

## МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РЕСУРСНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Ризванов Д.А., Юсупова Н.И.

*ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, Россия (450000, Республика Башкортостан, Уфа, ул. К. Маркса, 12), e-mail: ridmi@mail.ru, yussupova@ugatu.ac.ru*

---

Поддержка принятия управленческих решений в сложных системах, функционирующих в условиях неопределенности и ресурсных ограничений, предназначена для повышения эффективности управленческой деятельности и качества принимаемых решений, которые зависят от используемых для поддержки решений технологий, методов и качества данных и знаний. В настоящей статье рассмотрены модели и методы, задачи управления ресурсами сложных систем в условиях неопределенности и динамично изменяющейся внешней среды. Для решения задачи на основе многоагентного подхода предложена формальная модель задачи управления сложными системами. Сформулированы основные требования и принципы к системе поддержки принятия решений (СППР) при управлении ресурсами сложных систем. Представлено основное содержание видов обеспечений системы поддержки принятия решений. Приведены сведения о разработанных прототипах СППР при управлении ресурсами для решения ряда практических задач.

---

Ключевые слова: сложные системы, управление ресурсами, поддержка принятия решений.

## MODELS AND METHODS OF DECISION SUPPORT IN MANAGEMENT OF COMPLEX SYSTEMS UNDER UNCERTAINTY AND RESOURCE CONSTRAINTS

Rizvanov D.A., Yusupova N.I.

*Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia (450000, The Republic of Bashkortostan, Ufa, street K. Marksa, 12), e-mail: ridmi@mail.ru, yussupova@ugatu.ac.ru*

---

Decision-making support in management of complex systems, which operating in conditions of uncertainty and resource constraints, is designed to improve management efficiency and the quality of decisions, which depend on the use of decision support technologies, methods and data and knowledge quality. This article reviews the models and methods of resource management problems of complex systems under uncertainty and rapidly changing environment. The formal model of the problem of managing complex systems based on multi-agent approach is proposed to solve the problem. The basic requirements and principles to decision support system (DSS) for the resources management of complex systems are formulated. The main content of support types of DSS is presented. The information about the developed DSS prototypes is given.

---

Keywords: complex systems, resource management, decision-making support.

Управление сложной системой требует принятия грамотных и научно обоснованных управленческих решений. Необходимо учитывать множество факторов, оказывающих существенное влияние на процесс управления, качество принимаемых решений и результаты. Для эффективного функционирования сложной системы в условиях динамично изменяющейся внешней среды необходимо рационально распределять имеющиеся ограниченные ресурсы.

В этой ситуации лицо, принимающее решения, нуждается в своевременном получении актуальной и релевантной информации, то есть требуется обеспечить поддержку принятия решений. Основная сложность этой поддержки заключается в том, что требуется учитывать динамично изменяющуюся внешнюю среду, многообразие имеющихся ресурсов,

а также специфические особенности предметной области, которые зачастую являются слабоформализуемыми.

Задачи управления ресурсами как одного из разделов исследования операций исследованы в работах Р. Акоффа, Л. Бергаланфи, С. Вира, Р. Беллмана, Дж. Данцига, Л. Канторовича, Т. Купманса и др. Проблемам оптимизации ресурсов в многоуровневых территориально-производственных системах посвящены работы Гранберга А.Г. Разработке интеллектуальных систем управления ресурсами с использованием мультиагентных технологий и сетецентрического подхода посвящены работы Скобелева П.О. [7]. Решение задач распределения ресурсов на базе сетей потребностей и возможностей и вопросы агентного взаимодействия рассмотрены в работах Виттиха В.А. и Скобелева П.О. [1]. Вопросам разработки моделей многоагентной самоорганизации при управлении сложными системами посвящены работы Городецкого В.И. [2]. Анализ основных исследований [3] в области управления распределением ресурсов в сложных системах показал, что большинство разработанных методов работают только с числовыми данными и не учитывают слабоформализуемую информацию об особенностях предметной области, а также индивидуальные особенности, присущие ресурсам одного вида.

Таким образом, разработка моделей и методов поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах позволит повысить качество и эффективность принимаемых решений.

Данная статья посвящена разработке моделей и методов поддержки принятия решений при управлении сложными системами в условиях неопределенности и ресурсных ограничений. Первый раздел посвящен применению многоагентных технологий для управления ресурсами сложных систем. Во втором разделе представлена формальная модель задачи управления ресурсами. В третьем разделе определены принципы и требования разработки системы поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах с использованием многоагентного подхода.

## **1. Многоагентные технологии для управления ресурсами сложных систем**

Для управления ресурсами в сложных системах предлагается использовать многоагентные технологии и инженерию знаний.

Любые сложноформализуемые семантические ограничения предметной области представляются в виде онтологической базы знаний, используемой агентами для решения задачи. Кроме этого база знаний агента используется для описания критериев, отражающих приемлемость распределения ресурсов, и учитывает индивидуальные особенности моделируемых объектов реального мира. При ведении переговоров агенты определяют допустимость и приемлемость для них решения на основе индивидуальной базы знаний.

Таким образом, если меняются критерии и предпочтения у какого-то агента, достаточно внести изменения в его локальную базу знаний. При этом сама процедура ведения переговоров остается без изменений.

В качестве базовой используется модель агентов, предложенная Вулдриджем и Дженнингсом [9]. Агентам для решения задач распределения ресурсов соответствуют сущности, выступающие в реальном мире потребителями и/или поставщиками ресурсов, а также сами ресурсы. Для решения задачи распределения ресурсов агенты взаимодействуют и вступают в переговоры друг с другом, которые моделируются коммуникациями.

Многоагентные технологии позволяют успешно решать задачи управления ресурсами с учетом как глобальных, так и локальных критериев, и позволяют учитывать уникальные свойства, присущие ресурсам одного вида, не усложняя при этом саму модель, в то время как классические подходы рассматривают такие ресурсы как нечто одинаковое. Тем самым повышается адекватность самой модели.

Среди реальных задач управления ресурсами в сложных системах, решаемых с применением многоагентных технологий, можно выделить задачи календарного планирования производства, распределения ресурсов в условиях чрезвычайных ситуаций, распределение транспорта на перевозку грузов, распределение вычислительных задач в рамках распределенной системы, задачи сетевого планирования сложных проектов, распределение исполнителей на задачи, логистические задачи, распределение ресурсов при оказании медицинских услуг и другие, часть из которых подробно рассмотрены в [4-6, 8].

## **2. Формальное описание задачи управления ресурсами сложных систем**

Формально модель задачи управления ресурсами сложных систем с использованием многоагентных технологий может быть представлена в виде набора элементов  $\langle Agents, KB, Acts, E, Constraints, F \rangle$ , где

*Agents* – множество агентов, участвующих в процессе решения задачи управления ресурсами;

*KB* – базы знаний агентов, которые содержат определенные знания и правила поведения;

*Acts* – множество возможных действий (поведений) агентов;

*E* – модель окружающей внешней среды, в которой функционирует сложная система;

*Constraints* – множество ограничений, в том числе и семантических, для данной предметной области;

*F* – множество критериев оценки производительности для каждого агента, а также общий критерий оценки всей системы в целом.

Например, для ранее рассмотренной нами задачи управления ресурсами в условиях чрезвычайной ситуации [8] отдельные элементы формальной модели могут быть представлены следующим образом:

$Agents = \{ \text{"пациенты"}, \text{"транспорт"}, \text{"больницы"} \}$ .

*Constraints* будут включать всевозможные ограничения, связанные с транспортировкой пострадавших в больницы (ограничения на транспортировку только одного пострадавшего в транспортном средстве, ограничения на доступность свободных мест в больнице и т.п.).

В качестве общего критерия можно рассмотреть суммарные затраты на транспортировку пострадавших в больницы, а в качестве индивидуальных критериев, например, для агентов «пациентов» – критерии, учитывающие степень соответствия выделяемых ресурсов (транспортные средства и больницы), скорость транспортировки и т.д.

Предлагаемая формализация задачи управления ресурсами сложных систем учитывает индивидуальные особенности моделируемых объектов реального мира, а также семантические ограничения предметных областей, и позволяет получать допустимые планы распределения ресурсов в условиях множества критериев для обеспечения лица, принимающего решения, необходимой достоверной и обоснованной информацией. Она является основой разработки системы поддержки принятия решений (СППР) при управлении ресурсами сложных систем в условиях динамично изменяющейся внешней среды.

### **3. Основные принципы разработки системы поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах с использованием многоагентного подхода**

С учетом предъявляемых требований предлагается использовать некоторые основные принципы системного подхода, заложенные в основу разрабатываемой СППР:

- *принцип конечной цели.* В процессе формулировки задачи управления ресурсами постулируется цель, которая является общей для всех агентов, функционирующих в рамках многоагентной системы. Приоритет глобальной цели над локальными целями агентов означает, что, несмотря на то, что каждый агент обладает собственной локальной целью, достижение глобальной цели является более приоритетным.

- *принцип измерения.* Сформулированные глобальная и локальная цели формализуются в виде некоторых математических оценочных функций, поддающихся вычислению. Это необходимо для того, чтобы агенты демонстрировали целенаправленное поведение, то есть любые действия, принимаемые агентами, оцениваются с помощью введенных оценочных функций.

- *принцип эквифинальности.* Желаемое или целевое состояние системы в виде некоторого допустимого и приемлемого плана распределения ресурсов может быть получено

практически из любых начальных условий, из которых в принципе существует возможность получения допустимых решений. При этом траекторий достижения целевого состояния может быть несколько, и они могут отличаться, в том числе, и планами распределения ресурсов.

- *принцип единства*. СППР при управлении распределением ресурсов в сложных системах базируется на многоагентной системе, которая представляет собой совокупность взаимодействующих агентов, каждый из которых является либо потребителем, либо поставщиком ресурсов. При этом, несмотря на то, что эти агенты представляют собой автономные сущности, семантический и прагматический смысл их проявляется только тогда, когда они существуют в виде некой единой системы – многоагентной системы.

- *принцип модульного построения*. Система рассматривается как совокупность взаимодействующих агентов (модулей) многоагентной системы.

- *принцип развития*. Принципы, заложенные в СППР, базирующиеся на применении многоагентных систем, позволяют системе развиваться и адаптироваться, учитывая при этом любые возможные изменения внешней среды и самой системы.

- *принцип децентрализации*. При построении СППР при управлении распределением ресурсов в сложных системах с использованием многоагентного подхода закладываются принципы самоорганизации, что означает отсутствие какого бы ни было центра управления, решающего, что кому и как делать. Решение принимается каждым агентом самостоятельно в соответствии с заложенными в них критериями и правилами поведения.

- *принцип неопределенности*. Применение многоагентных технологий и модели окружающей внешней среды позволяют учитывать фактор неопределенности, когда внешние воздействия не всегда полностью определены.

В структуре СППР можно выделить следующие виды обеспечений: математическое, алгоритмическое, информационное, методическое и программное.

Рассмотрим содержание каждого из них при проектировании СППР при управлении ресурсами в сложных системах в условиях динамично изменяющейся внешней среды и семантических ограничений.

В состав *математического обеспечения* разрабатываемой СППР необходимо включить математическую модель агента, участвующего в решении задачи распределения ресурсов. Кроме этого, должны быть сформулированы основные цели и критерии, позволяющие оценить эффективность распределения ресурсов.

Применение многоагентных технологий предполагает ведение переговоров между агентами, которые в общем случае располагаются распределенно на отдельных узлах вычислительной сети. Для повышения эффективности решения задач распределения

ресурсов необходимо разработать и использовать модель рационального размещения агентов по узлам вычислительной сети.

*Алгоритмическое обеспечение* должно включать набор алгоритмов, обеспечивающих решение основной задачи распределения ресурсов, а также вспомогательных задач – рационального размещения агентов по узлам вычислительной сети и восстановления работоспособности агентов в случае сбоя.

При разработке *информационного обеспечения* необходимо предусмотреть возможность хранения слабоструктурированной информации в базе данных и сложноформализуемых знаний в базе знаний СППР.

Если СППР разрабатывается для предприятия (например, СППР при календарном планировании производства), то она должна интегрироваться с существующими информационными системами для получения доступа к имеющейся актуальной информации.

В состав *методического обеспечения* должны входить методики, позволяющие подготовить и сформировать весь набор необходимых исходных данных для решения задачи управления ресурсами.

*Программное обеспечение* должно обеспечивать решение задач поддержки принятия решений по управлению ресурсами в режиме реального времени. Кроме этого, должна быть предусмотрена возможность отслеживания реализации разработанного и принятого плана распределения ресурсов и, в случае необходимости, оперативного внесения корректировок в случае непредвиденных обстоятельств или сбоев.

Применение интеллектуальных технологий позволяет повысить адекватность и оперативность управления ресурсами в сложных системах за счет возможности учета индивидуальных особенностей моделируемых сущностей реального мира и слабоформализуемых семантических ограничений предметной области.

Предлагаемые идеи использования технологий искусственного интеллекта и инженерии знаний легли в основу разработки прототипов систем поддержки принятия решений для различных предметных областей: календарное планирование производства [6], распределение ресурсов в условиях чрезвычайных ситуаций [8], распределение ресурсов при оказании медицинских услуг [5].

В рамках дальнейших направлений исследований предполагается формализация модели внешней среды функционирования сложной системы и оценка эффективности предлагаемой концепции для решения задач управления ресурсами в сложных системах.

**Заключение.** Предложена формальная модель задачи управления сложными системами, которая положена в основу разработки математического обеспечения СППР.

Определены требования и принципы к СППР, что позволяет разработать структуру СППР. Исследование частично поддержано грантами РФФИ 14-07-00811-а, 15-07-01565-а.

### Список литературы

1. Витих В.А., Скобелев П.О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 1. – С. 177-185.
2. Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. Модели многоагентной самоорганизации // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2012. – № 2. – С. 92-120.
3. Ризванов Д.А. Алгоритмы управления ресурсами в сложных системах с применением многоагентных технологий // Вестник УГАТУ. – 2013. – Т. 17, № 5 (58). – С. 117-123.
4. Ризванов Д.А. Распределение агентов многоагентной системы по узлам вычислительной сети // Материалы XIV Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2009. Ч.3. – С. 297-305.
5. Ризванов Д.А., Сенькина Г.В., Попов Д.В., Богданова Д.Р. Многоагентная система составления расписания прохождения процедур отдыхающими в санаторно-курортном комплексе // Материалы 8-ой Международной конференции «Компьютерные науки и информационные технологии» (CSIT'2006). – Карлсруэ, Германия, 2006. – Т.1. – С. 118-124.
6. Ризванов Д.А., Чернышев Е.С. Многоагентный подход к календарному планированию производственных процессов // Материалы XV Байкальской Всероссийской конференции Информационные и математические технологии в науке и управлении. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2010. – Ч. III. – С. 7-14.
7. Скобелев П.О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Приложение к журналу «Информационные технологии». – 2013. – № 1. – С. 1-32.
8. Aygul Gabdulhakova, Birgitta König-Ries, Dmitry Rizvanov. Rational Resource Allocation in Mass Casualty Incidents – Adaptivity and Efficiency. Proceedings of the 9th International ISCRAM Conference – Vancouver, Canada, April 2012.
9. Wooldridge, M. J., Jennings, N. R. Intelligent Agents: Theory and Practice. In The Knowledge Engineering Review, 10 (2). – 1995. – Pp. 115-152.

**Рецензенты:**

Картак В.М., д.ф.-м.н., профессор, зав. каф. прикладной информатики, «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (ФГБОУ ВПО «БГПУ им. М. Акмуллы»), г. Уфа;

Сметанина О.Н., д.т.н., профессор, каф. вычислительной математики и кибернетики, ФГБОУ ВПО Уфимского государственного авиационного технического университета, г. Уфа.