

УДК 005.932:519.816

## АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Д. А. РИЗВАНОВ

ridmi@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 25.03.2013

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы разработки концепции управления ресурсами в сложных системах. Для повышения качества и оперативности принимаемых решений, связанных с управлением ресурсами, предлагается использовать многоагентные технологии и технологии инженерии знаний. Приводятся результаты оценки эффективности предлагаемых алгоритмов и методов.

**Ключевые слова.** Многоагентные технологии; агент; управление ресурсами.

### ВВЕДЕНИЕ

Для эффективного управления ресурсами в сложных социально-экономических системах необходимо учитывать множество факторов, оказывающих существенное влияние на процесс управления, качество принимаемых решений и результаты. Кроме этого, лицу, принимающему решения по управлению ресурсами, необходимо учитывать влияние постоянно изменяющейся внешней среды.

Анализ основных исследований 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 и индивидуальные особенности, присущие ресурсам одного вида.

Таким образом, проблема распределения ресурсов является актуальной. При этом значительно возрастает роль качественного управления, поскольку от этого во многом зависит жизнеспособность системы в целом. И важнейшей проблемой является повышение эффективности поддержки принятия решений при управлении процессом распределения ресурсов.

### ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ В СЛОЖНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В условиях динамично изменяющейся внешней среды к модели сложной социально-экономической системы (СЭС) предъявляются следующие требования: необходимость быстрого реагирования на изменения, адаптивность модели (рис. 1).

Предлагается рассматривать ресурсы следующих видов – материальные, финансовые, трудовые, энергетические и время. Существенное влияние на процессы управления и распределения ресурсов оказывают следующие характеристики, присущие ресурсам: неоднородность, мобильность, взаимозаменяемость, комплексность, ограниченность и уникальность.

Для оценки эффективности распределения ресурсов могут существовать множество критериев, некоторые из которых могут противоречить друг другу.

Следует отметить, что общество, выступающее в качестве внешней среды для сложной социально-экономической системы, подвержено не только изменениям, но и развивается, что ведет к тому, что появляются новые виды ресурсов, возникают новые потребности, формируются новые критерии для оценки деятельности.



Рис. 1. Особенности управления ресурсами сложной СЭС

### УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ МНОГОАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Для управления ресурсами в сложных системах в условиях изменяющейся внешней среды предлагается концепция, представленная на рис. 2, которая базируется на использовании многоагентных технологий и технологий инженерии знаний: многоагентных систем, онтологических моделей и семантических методов.

Применение интеллектуальных технологий дает принципиальную возможность по-новому формулировать задачи и учитывать слабоформализуемую информацию, что позволяет строить модели, которые точнее отражают свойства и взаимосвязи объектов реального мира. Это способствует повышению качества принимаемых решений за счет адекватности используемых моделей и оперативности реагирования на любые изменения внешней среды. Многоагентные технологии 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 СЭС, 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 [1–8].

Предлагаемая концепция 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.

### ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ

Предлагается использовать для решения задач управления ресурсами многоагентные технологии. В качестве базовой используется модель агентов, предложенная Вулдриджом 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 вынуждены взаимодействовать и вступать в переговоры друг с другом, которые моделируются коммуникациями.

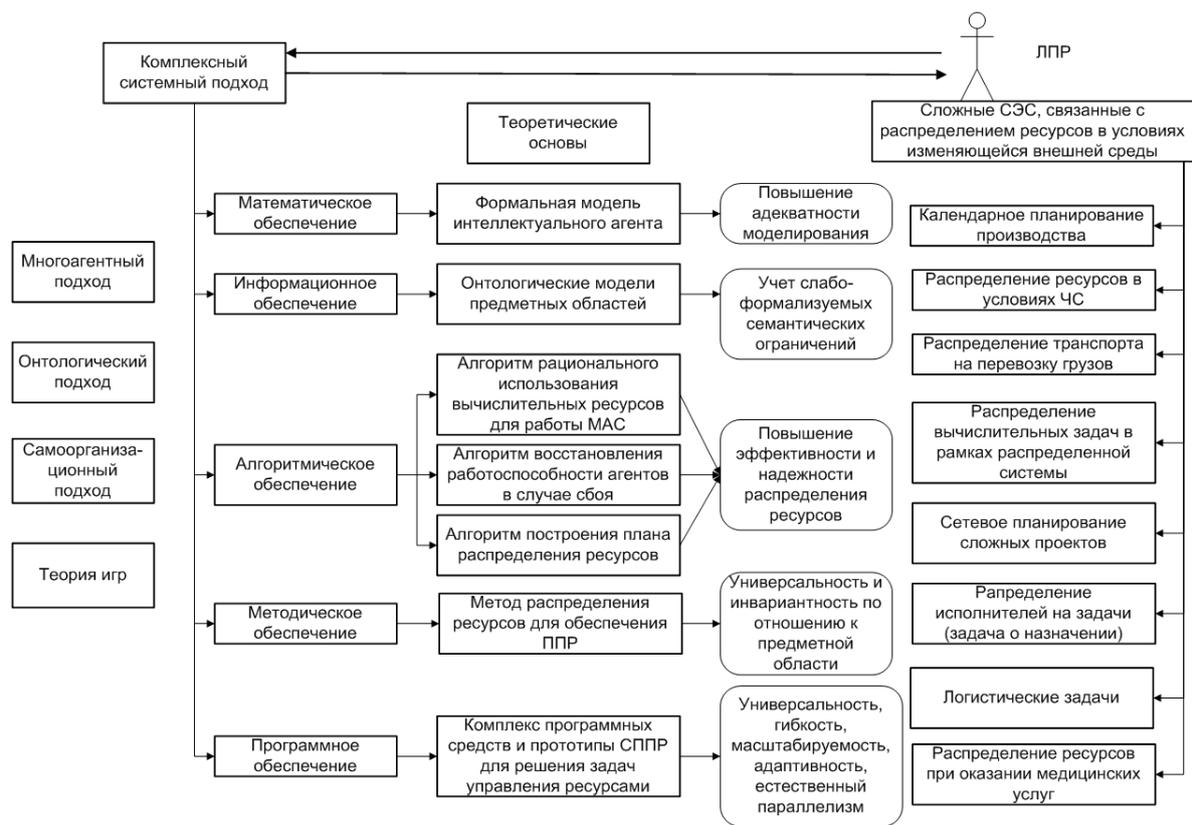


Рис. 2. Концепция управления ресурсами с использованием многоагентных технологий

В большинстве случаев задача распределения ресурсов имеет глобальный критерий эффективности, который необходимо достичь путем соответствующего распределения ресурсов. Тогда поведение агентов можно считать кооперативным, поскольку только учет взаимных интересов позволяет решить задачу, и основано на разработанной математической модели. В то же время каждый агент может иметь свои локальные критерии, определяющие эффективность полученного решения для конкретного агента. Например, одно решение может быть более предпочтительным по сравнению с другим на основе использования локальных критериев эффективности, несмотря на то, что они могут быть абсолютно одинаковы с точки зрения общего критерия эффективности.

Многоагентные технологии позволяют успешно решать задачи управления ресурсами с учетом как глобальных, так и локальных критериев.

Общая схема решения задачи распределения ресурсов может быть представлена в виде обобщенного алгоритма на рис. 3.

### ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ (ЧС)

Рассмотрим задачу рационального распределения ресурсов в чрезвычайных ситуациях, описанную в [1, 5].

Введем следующие обозначения:

$P = \{P_1, \dots, P_N\}$  – множество пациентов;

$A = \{A_1, \dots, A_M\}$  – множество транспортных средств;

$H = \{H_1, \dots, H_R\}$  – множество больниц;

$i$  – индекс пациента;

$j$  – индекс транспортного средства;

$k$  – индекс больницы;

$X_{ijk}$  – факт доставки пациента  $i$  на транспортном средстве  $j$  в больницу  $k$  ( $X_{ijk}=1$ , если пациент  $i$  перевозится на транспортном средстве  $j$  в больницу  $k$ , или  $X_{ijk}=0$ , иначе);

$Z(P_i, A_j)$  – затраты на перевозку пациента  $P_i$  в транспортном средстве  $A_j$ ;

$D(P_i, H_k)$  – расстояние от местоположения пациента  $P_i$  до больницы  $H_k$ ;

$Free(H_k)$  – количество свободных мест в больнице  $H_k$ ;

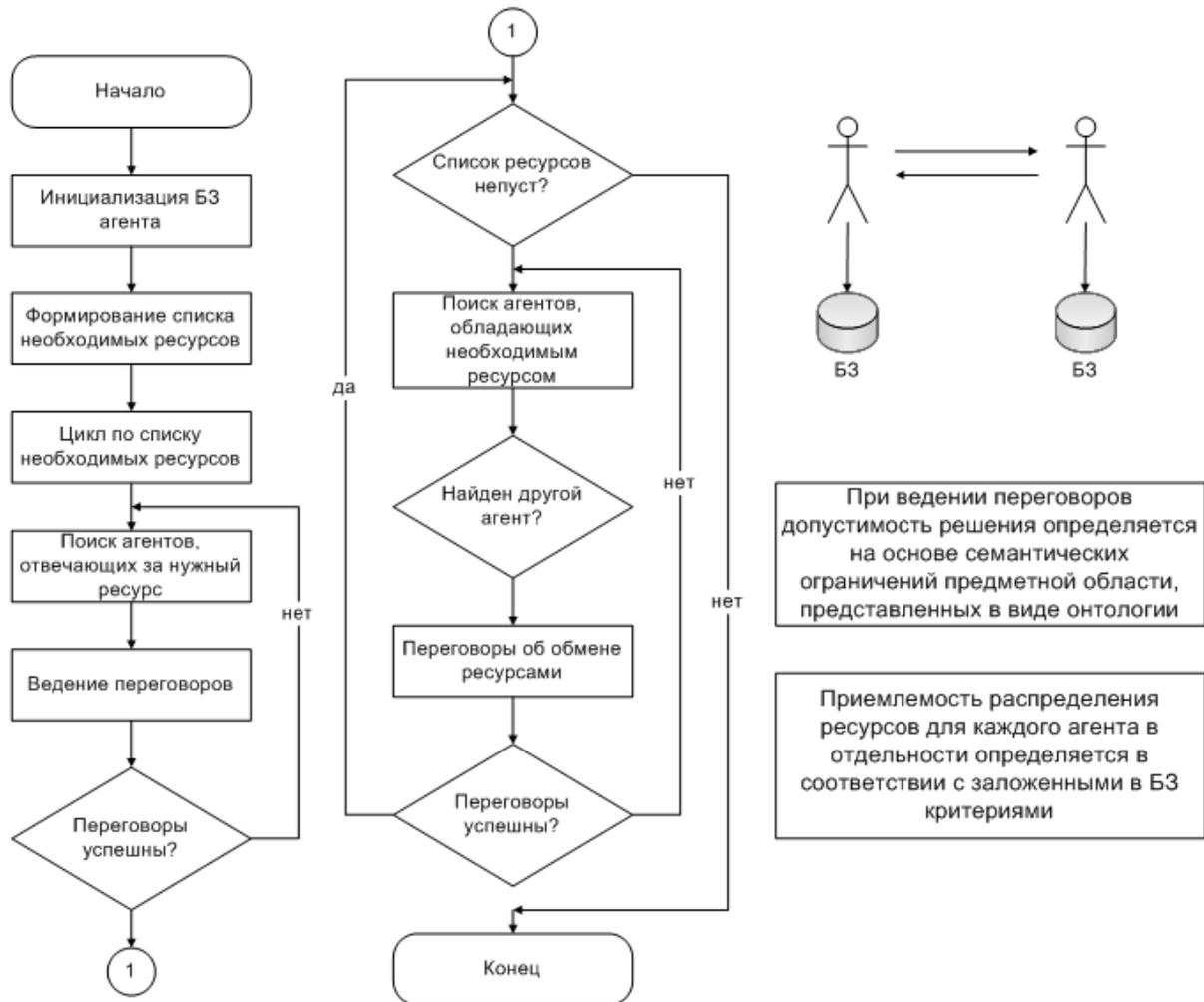


Рис. 3. Обобщенный алгоритм распределения ресурсов на основе многоагентных технологий

$S_{ij}$  – коэффициент, отражающий предпочтительность транспортного средства  $j$  для транспортировки пациента  $i$ ;

$S_{ik}$  – коэффициент, отражающий предпочтительность транспортировки пациента  $i$  в больницу  $k$ ,

$$0 \leq S_{ij} \leq 1, 0 \leq S_{ik} \leq 1.$$

Чем ближе  $S_{ij}$  (или  $S_{ik}$ ) к 1, тем более предпочтительны выделенные ресурсы, и наоборот.

Будем полагать, что расстояния от одного места до другого определяются внешними сервисами или на основе имеющейся онтологии, а количество свободных мест в больнице нам известно из имеющейся онтологии.

Требуется найти такое распределение ресурсов (матрицу  $X_{ijk}$ ), при котором целевая функция, отражающая затраты на транспортировку пострадавших в больницы с учетом степени соответствия выбранных для этой цели ресурсов, была бы минимальна:

$$F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^R \frac{X_{ijk} [Z(P_i, A_j) D(P_i, H_k)]}{S_{ij} * S_{ik}} \rightarrow \min.$$

При этом должны быть учтены следующие ограничения:

1. Одно транспортное средство может использоваться для транспортировки только одного пациента:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^R X_{ijk} = 1, \forall j;$$

2. Для транспортировки одного пострадавшего используется только одно транспортное средство:

$$\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^R X_{ijk} = 1, \forall i;$$

Количество пострадавших, транспортируемых в конкретную больницу не должно превышать количества свободных мест в ней:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^R X_{ijk} \leq \text{Free}(H_k), \forall k;$$

3. Для транспортировки пострадавших используется только такой вид транспорта, который соответствует характеру и тяжести повреждений (семантическое ограничение задачи);

4. Пострадавший может быть доставлен только в определенный тип больницы в соответствии с характером и тяжестью повреждений (семантическое ограничение задачи).

Представленная математическая модель позволяет найти рациональное распределение ресурсов для транспортировки потерпевших в больницу. Решение задачи строится с использованием многоагентных технологий и подробно описано в [8].

Но иногда на практике бывают ситуации, когда транспортировка пострадавшего в наиболее подходящую для него больницу не является хорошим решением. Это может быть связано с тем, что в это же время некоторые пострадавшие транспортируются в ту же больницу. Тогда эта больница будет испытывать определенные трудности с приемом и обслуживанием пострадавших из-за ограниченности собственных ресурсов (операционных, врачей и т. д.). В то же время есть другие больницы, которые не перегружены приемом пострадавших. В этой ситуации лучшим решением было бы транспортировать пострадавшего в одну из таких больниц.

Рассмотрим следующий пример. Пусть у нас есть 6 больниц и 10 пострадавших. И предположим, что только 2 больницы являются наиболее подходящими для 10 пострадавших. Тогда 10 человек должны перевозиться только в эти две больницы. В этом случае эти больницы будут испытывать трудности с приемом пострадавших, поскольку они не могут иметь достаточного количества операционных и медицинского персонала для обслуживания пострадавших в один момент времени. В то же время остальные 4 больницы останутся не задействованы. Это решение не является эффективным. Хорошим решением будет распределить пострадавших в больницы более или менее равномерно, чтобы не перегружать медицинский персонал.

Отличительной особенностью данной модификации постановки задачи является то, что рациональное поведение агентов должно учитывать «равномерное» (без перегрузок обслуживающего персонала) распределение пострадавших в больницы. Это означает, что пострадавшие, поступающие в больницу, не должны создавать заторов при приеме.

Введенное нами ограничение может быть представлено множителем целевой функции, учитывающим условие «равномерности» поступления пострадавших в больницы с учетом их возможностей:

$$\prod_{k=1}^R U_k \left( \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M X_{ijk} \right),$$

где  $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M X_{ijk}$  – общее количество пострадавших,

транспортируемых в больницу  $k$ ;  $U_k(q) \geq 1$  – величина, отражающая увеличение расходов, связанных с приемом большего количества пострадавших, чем она может принять в обычных условиях.

Предложенная модификация задачи была успешно реализована и решена с использованием многоагентных технологий [6, 7]. При этом не потребовалось вносить изменения в алгоритм решения. Соответствующие корректировки были внесены лишь в функцию оценки решения.

Таким образом, применение многоагентных технологий позволяет не перестраивать алгоритм решения задач, связанных с управлением ресурсами. В случае дальнейшего усложнения задачи, введения новых ограничений, установления новых критериев и т. д. общий алгоритм решения останется неизменным. Достаточно лишь изменить информацию, хранящуюся в базе знаний агентов.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Предлагаемая концепция была апробирована путем разработки прототипов систем поддержки принятия решений (СППР) при управлении распределением ресурсов для ряда реальных задач – распределение ресурсов в чрезвычайных ситуациях [1, 5–8], календарное планирование производства [2], распределение агентов по узлам вычислительной сети [3], распределение ресурсов при оказании медицинских услуг [4, 10–12].

Прототипы СППР разработаны на базе агентной платформы JADE, основанной на спецификации стандарта по разработке систем интеллектуальных агентов (FIPA).

Проведенные экспериментальные исследования эффективности разработанных решений [2–4, 7, 13] позволяют сделать вывод о том, что применение многоагентных технологий позволяет повысить эффективность распределения ресурсов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предлагается концепция управления ресурсами в сложных системах с использованием многоагентных технологий. Представлен обобщенный алгоритм распределения ресурсов с использованием многоагентного подхода. Применение многоагентных 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. Кроме того, многоагентные технологии позволяют решать более сложные задачи без изменения общего алгоритма.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Gabdulkhakova A., Koenig-Ries B., Rizvanov D. A.** Resource allocation in emergency situations: case study // Proc. 12th Int. Workshop on Computer Science and Information Technologies. Moscow – St. Petersburg, 2010. Vol. 3. P. 8–12.
2. **Ризванов Д. А., Чернышев Е. С.** Многоагентный подход к календарному планированию производственных процессов // Информационные и математические технологии в науке и управлении: матер. XV Байкальск. Всеросс. конф. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2010. Ч. III. С. 7–14.
3. **Ризванов Д. А.** Распределение агентов многоагентной системы по узлам вычислительной сети // Информационные и математические технологии в науке и управлении: матер. XIV Байкальск. Всеросс. конф. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2009. Ч. 3. С. 297–305.
4. **Ризванов Д. А., Попов Д. В., Богданова Д. Р.** Применение технологий распределенного искусственного интеллекта для решения задач календарного планирования // Информационные и математические технологии в науке и управлении: матер. XIII Байкальск. Всеросс. с междунар. участием конф. Иркутск, 2008. Т. 2. С. 76–82.
5. **Ризванов Д. А.** Разработка многоагентной системы для решения задачи распределения ресурсов в условиях чрезвычайных ситуаций // Сб. матер. научного семинара стипендиатов программ «Михаил Ломоносов» и «Иммануил Кант» (2010/2011). М.: DAAD, 2011. С. 168–171.
6. **Gabdulkhakova A., König-Ries B., Rizvanov D.** An agent-based solution to the resource allocation problem in emergency situations // Proc. 9th IEEE European Conf. on Web Services (ECOWS 2011), 14–16 Sept. 2011, Lugano, Switzerland. pp. 151–157.
7. **Gabdulkhakova A., König-Ries B., Rizvanov D.** Rational resource allocation in mass casualty incidents – adaptivity and efficiency // Proc. 9th Int. ISCRAM Conf. Vancouver, Canada, April 2012. Available: <http://www.iscramlive.org/ISCRAM2012/proceedings/183.pdf>
8. **Ризванов Д. А., Габдулхакова А. Р.** Многоагентный подход к задаче распределения ресурсов в условиях чрезвычайных ситуаций // Информационные и математические технологии в науке и управлении: матер. XVI Байкальск. Всеросс. с междунар. участием конф. Иркутск, ИСЭМ СО РАН, 2011, Т. 3, С. 25–33.
9. **Wooldridge M. J., Jennings N. R.** Intelligent agents: theory and practice // The Knowledge Engineering Review. 1995. 10 (2). P. 115–152.
10. **Rizvanov D. A., Senkina G. V., Popov D. V., Bogdanova D. R.** Multiagent system for scheduling in health centres // Proc. 8th Int. Workshop on Computer Science and Information Technologies. Karlsruhe, Germany, 2006. Vol. 1. P. 118–124.
11. **Сенькина Г. В., Попов Д. В., Ризванов Д. А.** Мультиагентная система составления расписания в санаторно-курортном комплексе: программа для ЭВМ. Версия 1.0. Рег. № 50200601234 // Алгоритмы и программы: информ. бюллетень. М.: ВНИИЦ, 2007. № 4.
12. **Многоагентная** система составления графика оказания услуг на основе онтологической базы знаний: свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2008613990 / Д. В. Попов, Д. Р. Богданова, Д. А. Ризванов. М.: Роспатент, 21 авг. 2008.
13. **Ризванов Д. А.** Применение многоагентных технологий для решения задачи распределения ресурсов в условиях чрезвычайных ситуаций // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16, № 6 (51). С. 220–225.
14. **Юсупова Н. И., Бабкова Е. В.** Управление распределением ресурсов в сложных системах на основе моделей-эталонов // Вестник УГАТУ. 2009, Т. 13, № 2 (35). С. 33–38.
15. **Юсупова Н. И., Бабкова Е. В., Габдракипова Н. В.** Управление распределением однородных ресурсов в организационных системах на основе имитационного моделирования // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16, № 3 (48). С. 32–37.

## ОБ АВТОРЕ

**РИЗВАНОВ Дмитрий Анварович**, доц. каф. выч. математики и кибернетики. Дипл. инж.-программист (УГАТУ, 1995). Канд. экон. наук по мат. и инстр. методам в экономике (Ин-т экономики УрО РАН, Екатеринбург, 2003). Иссл. в обл. поддержки принятия решений в соц. и экон. системах, разработки многоагентных систем.

## METADATA

**Title:** Algorithms for resource management in complex systems using multi-agent technology.

**Author:** D. A. Rizvanov

**Affiliation:** Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** ridmi@mail.ru.

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (Scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 17, no. 5 (58), pp. 63-69, 2013. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** The problem of resource management in complex systems is considered in this paper. It is suggested to use multi-agent technology and semantic services to solve the problem. A prototype of the software is developed. The efficiency estimation of the developed algorithm for resource allocation is carried out.

**Key words:** multi-agent technology; agent; resource-management.

**References (English Transliteration):**

1. A. Gabdulkhakova, B. Koenig-Ries, and D. A. Rizvanov, "Resource allocation in emergency situations: case study," *Proc. 12th Int. Workshop on Computer Science and Information Technologies*. Moscow – St. Petersburg, vol. 3, pp. 8-12, 2010.
2. D. A. Rizvanov and E. S. Chernyshev, "Multi-agent approach to scheduling of production process," (in Russian), *Proc. XV Baikal all-Russian conference on Information and mathematical technologies in science and management*. Irkutsk: ISEM SB RAS, vol. III, pp. 7-14, 2010.
3. D. A. Rizvanov, "Agents allocation of a multiagent system to the nodes of a computer network," (in Russian), in *Proc. XIV Baikal All-Russian Conf. on Information and Mathematical Technologies in Science and Management*, Irkutsk: ISEM SB RAS, vol. III, 2009, pp. 297-305.
4. D. A. Rizvanov, D. R. Bogdanova, and D. V. Popov, "Application of distributed artificial intelligence technologies for scheduling problems solving," (in Russian), in *Proc. XIII Baikal All-Russian Conf. on Information and Mathematical Technologies in Science and Management*. Irkutsk: ISEM SB RAS, vol. II, 2008, pp. 76-82.
5. D. A. Rizvanov, "Development of multi-agent system for resource allocation in emergency situations," (in Russian), in *Proc. Scientific Seminar Fellows Program "Mikhail Lomonosov" and "Immanuel Kant" (2010/2011)*. Moscow: DAAD, 2011, pp. 168-171.
6. A. Gabdulkhakova, B. König-Ries, and D. Rizvanov, "An agent-based solution to the resource allocation problem in emergency situations," in *Proc. 9th IEEE European Conf. on Web Services (ECOWS 2011)*, 14-16 Sept. 2011, Lugano, Switzerland, pp. 151–157.
7. A. Gabdulkhakova, B. König-Ries, and D. Rizvanov, "Rational resource allocation in mass casualty incidents – adaptivity and efficiency," in *Proc. 9th Int. ISCRAM Conf.* Vancouver, Canada, April 2012. Available: <http://www.iscramlive.org/ISCRAM2012/proceedings/183.pdf>
8. D. A. Rizvanov and A. R. Gabdulkhakova, "Multi-agent approach to resource allocation in emergency situations," (in Russian), in *Proc. XVI Baikal All-Russian Conf. on Information and Mathematical Technologies in Science and Management*. Irkutsk: ISEM SB RAS, vol. III, 2011, pp. 25-33.
9. M. J. Wooldridge and N. R. Jennings, "Intelligent agents: theory and practice," *The Knowledge Engineering Review*, 10 (2), pp. 115–152, 1995.
10. D. A. Rizvanov, G. V. Senkina, D. V. Popov, and D. R. Bogdanova, "Multiagent system for scheduling in health centres," in *Proc. 8th Int. Workshop on Computer Science and Information Technologies*. Karlsruhe, Germany, 2006, vol. 1, pp. 118-124.
11. G. V. Senkina, D. V. Popov, and D. A. Rizvanov, "Multi-agent system of scheduling in health centres: computer program. Version 1.0," Reg. no. 50200601234, *Algorithms and Programs*, no. 4, Moscow: VNTIC, 2007.
12. D. V. Popov, D. R. Bogdanova, and D. A. Rizvanov, "Multi-agent system for provision of services scheduling based on ontological knowledgebase," registration program certificate no. 2008613990, Moscow: Rospatent, 2008.
13. D. A. Rizvanov "The use of multi-agent technology to resource allocation problem in emergency situations," (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 16, no. 6 (51), pp. 220-225, 2012.
14. N. I. Yusupova and E. V. Babkova, "Resource distribution management in complex systems by reference models," (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 13, no. 2 (35), pp. 33-38, 2009.
15. N. I. Yusupova, E. V. Babkova, and N. V. Gabdrakipova, "Homogeneous resources management in organizational systems by simulation," (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 16, no. 3 (48), pp. 32-37, 2012.

**About author:**

**RIZVANOV, Dmitry Anvarovich**, Assoc. Prof., Dept. of Computational Mathematics and Cybernetics. Dipl. Software Engineer (UGATU, 1995). Cand. of Econ. Sci. (Institute of Economics of Ural Branch of Russian Academy of Science, Ekaterinburg, 2003).