

УДК 519.876.5

РАЗРАБОТКА КОАЛИЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

А. С. Зраенко¹, В. П. Федотов¹, К. А. Аксенов²

¹ Институт машиноведения УрО РАН,
Россия, 620049, Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34.

² Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б. Н. Ельцина,
Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19.

E-mails: zraenko@yandex.ru; fedotov@imach.uran.ru; wiper99@mail.ru

Описаны основные стадии проектирования и разработки коалиционной системы поддержки принятия решений (СППР). Приведены требования к модели, описание модели в виде кортежных структур, алгоритм мультиагентного моделирования, программный комплекс СППР и его внедрения. Сделан вывод об области применения разработанной СППР.

Ключевые слова: агент, мультиагентная система, система поддержки принятия решений, процесс преобразования ресурсов, коалиция.

Введение. Данная работа посвящена вопросам проектирования и разработки коалиционной системы поддержки принятия решений (СППР) с использованием методов мультиагентного моделирования. СППР могут использоваться в любой области человеческой деятельности, в том числе в промышленности. В настоящее время возникающие в крупном промышленном производстве задачи часто касаются взаимодействия существующих на рынке различных предприятий, исследования процессов принятия решений по совместным выполнениям крупных заказов, реализации комплексных производственных проектов одной организацией и т.д. Эти задачи с точки зрения системного анализа являются слабоструктурированными в связи с содержанием в них большого количества неопределенных параметров, которые возникают, в первую очередь, при принятии решений в процессе проектирования, распределения ресурсов и средств в производственных процессах, решении задач по контролю качества и т. д.

Описание модели. Целью разработки коалиционной модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов (МППР) является описание процессов взаимодействия агентов и формирования коалиций при решении вопросов коллективного использования ресурсов и средств в условиях параллельного выполнения МППР.

Основой для создания коалиционной модели МППР является математическая модель, разработанная К. А. Аксеновым и Н. В. Гончаровой [1]. Для реализации коалиционной модели МППР необходимо дополнение модели [1] следующими объектами: коалиция (K), база знаний коалиции (KB_K), цель коалиции (G_K), общая база знаний мультиагентной системы (МАС) (GKB), действие агента (D_A) и коалиции (D_K), план действий агента (P_A) и коали-

Алексей Сергеевич Зраенко, аспирант. Владимир Петрович Федотов (д.т.н., проф.), главный научный сотрудник, лаб. прикладной механики. Константин Александрович Аксенов (к.т.н., доц.), доцент, каф. автоматизированных систем управления.

ции (P_K), жизненный цикл агента (L_A) и коалиции (L_K). В новой модели необходимо функционирование следующих механизмов: обмена сообщениями между агентами и коалициями, формирования коалиций, формирования планов действий агента и коалиции, проведения аукционов. В коалиционной модели МППР протекают процессы, представленные на рис. 1.

Коалиционной модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов M соответствует структура, включающая множество объектов $\{Obj_1, \dots, Obj_m\}$, ориентированных на взаимодействие коалиций и агентов [2]:

$$M = \langle Name_M, Desc_M, \{Obj_1, \dots, Obj_m\}, \{Relation_1, \dots, Relation_m\}, \{Attr_1^{self}, \dots, Attr_k^{self}\} \rangle,$$

где $Name_M$ — имя модели; $Desc_M$ — описание модели; $\{Obj_1, \dots, Obj_m\}$ — объекты (элементы модели): ресурсы, средства, сообщения, преобразователи, цели, агенты, коалиции, параметры; $\{Relation_1, \dots, Relation_m\}$ — связи; $\{Attr_1^{self}, \dots, Attr_k^{self}\}$ — собственные атрибуты системы.

Для описания коалиционной модели МППР определены следующие основные понятия. Мультиагентная система в коалиционной модели МППР имеет следующую структуру [2]:

$$MAS = \langle \{A_1, \dots, A_k\}, \{K_1, \dots, K_a\}, GKB \rangle,$$

где $\{A_1, \dots, A_k\}$ — множество агентов в МАС; $\{K_1, \dots, K_a\}$ — множество коалиций в МАС; GKB — общая база знаний МАС.

Каждая коалиция K_i и каждый агент A_j имеют возможность обращаться к своим базам знаний KB_{K_i} и KB_j , получая необходимую информацию. Хранилищем информации, доступным для всех коалиций и агентов МАС, является общая база знаний GKB (General Knowledge Base). В ней хранится описание параметров всех МППР, функционирующих в данной модели МАС; методы разрешения конфликтов $\{Q_1, \dots, Q_s\}$ между агентами и коалициями и алгоритмы стратегий поведения $\{Str_1, \dots, Str_v\}$ агентов и коалиций в МАС.

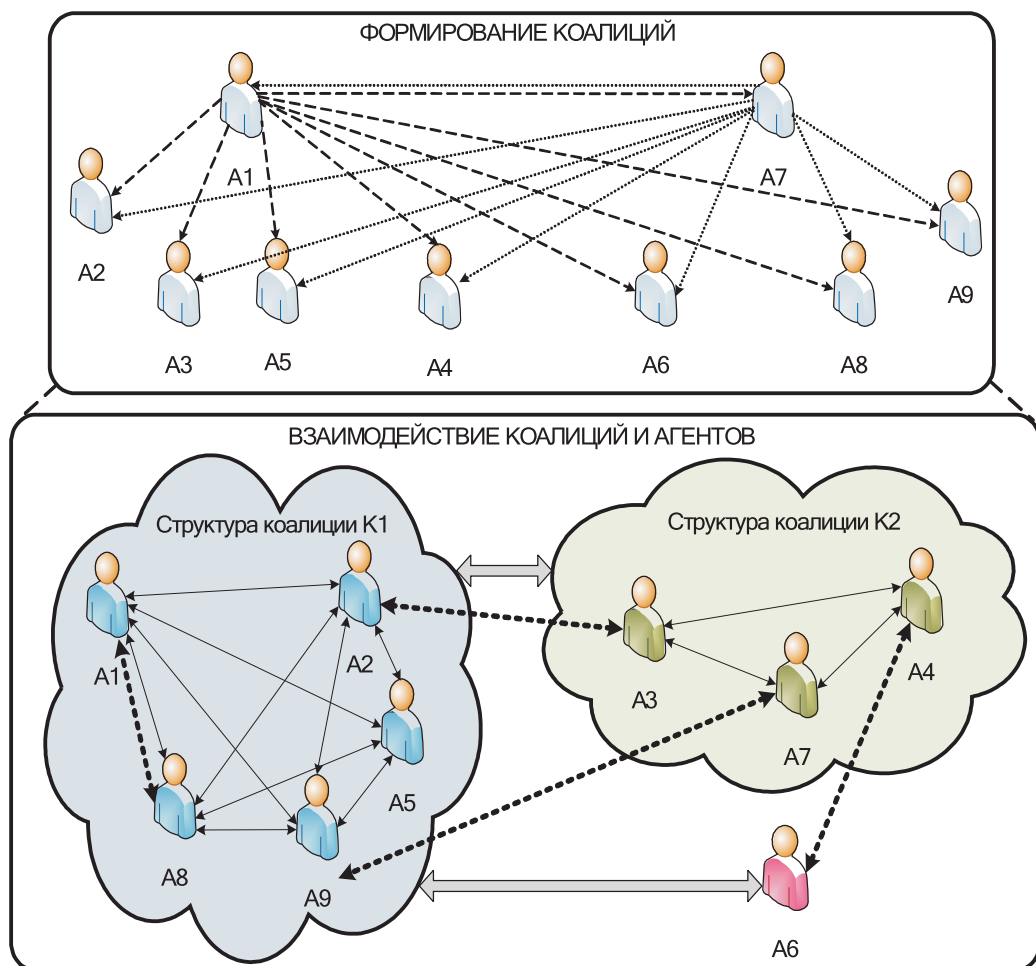
Агенты в коалиционной модели МППР представлены в виде следующей структуры [2]:

$$A = \langle Name_A, \{G_{A1}, \dots, G_{An}\}, KB_A, \{Str_{A1}, \dots, Str_{Av}\} \rangle,$$

где $Name_A$ — имя агента; $\{G_{A1}, \dots, G_{An}\}$ — цели агента; KB — база знаний агента (Knowledge Base); $\{Str_{A1}, \dots, Str_{Av}\}$ — множество допустимых стратегий взаимодействий агента.

Каждый агент A_i в МАС имеет собственную базу знаний KB_i , в которой хранятся: текущие стратегии поведения $\{Str_{Ai}^1, \dots, Str_{Ai}^v\}$ с конкретными агентами МАС, данные по использованию собственных ресурсов агента $\{Res_i^1, \dots, Res_i^m\}$ и собственных средств $\{Mech_i^1, \dots, Mech_i^k\}$, план действий агента PD_{Ai} , план выполнения работ агента PW_{Ai} .

Каждый агент A_i в МАС имеет множество целей $\{G_{Ai}^1, \dots, G_{Ai}^m\}$, хранящихся в его базе знаний KB_i , включающих одну доминирующую цель G_{Ai}^D и множество второстепенных целей $\{G_{Ai}^1, \dots, G_{Ai}^h\}$. При достижении доминирующей цели G_{Ai}^D агента A_i либо её изменении, связанном с изменением



Условные обозначения :

- ←-----→ Процессы формирования коалиции K1
- ←.....→ Процессы формирования коалиции K2
- ←-----→ Процессы взаимодействия агентов внутри коалиции ,
направленные на достижение их общей цели
- ↔ Процессы взаимодействия коалиций между собой и с отдельными агентами
- ←-----→ Процессы взаимодействия агентов , направленные на достижение их
второстепенных целей

Рис. 1. Схемы процессов в коалиционной модели МППР

состояния окружающей среды (освобождения или захвата другими агентами МАС $\{A_1, \dots, A_j\}$ определённых ресурсов $\{Res_1, \dots, Res_m\}$ или средств $\{Mech_1, \dots, Mech_k\}$, действий других агентов $\{D_{A_1}^1, \dots, D_{A_j}^t\}$, состояния процесса PR), новой доминирующей целью агента A_i становится цель из множества его второстепенных целей $\{G_{A_i}^1, \dots, G_{A_i}^h\}$.

Агент A_i выбирает стратегию взаимодействия $Str_{A_i}^{A_j}$ (из множества допустимых стратегий $\{Str_1, \dots, Str_v\}$ с другим агентом A_j для достижения определенной цели из множества целей $\{G_{A_i}^1, \dots, G_{A_i}^h\}$. Разрешение конфликтов между агентами происходит по определенным методам $\{Q_1, \dots, Q_s\}$, основанным на использовании стратегий поведения агентов или организации аукционов.

Каждый агент A_i в МАС управляет собственными ресурсами $\{Res_i^1, \dots, Res_i^m\}$ и собственными средствами $\{Mech_i^1, \dots, Mech_i^k\}$. Управление организуется с помощью формирования плана действий PD_{A_i} агентом A_i в процессе его жизненного цикла L_{A_i} на основе использования информации из собственной базы знаний KB_{A_i} и общей базы знаний GKB. Жизненному циклу L_A соответствует весь период активности агента в МАС от его определения до прекращения его функционирования.

В процессе работы МАС агенты $\{A_1, \dots, A_k\}$ могут взаимодействовать друг с другом, формировать коалиции $\{K_1, \dots, K_a\}$ с целями организации взаимовыгодного сотрудничества, увеличения шансов получения необходимых ресурсов и средств при возникновении конфликтов.

Коалиция агентов в МАС имеет следующую структуру [2]:

$$K = \langle Name_K, \{A_1, \dots, A_m\}, G_K, \{Str_1, \dots, Str_v\}, KB_K \rangle,$$

где $Name_K$ — имя коалиции; $\{A_1, \dots, A_m\}$ — множество агентов, входящих в коалицию; G_K — цель коалиции; $\{Str_1, \dots, Str_v\}$ — множество допустимых стратегий поведения коалиции; KB_K — база знаний коалиции.

План выполнения работ PW_K формируется коалицией K для достижения цели G_K^i и состоит из определенной последовательности работ $\{W_{K1}, \dots, W_{Kt}\}$. Плану PW_K соответствует следующая структура [2]:

$$PW_K = \langle \{W_{K1}, \dots, W_{Kt}\}, G_K^i, KB_K, GKB, \{AD_1, \dots, AD_h\}, \{Res_{K1}, \dots, Res_{Km}\}, \{Mech_{K1}, \dots, Mech_{Kk}\} \rangle,$$

где $\{W_{K1}, \dots, W_{Kt}\}$ — работы плана; G_K^i — цель плана; $\{AD_1, \dots, AD_h\}$ — множество агентов, участвующих в плане; $\{Res_{K1}, \dots, Res_{Km}\}$ — ресурсы, участвующие в плане; $\{Mech_{K1}, \dots, Mech_{Ks}\}$ — средства, участвующие в плане.

Алгоритм мультиагентного моделирования. Алгоритм мультиагентного моделирования, разработанный для практической реализации коалиционной модели МППР, представлен на рис. 2. В качестве основы данного алгоритма использован алгоритм [3], состоящий из следующих основных этапов: определение текущего момента времени; диагностирование возникших ситуаций; выработка команд управления, формирование очереди правил преобразования; выполнение правил преобразования и изменение состояния рабочей памяти (данных по загрузке ресурсов и средств).

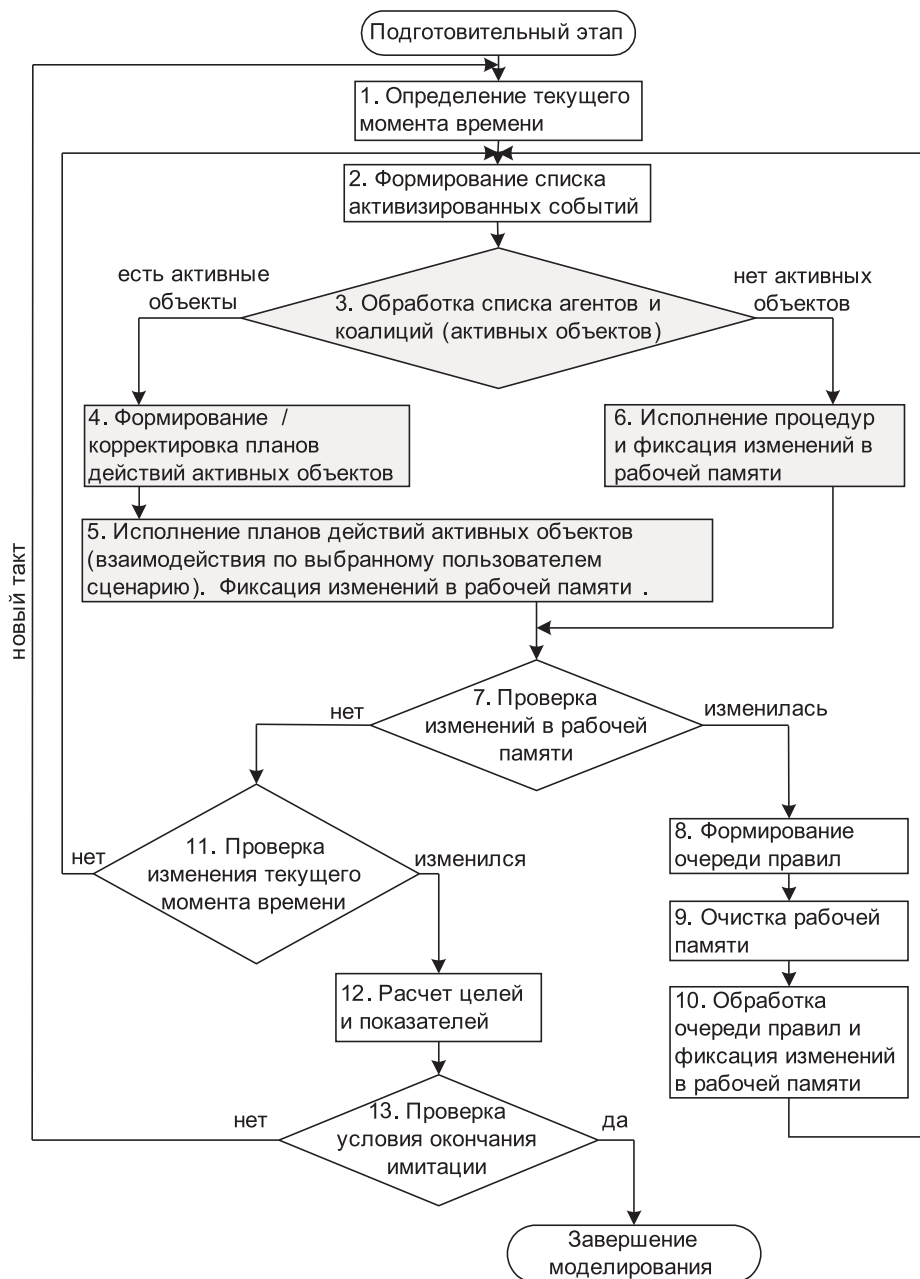


Рис. 2. Алгоритм мультиагентного моделирования

Данный алгоритм дополнен возможностью формирования коалиций, механизмом составления планов действий активных объектов (агентов и коалиций) и расширенными возможностями коммуникаций (для реализации взаимодействия активных объектов и формирования совместных решений агентов в коалиции). При выполнении 5-го и 9-го блоков алгоритма происходит формирование перечня правил и выполняемых действий над объектами рабочей памяти, а также состояния характеристик объектов. При выполнении 11-го блока выполняется расчет целей, производных и консолидированных показателей для объектов модели.

Программный комплекс коалиционной СППР. Разработанная СППР обеспечивает возможности формирования сообществ агентов (коалиций), планирования действий агентов (и коалиций), применения различных сценариев взаимодействий (на основе использования стратегий поведения и проведения различного вида аукционов) и формирования решений агентов (на основе механизма согласования решений и организации досок с объявлениями) при моделировании. Графический интерфейс СППР показан на рис. 3 на примере модели по разработке индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) на промышленном предприятии «Альтернативные энергосистемы» (www.aesm.ru).

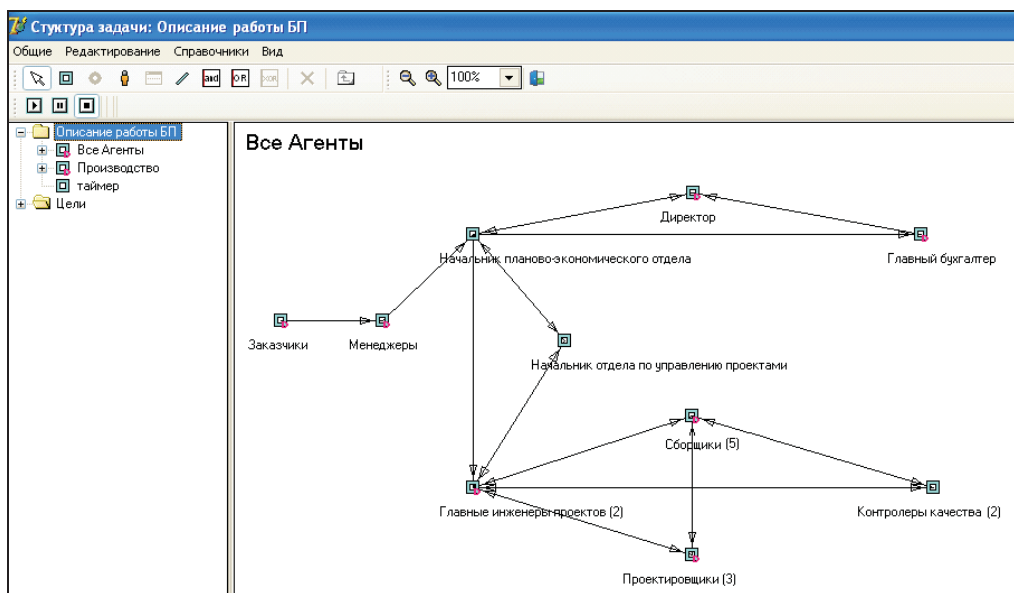


Рис. 3. Модель по разработке ИТП

Внедрение программного комплекса СППР. В модели предприятия «Альтернативные энергосистемы» на рис. 3 решаются задачи оптимизации распределения ресурсов между главными инженерами проектов (ГИП) с использованием различных механизмов взаимодействия и планирования действий по выполнению проекта. Цель проведения моделирования — исследование влияния стратегий взаимодействия агентов на финансовые показатели предприятия и выработка наиболее выгодной схемы производства ИТП. Для достижения данной цели необходимо решение следующих задач:

- 1) определение стратегии взаимодействия агентов — менеджеров проек-

тов, при которой предприятие выполняет наибольшее количество проектов за фиксированное время с наименьшими простоями ресурсов и средств;

- 2) изучение и сравнительный анализ возможных стратегий взаимодействия агентов;
- 3) исследование динамики использования ресурсов и средств агентами в зависимости от стратегий их взаимодействия.

Цели агентов — менеджеров проектов (A_1, A_2):

- минимизация времени выполнения работ по заказу: $t^{Ai}(W_i) \rightarrow \min$;
- минимизация финансовых затрат по выполнению работ (т.е. максимизация прибыли агента): $S^{Ai} \rightarrow \max$;
- минимизация количества используемых «общих» ресурсов и средств в связи с вероятностью возникновения «параллельного» заказа: $N^{Ai} \rightarrow \min$.

В результате внедрения МСППР VPsim.KIT чистая прибыль предприятия от деятельности по производству ИТП выросла на 27%.

Расчёт эффективности использования МСППР VPsim.KIT показал, что её эффективность использования составляет 47%.

Выводы.

Разработанный программный комплекс коалиционной СППР позволяет:

- 1) вырабатывать эффективные управленческие решения на предприятиях и в организациях различного типа;
- 2) создавать модели процессов преобразования ресурсов с использованием возможности разработки сценариев поведения агентов и коалиций;
- 3) проводить имитационные эксперименты с использованием механизма составления планов действий агентов и коалиций.

Работа выполнена в рамках государственного контракта 02.740.11.0512.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К. А. Аксенов, Н. В. Гончарова, Динамическое моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. 311 с. [K. A. Aksyonov, N. V. Goncharova, Multi-agent resource conversion processes dynamic simulation. Ekaterinburg: Ural State Technical University, 2006. 311 pp.]
2. А. С. Зраенко, К. А. Аксенов, “Конфликтные ситуации в интеллектуальных мультиагентных процессах преобразования ресурсов” / В сб.: *Сборник трудов второй международной научно-практической конференции* / Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности, Т. 5. СПб.: Политехнич. ун-т, 2006. С. 24–26. [A. S. Zrayenko, K. A. Aksenov, “Conflict situations in intellectual multi-agent processes of resources conversion” / Research, development and application of high technology in the industry, 5. St. Petersburg: Politekhnich. Un-t, 2006. Pp. 24–26].
3. А. С. Зраенко, С. А. Коновалова, К. А. Аксенов, “Применение мультиагентного подхода в системах поддержки принятия решений” / В сб.: *Научные труды международной научно-практической конференции «СВЯЗЬ-ПРОМ 2007» в рамках 4-го Евро-Азиатского форума «СВЯЗЬ-ПРОМЭКСПО 2007»*. Екатеринбург: Компания Реал-Медиа, 2007. С. 214–217. [A. S. Zrayenko, S. A. Konovalova, K. A. Aksenov, “Application of multi-agent approach in decision support systems” / In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Ekaterinburg: Kompaniya Real-Media, 2007. Pp. 214–217].

Поступила в редакцию 13/X/2012;
в окончательном варианте — 30/I/2013.

MSC: 90B50

COALITION DECISION SUPPORT SYSTEM DESIGNING

*A. S. Zraenko*¹, *V. P. Fedotov*¹, *K. A. Aksenov*²

¹ Institute of Engineering Science, Ural Branch of RAS,
34, Komsomolskaya st., Ekaterinburg, 620049, Russia.

² Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin,
19, Mira st., Ekaterinburg, 620002, Russia.

E-mails: zraenko@yandex.ru; fedotov@imach.uran.ru; wiper99@mail.ru

We describe the main stages of designing and development of the coalition decision support system (DSS). The article includes the requirements to the model, the model description in the form of tuple structures, algorithm of multi-agent simulation, the program complex of the DSS and its implementation. The conclusion is made about the field of application of the developed DSS.

Key words: *agent, multi-agent system, decision support system, process of transformation of resources, coalition.*

Original article submitted 13/X/2012;
revision submitted 30/I/2013.

Alexey S. Zraenko, Postgraduate Student. *Vladimir P. Fedotov* (Dr.Sci. (Techn.)), Chief Researcher, Lab. of Applied Mechanics. *Konstantin A. Aksenov* (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor, Dept. of Automated Control Systems.