную семантику на основе дескриптивных логик. Использование OWL позволяет унифицировать представление экспертных знаний и методы логического вывода. Важным достоинством использования явных знаний является возможность обеспечить объяснимость формируемых рекомендаций, что является существенным для данного класса приложений.

В общем случае в ОБЗ определяются следующие типы сущностей: классы простые и объектные свойства, индивиды.

Пилотная онтология, разработанная для макета СППР, на верхнем уровне иерархии включает, в частности, следующие основные классы: «Объект_логистики», «Факторы_размещения_ОХ», «Элемент_дорожной_сети», «Дорожное_покрытие», «Маршрут_доставки», «Состояние_дороги», «Природные_факторы», «Факторы_целенаправленного_воздействия».

Класс «Объект_логистики» имеет подклассы «Объект_погрузки» и «Объект_разгрузки». Подклассами «Объекта_погрузки» являются классы «ОВ» и «ОХ», а подклассами «Объекта_разгрузки» – классы «ОП» и «ОХ».

Класс «Природные_факторы» имеет подклассы «Дождь», «Снег» и др.

Для класса «Факторы_размещения_ОХ» в текущей версии онтологии определены подклассы «Тип_грунта» и «Факторы_маскировки», которые должны анализироваться при определении предварительных вариантов возможного размещения ОХ. Класс «Факторы_маскировки», в свою очередь, имеет подклассы: «Лесной_массив», «Лесопосадки», «Сады», «Складки_местности», «Хозяйственные_постройки».

Для класса «Состояние_дороги» в онтологии определены подклассы «Сухое», «Мокрое», «Заснеженное», «Гололедица», «Залитое_водой» и др.

Для класса «Факторы_целенаправленного_воздействия» в текущей версии онтологии определены подклассы «Затопление», «Минирование_участка_дороги», «Обстрел_средствами_ближнего_действия» и «Обстрел_средствами_дальнего_действия».

Фрагмент онтологии, разработанной в рамках макета СППР с использованием редактора Protege, представлен на рисунке 1.

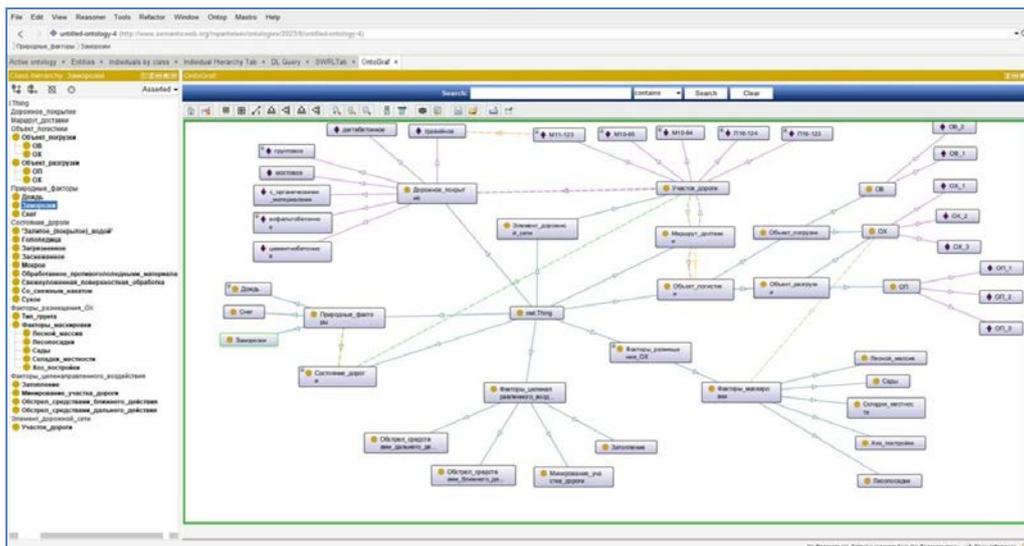


Рис. 1 – Фрагмент онтологии СППР оперативного планирования подвоза МС

Объектные свойства описывают отношения между сущностями разных классов. Примеры таких свойств, относящихся к классам «ОХ», «Маршрут_доставки», «Участок_дороги» и «Природный_фактор» приведены в таблице 1.

Состав индивидов в онтологии макета СППР определен в соответствии с данными контрольного примера, разработанного для демонстрационного сценария. Основными объектами являются объекты ОВ, ОП1-ОП3, ОХ. Кроме того, в онтологию внесены экземпляры участков дороги, относящихся к разным маршрутам.

Класс «Участок дороги» в свою очередь является подклассом класса «Элемент дорожной сети». Например, объект М10-64, являющийся экземпляром класса «Участок дороги», в контрольном примере характеризуется значениями свойств «тип покрытия – асфальтобетонное», «состояние – сильно мокрое».

Таблица 1 – Примеры объектных свойств в онтологии СППР планирования МТО

Объектное свойство	Класс, являющийся областью определения свойства (Domain)	Класс, являющийся областью значений свойства (Range)
имеет_факторы_маскировки	ОХ	Факторы_маскировки
включает_участок	Маршрут_доставки	Участок_дороги
имеет_пункт_погрузки	Маршрут_доставки	Объект_логистики
имеет_пункт_разгрузки	Маршрут_доставки	Объект_логистики
имеет_покрытие	Участок_дороги	Дорожное_покрытие
имеет_состояние_дороги	Участок_дороги	Состояние_дороги
относится_к_маршруту	Участок_дороги	Маршрут_доставки
влияет_на_состояние_дороги	Природный_фактор	Состояние_дороги

2.4. Этапы работы СППР, модели и методы решения частных задач

Укрупненный сценарий решения задачи оперативного планирования подвоза МС с использованием СППР включает следующие шаги:

1. выбор региона проведения операции (ТВД), с загрузкой в ГИС соответствующей карты;
2. ввод, редактирование и отображение (в том числе на картфоне ГИС):
 - данных об объектах выгрузки (ОВ) – выгрузочных станциях, включая суточное поступление МС;
 - данных об объектах-потребителях (ОП) МС, включая их расположение, суточное потребление МС и др.;
 - возможного района расположения объектов хранения (ОХ) – полевых складов и предварительных вариантов их возможного размещения в данном районе, включая параметры: емкость хранения, фронт погрузки/разгрузки и др.;
3. ввод и отображение оперативной информации о факторах, влияющих на определение и оценку вариантов решения в части выбора маршрутов по всем плечам подвоза и в части выбора варианта размещения склада;
4. определение для каждого плеча подвоза возможных маршрутов движения и их многофакторная оценка;
5. многофакторная оценка вариантов размещения полевого склада в заданном районе;
6. определение сил и средств подразделений МТО, необходимых для подвоза МС обеспечиваемым частям и соединениям.

Шаги 1-3 укрупненного сценария соответствуют заданию исходных данных задачи оперативного планирования подвоза МС.

К факторам, влияющим на определение и оценку вариантов решения, относятся:

- природные факторы, влияющие, в частности, на состояние дорожной сети;
- факторы (риски) возможного целенаправленного воздействия противника.

Классификация таких факторов, а также знания о характере и степени их влияния на различные аспекты формирования вариантов подвоза МС и их оценки содержатся в ОБЗ СППР и могут, при необходимости, уточняться и пополняться.

На шаге 4 для каждого плеча подвоза определяются, как минимум, два маршрута: кратчайший и самый быстрый (характеризующийся минимальным временем прохождения). При необходимости по желанию пользователя могут быть определены и сохранены в качестве запасных дополнительные маршруты.

Кратчайшие маршруты определяются с использованием алгоритма поиска A*.

Для всех маршрутов рассчитывается время прохождения и оценивается надежность доставки МС потребителю при следовании данным маршрутом.

Время прохождения маршрута определяется с учетом скорости движения на его различных участках. Скорость движения, в свою очередь, зависит от типа дороги, вида транспорта, времени суток, воздействия различных факторов на дорожное покрытие и др. Предполагается, что для каждого участка маршрута в ОБЗ указан тип дорожного покрытия. Кроме того, скорость движения по участку дороги может зависеть от степени повреждения дорожного полотна вследствие целенаправленного воздействия противника.

Надежность доставки МС при следовании определенным маршрутом определяется на основе оценок рисков безопасного прохождения различных участков маршрута. Риски могут быть обусловлены различными видами возможного целенаправленного воздействия противника и должны оцениваться экспертными (эвристическими) методами.

Экспертные знания в СППР представляются с использованием продукционной модели в виде правил вида:

Если (Условие _1) & . . . & (Условие _N), то [Вывод = ...].

Продукционная модель является достаточно общей и позволяет унифицировано представлять экспертные знания о влиянии различных факторов текущей оперативной обстановки. При построении СППР на основе ОБЗ важно, что данная модель поддерживается языком SWRL [10], ориентированным на работу с онтологиями, представленными на языке OWL.

Эвристическое правило оценки безопасности прохождения участка маршрута при учете двух возможных факторов воздействия на языке SWRL имеет вид:

Если [Участок_дороги(?r) & Вероятность_воздействия_фактора0(?r, ?p0) & Вероятность_воздействия_фактора1(?r, ?p1) & equal(?p0, "Средняя") & equal(?p1, "Низкая")]

То [Вероятность_безопасного_прохождения (?r, "Средняя")].

В данном примере вероятность безопасного прохождения участка оценивается по лингвистической шкале. В общем случае синтаксис языка SWRL позволяет использовать для экспертных оценок различные шкалы.

Результаты данного этапа работы СППР могут быть отображены на картфоне ГИС. На рисунке 2 приведен пример отображения самого быстрого маршрута для плеча подвоза ОВ-ОП2. При этом в левой панели отображается информация о характере дороги (покрытия) для различных участков маршрута.

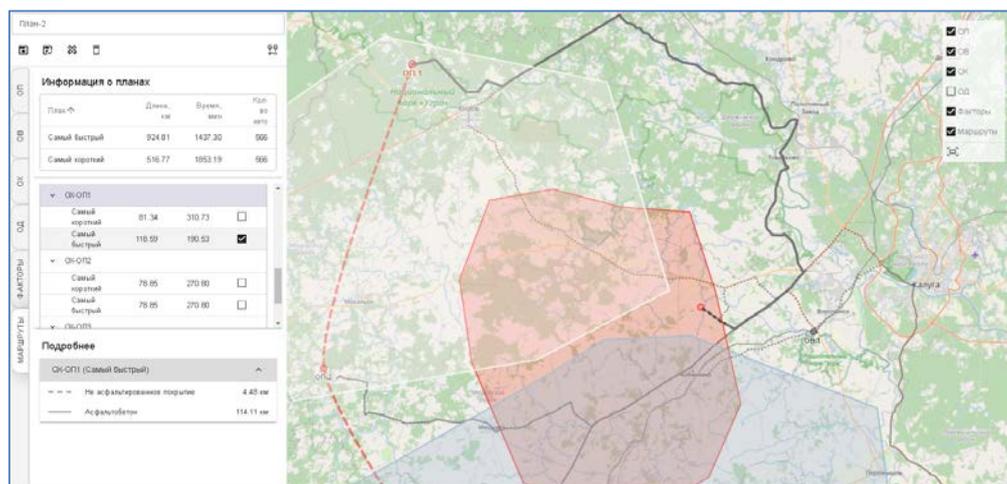


Рис. 2 – Отображение самого быстрого маршрута для плеча ОВ-ОП2

На шаге 5 выполняется интегральная многофакторная оценка всех предварительно намеченных вариантов размещения ОХ (полевого склада) в заданном районе.

При оценке вариантов комплексно учитываются различные факторы, включая характер местности, естественные возможности маскировки, интегральное время и надежность доставки МС потребителям по всем транспортным плечам при данном размещении ОХ.

На шаге 6 для выбранного по интегральному критерию варианта размещения ОХ выполняется расчет сил и средств подразделений МТО, необходимых для подвоза МС всем обеспечиваемым частям и соединениям. Данный расчет выполняется с использованием логико-аналитических моделей и эвристических правил.

В разработанном макете СППР реализована поддержка определения количества необходимых транспортных средств, а также состава и графика движения автоколонн (АК) с учетом нормативов на время движения, привалы и т.п.

Укрупненный алгоритм расчета необходимых транспортных средств включает следующие шаги:

1. расчет времен совершения полных транспортных циклов по всем плечам подвоза (полный транспортный цикл по некоторому плечу подвоза включает совершение по данному плечу прямого и обратного маршей);

2. определение необходимого количества маршей автоколонн (АК) по каждому плечу и суммарного количества автомобилей (АМ) в этих маршах (без учета нескольких маршей одного АМ);

3. определение для каждого плеча возможности повторного использования АМ в течение одной рабочей смены на данном плече. Коррекция необходимого количества АМ с учетом этой возможности;

4. определение возможности использования АМ в течение одной рабочей смены для обслуживания разных плеч;

5. определение суммарной потребности в АМ.

Время $T_{\text{ОХ-ОП1}}^{\text{ПТЦ}}$ совершения полного транспортного цикла по плечу определяется следующим образом (на примере плеча ОХ-ОП1):

$$T_{\text{ОХ-ОП1}}^{\text{ПТЦ}} = T_{\text{ОХ-ОП1}}^{\text{ПМ}} + T_{\text{ОХ-ОП1}}^{\text{ОМ}},$$

где $T_{\text{ОХ-ОП1}}^{\text{ПМ}}$ и $T_{\text{ОХ-ОП1}}^{\text{ОМ}}$ – время совершения соответственно прямого и обратного маршей по плечу ОХ-ОП1.

$$\begin{aligned} T_{\text{ОХ-ОП1}}^{\text{ПМ}} &= t_{\text{ОХ}}^{\text{П}} + t_{\text{ОХ-ОП1}}^{\text{Д}} + (t_{\text{ОХ-ОП1}}^{\text{ПР}}) + t_{\text{ОП1}}^{\text{Р}}, \\ T_{\text{ОХ-ОП1}}^{\text{ОМ}} &= t_{\text{ОП1-ОХ}}^{\text{Д}} + (t_{\text{ОП1-ОХ}}^{\text{ПР}}), \end{aligned}$$

где $t_{\text{ОХ}}^{\text{П}}$ – время погрузки АК на ОХ;

$t_{\text{ОХ-ОП1}}^{\text{Д}}$ – время движения по маршруту ОХ-ОП1;

$t_{\text{ОХ-ОП1}}^{\text{ПР}}$ – время привалов на марше по маршруту ОХ-ОП1;

$t_{\text{ОП1}}^{\text{Р}}$ – время разгрузки АК на ОП1; $t_{\text{ОХ-ОП1}}^{\text{Д}}$ – время обратного движения порожняком по маршруту от ОП1 до ОХ.

Время погрузки и разгрузки АК определяется действующими нормативами с учетом грузоподъемности АМ используемого типа и фронта погрузки/разгрузки на объектах ОХ и ОП.

Необходимое общее количество N маршей АК по плечу, которое предстоит совершить в сутки, вычисляется по формуле:

$$N_{\text{ОХ-ОП1}} = (Q_{\text{ДС1}}/2)/G_{\text{АК-ОХ-ОП1}} = Q_{\text{ДС1}}/2 \cdot G_{\text{АК-ОХ-ОП1}} = Q_{\text{ДС1}}/(2 \cdot q_{\text{АМ}} \cdot \Phi_{\text{П-ОХ}}),$$

где $Q_{\text{ДС1}}$ – суточная потребность ОП1;

$(Q_{\text{ДС1}}/2)$ – требуемый объем ежесуточной поставки на ОП1 с ОХ (в предположении, что вторая половина МС поставляется напрямую с ОВ);

$G_{\text{АК-ОХ-ОП1}}$ – грузоподъемность одной АК, работающей на данном плече.

$$G_{\text{АК-ОХ-ОП1}} = q_{\text{АМ}} \cdot A_{\text{АК}},$$

где $q_{\text{АМ}}$ – грузоподъемность одного АМ;

$A_{\text{АК}}$ – количество АМ в одной АК, работающей на данном плече.

Суммарное количество $A_{\text{ОХ-ОП1}}$ АМ, необходимых для обслуживания плеча ОХ-ОП1 (без учета повторного использования АМ на плече в течение суток), вычисляется по формуле:

$$A_{\text{ОХ-ОП1}} = [N_{\text{ОХ-ОП1}}] \cdot A_{\text{АК-ОХ-ОП1}} + \{ \{ N_{\text{ОХ-ОП1}} \} \cdot A_{\text{АК-ОХ-ОП1}} \},$$

где $A_{\text{АК-ОХ-ОП1}}$ – количество АМ в одной АК, определяемое фронтом погрузки; $\{ \dots \}$ – остаток от деления; $[\dots]$ – округление до большего целого.

Возможность повторного использования АМ на данном плече в течение одной рабочей смены определяется исходя из нормативного времени $T_{\text{Н}}$ работы водителя в сутки и времени $T_{\text{ОХ-ОП1}}^{\text{ПТЦ}}$ полного транспортного цикла на данном плече работы:

$$M_{\text{ОХ-опл}} = T_H / T_{\text{ОХ-опл}}^{\text{ПТЦ}},$$

С учетом возможности повторного использования АМ на некотором плече выполняться коррекция необходимого количества АМ. Результатом работы данного этапа является суммарная потребность A^* в АМ, определяемая как сумма АМ, необходимых для обслуживания всех плеч:

$$A^* = \sum_i A_i'.$$

3. Анализ полученных результатов и их сопоставление с ранее известными

Разработанный подход к построению СППР основан на новых технологиях работы со знаниями, включая их накопление и использование в процессе формирования решений. Наличие явно представленных онтологических знаний о проблемной области обеспечивает открытость системы, т.е. возможность и простоту наращивания ее функционала при появлении новых факторов, подлежащих учету при решении задач планирования МТО. В условиях высокодинамичного развития форм, методов и средств вооруженного противоборства это позволяет оперативно адаптировать систему к новым вызовам и обеспечить качество новой уровень автоматизации деятельности лиц, принимающих оперативные решения.

Подход предусматривает гибридную архитектуру, обеспечивающую гибкое сочетание различных типов моделей и методов (аналитических, формально-логических, эвристических) для решения частных задач в процессе формирования итогового решения.

4. Заключение

Онтологический подход к построению СППР апробирован в рамках созданного макета на примере задачи оперативного планирования подвоза МС войскам в операции. Полученные экспериментальные результаты подтвердили работоспособность и эффективность предложенного подхода, а также целесообразность его развития и практического внедрения при создании перспективных автоматизированных систем в интересах органов военного управления МТО.

Литература

1. Методы планирования обеспечения артиллерийскими боеприпасами и восстановления вооружения ракетных войск и артиллерии в армейской оборонительной операции В.А.Кулешов, А.А. Гончаров. Военная мысль. № 12. 2019. С 104-110
2. **Серба В.Я., Грачев В.В.** Проблемы и направления совершенствования системы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации// Военная мысль. 2018. № 5. С. 37-42.
3. **Селезнев А.А., Барсуков С.С.** Тыловое и техническое обеспечение в ходе проведения специальной военной операции, проблемные вопросы и пути решения// Актуальные исследования, 2024, № 21 (203).
4. **Воробьев А.А., Загодарчук И.В., Филяев М.П.** Имитационное моделирование в военном деле / Научные проблемы МТО ВС РФ: сб. науч. трудов. – СПб: Изд-во Политехнического университета. 2018. Вып. 3 (9). С. 42-49.
5. **Филяев М.П.** Повышение эффективности процессов материально-технического обеспечения на основе применения современных инструментальных средств имитационного моделирования / Информационные системы и технологии: теория и практика. Сб. науч. трудов. – СПб: Изд-во СПбГЛТУ, 2018. С. 45-50.
6. **Филяев М.П.** Проблемные вопросы постановки задач при разработке имитационных моделей логистических процессов // ИММОД-2021, с. 425- 431

7. **Лебедев С.В., Пантелеев М.Г.** Онтологическое проектирование подсистемы оценки обстановки интеллектуальных агентов // Онтология проектирования. 2016. Т. 6, №3 (21). С. 297-316.
8. **Лебедев С.В., Пантелеев М.Г., Скориков Д.В.** Построение онтологических баз знаний для информационно-аналитического сопровождения международных договоров и соглашений в военной области // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019, № 3. С. 23-31.
9. OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition). <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>.
10. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. <https://www.w3.org/submissions/SWRL>