УДК 658.012.32:004.942

О.Е. Федорович, Т.Н. Назаренко, А.К. Кайдалов

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков

МУЛЬТИАГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОММУНИКАЦИОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В КОМАНДНО-ШТАБНЫХ УЧЕНИЯХ

Проводится исследование коммуникационных взаимодействий участников командно-штабных учений (КШУ) для формирования и уточнения сценария проведения учений. Для адекватного моделирования коммуникационных взаимодействий используется современный метод, основанный на агентном представлении участников КШУ. Проведена классификация и выделены основные типы агентов для имитационного моделирования. Внутренняя структура агентов построена с использованием знаниеориентированного представления. Разработана архитектура мультиагентной модели. При построении модели использована платформа JADE, которая предоставляет графический интерфейс пользователя и позволяет проводить итерационный процесс моделирования. Построены алгоритмы поведения агентов, а также схема взаимодействия агентов. Предложенная модель позволяет исследовать различные сценарии КШУ для формирования плана учений и организации взаимодействия участников.

Ключевые слова: *командно-штабные учения, мультиагентное моделирование*, *протокол коммуникационного взаимодействия*, *имитационная модель.*

Введение

От степени подготовки личного состава и корректности планов проведения командно-штабных учений (КШУ) во многом зависит своевременное и успешное выполнение поставленных боевых задач в реальных условиях. Важнейшим условием высокой эффективности проведения КШУ является качество сценариев и планов, которые необходимо промоделировать с учетом различных ситуаций.

© О.Е. Федорович, Т.Н. Назаренко, А.К. Кайдалов

Командно-штабное учение (КШУ) – одна из форм подготовки командиров и штабов. КШУ организуется с целью повышения слаженности органов управления, усвоения теории и практики организации и ведения различных видов боевых действий. Для проведения КШУ назначаются руководитель-командующий, штаб (руководство) и участники. Кроме участников боевых действий, на учение могут привлекаться разведывательные формирования, формирования связи и т.д. Каждый из участников выполняет функциональные обязанности в соответствии со званием, должностью и планом проведения КШУ [1].

Основные цели командно-штабного учения:

– повышение теоретических знаний и практических навыков проведения боевых действий;

– отработка коммуникационных взаимодействий;

– уточнение и отработка вопросов управления отдельными родами войск и формированиями;

Для создания достоверных планов проведения учений и отработки коммуникационных взаимодействий участников КШУ необходимо проводить многократное имитационное моделирование, что позволит оценить эффективность боевых действий в КШУ, правильность управляющих решений, и отработать схему координации участников КШУ.

В данной публикации рассматривается актуальная задача моделирования коммуникационных взаимодействий участников КШУ, которая решается с помощью современной технологии мультиагентного моделирования.

Постановка задачи исследования

Подготовка к проведению КШУ осуществляется в соответствии с разработанным планом учений. Форма и содержание этого плана зависят от масштаба военных действий, целей и задач учения.

Разрабатываемая модель должна имитировать динамические процессы боевых действий, обеспечивать согласованность всех подразделений, оперативность принятия решений по управлению.

В работе предложено использовать агентный подход. Основные преимущества применения данного подхода для моделирования процессов управления КШУ состоят в следующем [2]:

– автономность различных частей моделирующей программы (агентов), совместно функционирующих в распределенной системе, где одновременно протекает множество взаимосвязанных процессов;

– наличие элементов индивидуального поведения (от простых условий и ограничений, до сложных, которые учитывают цели и стратегии);

– агенты имеют возможность обучаться, адаптироваться и менять свое поведение, иметь динамические связи с другими агентами, которые могут формироваться и исчезать в процессе функционирования.

При построении мультиагентной имитационной модели проведения КШУ необходимо решить следующие основные задачи [3]:

– выделить типы участников КШУ и разработать архитектуру модели;

– закрепить роли и полномочия;

– обеспечить процесс принятия решений в случае сложных протоколов взаимодействия;

– разработать сценарий взаимодействия агентов;

– описать индивидуальное поведение агентов.

Разработка мультиагентной системы проводится с использованием платформы JADE (Java Agent Development Framework) [4], которая обеспечивает взаимодействие агентов, передачу сообщений между агентами, поддержку онтологий; управление агентами и их жизненным циклом.

Архитектура мультиагентной имитационной модели

В разработанной агентной модели выделены следующие типы агентов (Рис. 1.):

1. AG_{gen} – **агент-генератор.** Сценарий поведения агента связан с формированием новых сценариев проведения КШУ.

Основными переменными состояния для этого агента является:

– масштаб КШУ;
– цели КШУ;
– состав участников КШУ;
– метод проведения КШУ;
– место проведения КШУ;
– выделенные средства;
– сроки

2. $Task_{Ag}$ – **агент-задача**. Основной целью данного агента является формирование и успешное выполнение боевых задач КШУ (в установленные сроки, в полном объеме, за выделенные средства и с требуемым качеством).

Агент имеет ряд переменных состояния:

– тип боевой задачи КШУ;
– длительность исполнения задачи;
– объем выполненных работ;
– трудоемкость выполнения;
– условия выполнения;
– ограничения на сроки исполнения задачи;
– затраты для выполнения;
– приоритеты;
– условия синхронизации;
– ресурсы;
– сроки;

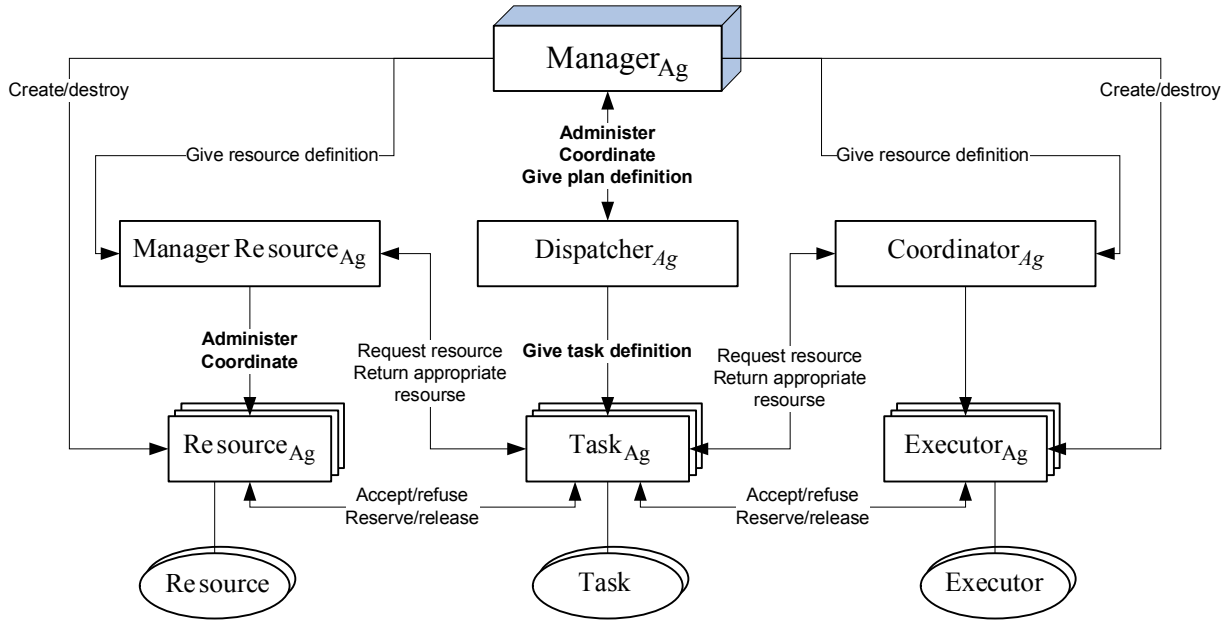

Рис. 1. Архитектура мультиагентной имитационной модели

3. Executor$_{Ag}$ – **агент-участник.** Данный агент предназначен для моделирования поведения участников и командного состава КШУ при выполнении отдельных боевых задач. При построении модели необходимо учитывать существующую иерархию подчиненности в организационной системе управления КШУ. Взаимодействия агентов-участников поддерживаются благодаря процессам коммуникаций, существующим в организационной структуре, которые принято подразделять на горизонтальные (носят характер согласования) и вертикальные (предназначены для управляющих воздействий) [5]. Необходимо также учитывать информационные каналы связи между узлами организационной структуры; характер и динамику информационного обмена между ними в процессе управления на всех уровнях. Роль агента-участника в каждом коммуникационном взаимодействии (инициатор, лицо, принимающее решение, координатор, руководитель, непосредственный исполнитель и т.д.) будет влиять на выбор соответствующего сценария поведения и протокола взаимодействия с другими агентами.

Приведем ряд переменных состояния для данного типа агента:

– звание и должность;

– возможность выполнять определенную задачу в соответствии с планом КШУ;

– роль в коммуникационном взаимодействии;

– выполняемая задача;

– очередь задач на выполнение;

– опыт участия в КШУ;

4. Manager$_{Ag}$ – **агент-команующий.** Осуществляет планирование боевых действий КШУ. В его задачи входит:

– формирование последовательности боевых действий;

– назначение сроков начала и окончания боевых действий;

– определение требований к участникам КШУ;

– закрепление ресурсов;

– организация процесса перепланирования КШУ (создание новых задач или удаление старых, определение новых ролей);

– создание новых агентов ресурса.

5. Manager Resource$_{Ag}$ – **агент управления ресурсами.** Предназначен для организации согласованного доступа к имеющимся ресурсам. Его цель – удовлетворение ресурсной потребности и минимизация задержек выполнения боевых действий. Данный агент осуществляет подбор ресурсов для каждого действия, контроль параметров ресурсов, подсчет затрат на хранение. При изменении потребности в ресурсах, принимает решение о выделении или сокращении определенного ресурса, или увеличению складских помещений, тем самым осуществляя постоянную адаптацию и эволюционное развитие. Каждый агент-ресурс в системе зарегистрирован и приписан к одному из агентов управления ресурсами, общее количество которых может определяться, например, группированием ресурсов по каким-либо признакам.

Для агентов-участников ту же роль выполняет Coordinator$_{Ag}$ – **агент координации участников.**

6. Dispatcher$_{Ag}$ – **агент-штаб** осуществляет общий контроль и управление моделированием плана КШУ, обеспечивает поддержку при решении возникающих конфликтов, если это находится в его

компетенции, помогает агентам в координации действий, распределяет привилегии, осуществляет планирование событий в системе, связанных с выполнением боевых задач, синхронизацию, обеспечивает генерацию заявок. Общими целями агента-штаба являются: минимизация количества ресурсов, частоты перераспределения ресурсов между задачами и числа ресурсных конфликтов.

Для агентов реализован язык коммуникаций и транспортный уровень для передачи сообщений. Для агентов, координирующих работу других агентов, создается реестр агентов AR (Agent register). Этот каталог содержит сведения обо всех существующих агентах, включая их описанные атрибуты. Например, для агентов $Task_{Ag}$ заданы следующие атрибуты: тип боевой задачи КШУ; длительность исполнения; объем работ по задаче; трудоемкость; прямые затраты на задачу; ограничения на сроки исполнения задачи; приоритеты; условия синхронизации; ресурсы; сроки и условия выполнения. Для агентов $Executor_{Ag}$ это: уровень подчиненности; звание и должность, роль в коммуникационном взаимодействии, выполняемая боевая задача, очередь задач на выполнение и т.д.

Все перечисленные агенты принимают активное участие при проведении моделирования комплекса боевых действий, планируемых в КШУ.

Схема взаимодействия агентов

Взаимодействие агентов предложенной модели происходит по следующей схеме

1. Заявка (требование на реализацию) поступает в систему и обращается к агенту-командующему, запрашивая начало выполнения КШУ. Агент-командующий получает информацию о масштабе КШУ, назначении, составе участников, методе проведения, выделенных средствах и сроках.
2. Агент – командующий извлекает из онтологической базы знаний описание комплекса мероприятий КШУ и проверяет наличие всех входных условий для начала выполнения (выделенные ресурсы и сроки). Если все условия выполнены, агент-командующий утверждает последовательность выполняемых действий (план КШУ), формирует требования для каждой конкретной боевой задачи (тип, время начала, окончания, требуемые ресурсы и т.д.) и требования к участникам (роль в боевых действиях и в коммуникационных взаимодействиях и т.д.). После этого он отправляет требование агенту-штабу на поиск участников и закрепление ресурсов.
3. В случае невыполнения условий агент-командующий делает запрос на изменение начальных условий реализации плана КШУ.
4. При появлении агента-заявки в соответствии с планом КШУ, хранящемся в онтологической базе знаний, агент-штаб формирует поиск и закрепление агентов-участников за боевыми задачами. Поиск осуществляется с использованием реестра агентов, куда все агенты помещают информацию о себе. В качестве сценариев поиска могут быть заданы различные критерии: наименьшее время выполнения; требуемого значения коэффициента соответствия или компетентности; наименьшего коэффициента использования; наименьшего или наибольшего приоритета; кратчайшей очереди и др. При этом агент-штаб фиксирует временные задержки, связанные с отправкой запроса и получением ответа от соответствующего агента.
5. Аналогичная процедура происходит при распределении ресурсов по боевым задачам.
6. После закрепления ресурсов и участников за боевыми задачами, агент-штаб информирует агента-командующего о готовности и получает указание начинать моделирование. В соответствии с планом КШУ, агент-штаб обращается к соответствующему агенту задачи.
7. Агент задачи проверяет свою готовность и наличие всех необходимых входных условий для ее выполнения.
8. Если за данной задачей закреплены участники и ресурсы, то агент задачи осуществляет контакт с агентами-ресурсами и агентами-участниками, посылая сообщение запроса обслуживания.
9. Агент-ресурс отвечает согласием, в случае если он доступен (выделяется сразу) или отказом, в случае если он занят на выполнении другой задачи или недостаточно запрашиваемого количества данного ресурса.
10. В случае отказа агент-задача делает запрос на попытку организации одновременного (параллельного) участия ресурсов в нескольких задачах.
11. Если это не удается, происходит эскалация конфликта и в переговоры включаются агент управления ресурсами и агент-штаб.
12. Агент управления ресурсами пытается устроить подбор такого же, но свободного ресурса, или выполнить обмен уже задействованных ресурсов в задаче (на другие, с аналогичными характеристиками).
13. Агент управления ресурсами пробует задействовать новые ресурсы такого же типа, что потребует дополнительных временных и финансовых затрат.
14. В этом случае агент управления ресурсами вступает в переговоры с агентом-штабом для оценки вариантов разрешения конфликта: дождаться освобождения ресурса, пополнить (восполнить) ресурс, использовать приоритеты и задержать выполнение менее приоритетной задачи.
15. Агент-участник отвечает согласием, в случае если он свободен (выделяется сразу) или отказом, в случае если он занят на выполнении другой задачи.

16. В случае отказа происходит эскалация конфликта и в переговоры включаются агент координатор участников и агент-штаб.

17. Агент координатор участников в соответствии с онтологией каждого агента-участника осуществляет поиск на соответствие указанным требованиям для выполнения задачи. Если таких вариантов будет несколько, то устанавливается связь с тем агентом, для которого совпало наибольшее число требований и который раньше всего может быть задействован для данной задачи.

18. Когда все ресурсы и участники предоставлены, агент задачи переходит в состояние обслуживания (выполнения).

19. После завершения основной фазы активности агентом задачи освобождаются задействованные ресурсы, а агентом-заявки выполняются выходные операции (если есть необходимость, активизируются правила управления передачей заявок к следующим агентам задачи модели, принимаются решения о дальнейшем направлении моделирования).

Протоколы взаимодействия агентов

Для построения прототипа системы была выбрана платформа JADE.

Взаимодействие агентов осуществляется с помощью протоколов – формальных правил, которым должны следовать участники КШУ, использующие разные стратегии.

Основные протоколы взаимодействия (Interaction Protocol, IP) в рамках стандарта FIPA, которые используются в системе [6]:

1. Запрос на выполнение действия (Request IP). Позволяет агенту давать запрос на выполнение действия другому агенту.

2. Запрос на действие при выполнении определенного условия (Request When IP). Позволяет агенту давать запрос агенту-получателю на выполнение действия в момент, когда определенное заранее условие станет истинным.

3. Запрос на выполнение действия, связанного с информационным обеспечением (Query IP – ответ на некоторое предложение или передача описаний объектов).

4. Поиск агента для выполнения действия (Contract Net Protocol). Агент исполняет роль менеджера, которому необходимо найти одного или нескольких агентов для решения определенной боевой задачи. Основное требование – функции по выполнению этой задачи должны быть оптимальны (по времени выполнения задачи, степени достижения цели, качестве выполнения задач и др.). Для поставленной задачи все участники должны отвечать требованиям этой задачи, остальные должны быть отклонены.

Поведение агентов

Для описания поведения агентов системы используем диаграмму последовательностей UML [7]. Рассмотрим подробно поведение типовых взаимодействующих агентов.

1. Взаимодействие агента-штаба и агента-задача (рис. 2). Осуществляется с помощью AR -агента, который содержит информацию обо всех агентах-задачах. Сначала агент-штаб отправляет запрос AR -агенту о задачах, необходимых для выполнения. AR -агент отправляет агенту-штабу ответ, содержащий список доступных агентов-задач. Затем агент-штаб отправляет запрос каждой из задач, о которых ему сообщил AR -агент.

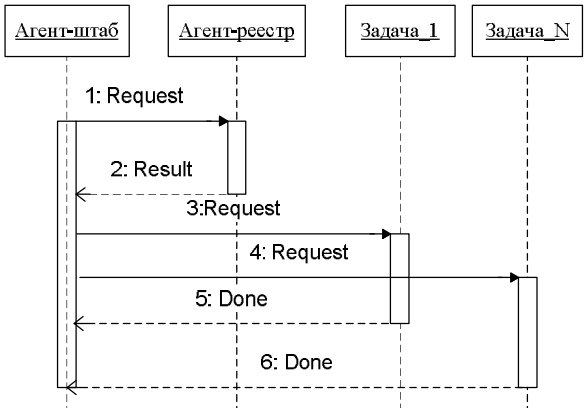

Рис.2. Взаимодействие агента-штаб и агента задача

2. Поиск исполнителей агентом-штаб (рис. 3). Агент-штаб отправляет запрос AR -агенту о доступных агентах-участниках. Получив ответ, агент-штаб формирует и отправляет запросы для каждого из агентов-участников. Т.е, в свою очередь, присылают ответы о своем состоянии. После этого агент-штаб производит выбор приемлемого участника и отправляет ему сообщение, другим же отправляется отказ.

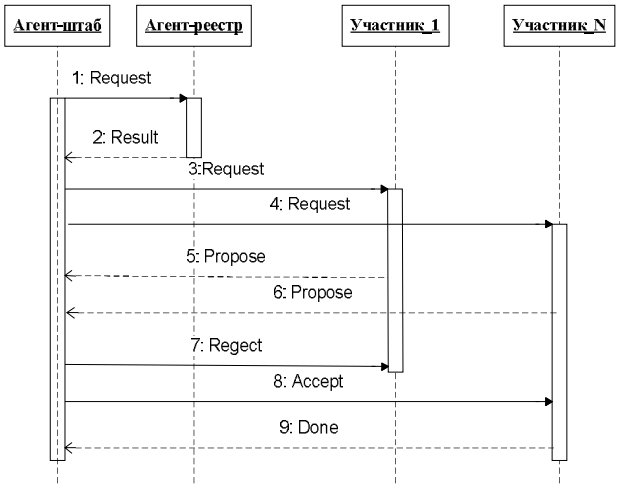

Рис.3. Взаимодействие агента-штаб и агента-участника

Выводы

Предложенный подход позволяет на стадии формирования сценария и плана проведения КШУ проимитировать путем агентного моделирования взаимодействия участников КШУ. Назначая показатели эффективности проведения боевых действий в КШУ, можно выбрать рациональный вариант плана (сценария) КШУ, что позволит обеспечить оперативность управления боевыми действиями, координацию взаимодействий участников КШУ, рассчитать объемы ресурсов и назначить реальные сроки начала и окончания КШУ.

Список литературы

1. *Технический словарь [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: http://www.ai08.org/index.php/term.*
2. *Шенина Л.А. Мультиагентная имитационная модель логистики материальных потоков производственного холодильника перерабатывающего предприятия АПК / [Электронный ресурс] / Л.А. Шенина // Научный журнал «Системы управления и информационные технологии». – 2008. - №3.2. – Режим доступа: http://elibrary.ru /contents.asp?issueid=649698.*
3. *Буряк Ю.И. Управление в многообъектных организационных системах. I. Базовые принципы построения модели предметной области / [Электронный ресурс] / Ю.И. Буряк, В.В. Инсаров // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2005. – N 2. – С. 81-92. – Режим доступа к ресурсу: http://irbis.sstu.ru/cgi-bin/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe??Z21ID=&I21DBN=MARS&P21DBN=MARS&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=1&S21P03=A=&S21STR=%D0%91%D1%83%D1%80%D1%8F%D0%BA,%20%D0%AE.%20%D0%98.*
4. *Агенты и мультиагентные платформы [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: http://aivanoff.blogspot.com/2007/12/blog-post.html.*
5. *Суровцева Е.А. Комплексная методика измерения организационных коммуникаций [Электронный ресурс] / Е.А. Суровцева Научный журнал КубГАУ. –2007. – № 33. – Режим доступа к ресурсу: http://ej.kubagro.ru/2007/09/pdf/15.pdf.*
6. *Буряк Ю.И. Управление в многообъектных организационных системах. II. Принципы реализации информационной поддержки управленческих решений / [Электронный ресурс] / Ю.И. Буряк, В.В. Инсаров // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2006. –№2. – С. 84-102. Режим доступа к ресурсу:http://irbis.sstu.ru/cgi-bin/irbis64r_91/cgiirbis_65.exe?Z21ID=&I21DBN=MARS&P21DBN=MARS&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=1&S21P03=A=&S21STR=%D0%91%D1%83%D1%80%D1%8F%D0%BA,%20%D0%AE.%20%D0%98.*
7. *Буч Г. UML. Классика CS. 2-е изд.: пер. с англ. / Г. Буч, А. Якобсон, Дж. Рамбо: под общей ред. проф. С. Орлова. – СПб.: Питер, 2006. – 736 с.*

Поступила в редколлегию 1.12.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

МУЛЬТИАГЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМУНІКАЦІЙНИХ ВЗАЄМОДІЙ В КОМАНДНО-ШТАБНИХ НАВЧАННЯХ

О.Є. Федорович, Т. М. Назаренко, А.К. Кайдалов

Проводиться дослідження комунікаційних взаємодій учасників командно-штабних навчань (КШН) для формування і уточнення сценарію проведення учень. Для адекватного моделювання комунікаційних взаємодій використовується сучасний метод, заснований на агентном представленні учасників КШН. Проведена класифікація і виділені основні типи агентів для імітаційного моделювання. Внутрішня структура агентів побудована з використанням знанняорієнтованого подання. Розроблена архітектура мультиагентной моделі. При побудові моделі використано платформу JADE, яка надає графічний інтерфейс користувача і дозволяє проводити ітераційний процес моделювання. Розроблено алгоритми поведінки агентів, а також схема взаємодії агентів. Запропонована модель дозволяє досліджувати різні сценарії КШН для побудови планів навчання і організації взаємодії учасників.

Ключові слова: *командно-штабні навчання, мультиагентне моделювання, протокол комунікаційної взаємодії, імітаційна модель*

MULTI-AGENT MODELING COMMUNICATION INTERACTIONS IN COMMAND POST EXERCISE

O.Ye. Fedorovich, T.N. Nazarenko, A.K. Kajdalov

Conducted a study of communication interactions of participants Command Post Exercises (command post exercise) to build and refine the scenario of the exercise. For the implementation of adequate simulation used a modern method based on agent representation CPXs participants. The classification is conducted and the basic types of agents are selected for simulation. The internal structure of agents built using the knowledge-representation. The architecture of multi-agent model is developed. For the construction of model the JADE platform , which provides a graphical user interface and allows iterative modeling process, was used. The algorithms of the agents behavior, as well as the scheme of interaction between agents, are offered. The proposed model allows to investigate different scenarios for Command Post Exercises rational choice of participants and the organization of their interaction.

Key words: *command post exercises, multi-agent simulation, protocol of communication interaction, simulation model*