

УДК 004.896
DOI 10.22213/2413-1172-2018-4-200-207

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕСУРСАМИ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ *

Д. А. Ризванов, кандидат экономических наук, доцент, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

Рассматриваются методологические основы поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах. Существующие подходы к управлению ресурсами используют в основном жесткий математический аппарат и данные числовой природы. При этом слабоформализуемая информация об особенностях предметной области зачастую не принимается во внимание. Предлагаемая методология представляет собой последовательность выполнения определенных этапов, базирующихся на соответствующих подходах, методах и принципах. Ее отличительной особенностью является интеграция многоагентных технологий и онтологических моделей, что позволяет учесть слабо формализуемую информацию о предметной области.

Предложена формальная модель многоагентной системы для управления ресурсами в сложных системах, позволяющая проводить моделирование процесса распределения ресурсов и анализ результатов такого моделирования. Модель включает два основных типа агентов: агентов-ресурсов и агентов-потребителей ресурсов, а также соответствующие им базы знаний, что позволяет решать задачи распределения ресурсов с учетом семантических ограничений и в условиях динамично изменяющейся внешней среды. Предложена схема управления ресурсами в сложных системах, позволяющая формировать планы распределения ресурсов и вести мониторинг их исполнения. Результаты этого мониторинга используются в дальнейшем для повышения эффективности управления ресурсами.

Ключевые слова: принятие решений, управление ресурсами, сложная система, многоагентный подход, семантические ограничения.

Введение

Поддержка принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах является важной для своевременного получения актуальной и релевантной информации. Основная сложность этой поддержки заключается в том, что требуется учитывать многообразие имеющихся ресурсов, динамично изменяющуюся внешнюю среду, а также специфические особенности предметной области, которые зачастую являются слабо формализуемыми. В большинстве случаев сложная система функционирует в условиях неопределенности, что накладывает определенные требования к разрабатываемым системам, которые должны обладать высокой степенью автономности, адаптивности, надежности.

Окружающая внешняя среда, оказывающая влияние на сложную систему, не является статической, ее динамичность накладывает дополнительные требования учета этой изменчивости на процессы управления и качество принимаемых решений, а также применения адаптивных методов управления.

Анализ известных теоретических подходов к решению задачи управления ресурсами в сложных системах

Основное внимание в исследованиях в области управления ресурсами уделено разработке точных экономико-математических методов и методов исследования операций. Исследованию проблематики решения этого класса задач в теории исследования операций посвящено большое количество работ, среди которых можно выделить работы Р. Акоффа, Р. Беллмана, Дж. Данцига, Л. Канторовича и др. [1–4]. Рассматриваются методологические вопросы применения методов исследования операций в экономическом управлении. Однако наличие множества критериев в подобных задачах еще больше усложняет саму проблему и требует использования специальных методов решения многокритериальных задач.

Модели и методы поддержки принятия решений с использованием интеллектуальных технологий рассматривают в своих работах А. Н. Борисов, В. И. Васильев, В. П. Гладун,

Э. А. Трахтенгерц, Н. И. Юсупова, Л. Р. Черняховская, Н. Саймон и др. [5, 6].

Разработке систем управления сложными техническими объектами, интеллектуального управления производственными, организационными и социально-экономическими системами посвящены работы Г. С. Поспелова, Д. А. Поспелова, Э. В. Попова, Д. А. Новикова, В. А. Виттиха, С. В. Смирнова, Т. А. Гавриловой, Б. Г. Ильцова, А. Ньюэлла, Г. Саймона и др. [7–10].

Вопросы управления сложными системами и принятия решений с использованием многоагентного подхода нашли отражение в работах В. А. Виттиха [11], П. О. Скобелева [12], В. И. Городецкого [13], Г. А. Ржевского [14] и др.

В работе Г. А. Ржевского выделены такие сложные системы, как сложная неадаптивная система (complicated system) и сложная адаптивная система (complex system). По мнению авторов, сложная адаптивная система состоит из автономных (самостоятельных) элементов, чье поведение определяется взаимодействием ее элементов (агентов), вступающих в связи или разрывающих эти связи по собственной инициативе с учетом изменений в среде или в отношениях между агентами, но без какого-либо принуждения со стороны. Целостность такой системы формируется путем самоорганизации образующих ее элементов, что рассматривается как более высокая ступень в организации системы, предопределяя ее открытость, гибкость и эффективность, надежность и живучесть.

Проведенный анализ исследований, посвященных вопросам управления ресурсами в сложных системах, показал, что в разработанных подходах и методах используются в основном данные, представленные в числовой форме, и не учитывается слабоформализуемая информация об особенностях предметной области. Кроме того, информация об индивидуальных особенностях ресурсов одного вида зачастую не принимается во внимание. Всё это приводит к тому, что модель становится менее адекватной реальности. Наиболее перспективным и предпочтительным является применение интеллектуальных технологий, в частности многоагентного подхода, позволяющего реализовать моделирование реального объекта в компьютерной среде без жесткой математической модели. Такое моделирование позволяет эффективно исследовать реальный объект в компьютерной среде и получить желаемый результат.

Методология поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах

Задачи распределения ресурсов могут иметь разные формулировки, суть которых сводится к тому, что требуется оптимальным (или рациональным) образом распределить имеющиеся ресурсы для достижения определенных целей. При этом имеются определенные ограничения на сами ресурсы и их использование при достижении целей. Под оптимальностью в данном случае может пониматься достижение максимального (минимального) значения некоторой целевой функции или критерия, которые позволяют оценить качество распределения ресурсов. Например, таким критерием может быть максимум прибыли, минимум затрат и т. п.

Будем использовать следующую терминологию [15]:

– ресурсы – все то, что используется для решения каких-либо задач. В разных постановках в качестве ресурсов могут выступать станки, оборудование, специалисты;

– потребители ресурсов – любые сущности, которые используют ресурсы для достижения своих целей и решения задач. В разных постановках в качестве потребителей ресурсов могут выступать детали, заказы и т. д.

Слабоформализуемые индивидуальные особенности моделируемых объектов реального мира, а также дополнительная информация о ресурсах представляется в виде семантических ограничений предметной области, сформулированных в виде правил, не сводимых к количественным ограничениям.

Предлагаемая методология поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах представляет собой последовательность выполнения определенных этапов, объединенных в три крупных блока: проектирование, разработка системы, анализ работоспособности. В основе каждого этапа лежат соответствующие подходы и методы, базирующиеся на ряде принципов. Выбор соответствующих методов, подходов и принципов определяется спецификой решаемых на каждом этапе задач.

Детальное описание каждого блока представлено ниже.

Анализ объекта управления, выявление ресурсов (поставщиков ресурсов) и потребителей ресурсов.

На основе системного подхода происходит анализ объекта управления с целью выявления основных ресурсов, использующихся в данной предметной области для решения задачи, клас-

сификации этих ресурсов, определения поставщиков ресурсов и потребителей, которые эти ресурсы используют.

Внутри сложной системы происходит выделение самостоятельных сущностей – поставщиков и потребителей ресурсов. В зависимости от поставленной цели (сформулированной задачи) набор этих сущностей для одной и той же предметной области может существенным образом отличаться. Таким образом, постулируется принцип конечной цели, определяющий первоочередность формулировки цели функционирования сложной системы до выявления отдельных сущностей.

Несмотря на то, что выявленные сущности являются уникальными, можно проводить классификацию имеющихся ресурсов, группировать в группы поставщиков и потребителей по самым различным признакам и характеристикам (например, по географической принадлежности к тому или иному району, по типу взаимодействия поставщиков и потребителей и т. д.). Тем самым обеспечивается принцип единства, позволяющий рассматривать систему не только как единое целое, но и совокупность составляющих ее частей.

Кроме этого моделируемая сложная система должна рассматриваться не как изолированная от внешних факторов. Более того, в силу достаточно динамичного характера изменений внешней среды, необходимо учитывать не только воздействие определенных внешних факторов, но и характер их изменения. В совокупности это позволяет говорить о принципе связанности при рассмотрении самой сложной системы как части другой, более сложной, системы.

Определение (формализация) технологических ограничений предметной области и целей поставщиков и потребителей ресурсов.

Для определения технологических ограничений предметной области с точки зрения системного подхода необходимо рассматривать ограничения, связанные непосредственно как с описываемой сложной системой, так и с отдельными ее элементами.

В первом случае это будут ограничения, описывающие взаимодействие сложной системы и окружающей ее внешней среды, а также другие характеристики сложной системы. Во втором случае это будут технологические ограничения предметной области, связанные непосредственно с поставщиками и потребителями ресурсов. Эти ограничения могут иметь явно выраженный характер и описывать возможно-

сти поставщиков в обеспечении соответствующими ресурсами, а также потребности в необходимых ресурсах потребителей. Такого рода ограничения достаточно легко поддаются описанию, при этом не требуется какого-либо специального математического аппарата для их формализации. Кроме этого существуют еще скрытые ограничения, которые выражены менее явно и зачастую не всегда учитываются при решении задачи. Эти ограничения используют в основном слабоформализуемую информацию о предметной области. В данном случае для формализации таких ограничений требуется применение специального математического аппарата.

Адекватное описание и формализация технологических ограничений должны базироваться на принципе связанности, позволяющем выявлять и устанавливать связи между элементами сложной системы, а также между самой системой и внешней средой.

Поставщики и потребители ресурсов могут иметь свои собственные цели, которые определяют характер их поведения и взаимодействие. Если рассматривать отдельно поставщиков и потребителей ресурсов, то можно утверждать, что существуют задачи, в которых поставщики (или потребители) имеют общую для них для всех цель, то есть действуют в кооперации друг с другом, формируя так называемую кооперативную среду. Другой вариант – когда поставщики (или потребители) имеют цели, противоречащие друг другу и выступающие в этом случае как конкуренты, образуя конкурентную среду. Методы теории игр позволяют формализовать стратегии поведения поставщиков и потребителей и описать их взаимодействие в обеих ситуациях.

Задаваемые целевые функции поставщиков и потребителей формализуются в виде математических критериев, поддающихся измерению, реализуя тем самым принцип измерения. Любые действия, совершаемые поставщиками и потребителями ресурсов, могут быть оценены с помощью введенных целевых функций.

Анализ возможностей интеграции с существующими информационными системами.

При разработке системы поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах необходимо учитывать наличие определенных информационных систем, уже функционирующих на предприятии. Эти информационные системы послужат в дальнейшем источниками исходных данных.

Потенциальная возможность наличия различных информационных систем предприятия, предоставляющих различную информацию для СППР, отличающихся форматом и структурой данных, подразумевает помодульную интеграцию с каждым таким источником.

Предлагаемый многоагентный подход подразумевает децентрализованный характер взаимодействия СППР с информационными системами предприятия.

С развитием информационных систем на предприятии, появлением принципиально новых, усовершенствованием текущих версий, прекращением использования СППР также должна развиваться, постоянно адаптируясь к любым возможным изменениям, оставаясь современной и предоставляя адекватную и релевантную информацию.

Таким образом, моделируемая сложная система рассматривается как связанная с внешними информационными системами, учитывающая любые возможные их изменения, тем самым реализуется принцип связанности.

Разработка информационного обеспечения (онтологические модели).

При разработке информационного обеспечения СППР при управлении ресурсами в сложных системах необходимо использовать методы инженерии знаний для выявления знаний о предметной области и онтологический подход для их представления. С помощью методов инженерии знаний можно выявить слабоформализуемые семантические ограничения предметной области. Представление этих знаний и ограничений в виде онтологий позволяет формализовать эти знания и использовать их при разработке СППР.

Принцип развития позволяет разрабатывать СППР с учетом возможного развития и адаптации системы, учитывая при этом любые возможные изменения внешней среды и самой системы.

Разработка алгоритмического обеспечения.

Разработка алгоритмического обеспечения для СППР при управлении ресурсами в сложных системах должна опираться на применение многоагентного подхода. Выявленные в ходе первого этапа основные сущности (поставщики и потребители ресурсов) моделируются при помощи агентов. Поведение этих агентов является целенаправленным и характеризуется целями, определенными на втором этапе. Реализация принципа модульного построения позволяет представить моделируемую сложную систему в виде совокупности взаимодействующих агентов, образующих многоагентную систему.

Решение задачи управления ресурсами должно строиться не централизованно, а на базе самоорганизационного подхода путем взаимодействия агентов при помощи коммуникаций. Для обеспечения взаимодействия агентов используется база знаний агентов, представленная в виде онтологии и определенная на третьем этапе. Принцип децентрализации, декларирующий отсутствие единого центра управления и определяющий последовательность действий для каждого агента, является основой поведения проектируемых агентов. Благодаря применению многоагентного подхода становится возможным учесть неопределенность, возникающую в процессе функционирования сложной системы.

Алгоритмы, моделирующие сложную систему, должны учитывать динамичный характер изменений внешней среды и обеспечивать возможность развития и адаптации самой системы. Применение многоагентного подхода позволяет реализовать принципы неопределенности и развития.

Моделирование функционирования сложной системы с помощью агентов многоагентной системы позволяет в достаточной степени отразить основные сущности моделируемой системы. В то же время каждый агент, моделирующий определенную сущность системы, ведет себя в соответствии с заложенными в него правилами поведения и соответствующей функциональностью. Принцип функциональности позволяет рассматривать сложную систему как единое целое с точки зрения структуры и выполняемых функций.

Алгоритмы поведения агентов для решения определенных задач должны обеспечивать достижение конечного результата. При этом достижение конечного состояния может быть осуществлено различными путями и зависит только от характеристик системы, определяемых различными начальными условиями. Данное обстоятельство отражает некоторую форму устойчивости системы по отношению к начальным и граничным условиям, обеспечивая принцип эквивалентности.

Программная реализация прототипа СППР для управления ресурсами в сложных системах.

С точки зрения практической реализации различные виды ресурсов и потребителей ресурсов реализуются как отдельные классы агентов, а конкретные ресурсы и потребители ресурсов как экземпляры соответствующих классов. Модульный принцип построения позволяет представить будущую систему в виде совокуп-

ности модулей, реализующих рассматриваемые классы.

Принцип развития позволяет предусмотреть возможность расширения, наращивания и усовершенствования системы за счет добавления новых модулей, совместимых с уже имеющимися. Применение агентно ориентированной технологии программирования обеспечивает достаточно простой и удобный механизм такого развития системы.

Построение плана распределения ресурсов.

Процесс построения плана распределения ресурсов происходит внутри многоагентной системы, в которой агенты, моделирующие поставщиков и потребителей ресурсов, взаимодействуют друг с другом. Для построения этих планов могут использоваться методы планирования, разработанные в искусственном интеллекте. Принцип эквивиальности обеспечивает возможность достижения требуемого конечного состояния в виде построенного плана распределения ресурсов независимо от начальных условий и имеющихся ограничений. При этом может существовать множество таких траекторий, позволяющих достичь заданного целевого состояния. Они могут отличаться, соответственно, будут различаться и получаемые планы распределения ресурсов.

Принцип конечной цели постулирует, что для оценки качества получаемых планов распределения используются глобальные критерии оценки цели, имеющие приоритет над локальными целями агентов, функционирующих внутри многоагентной системы.

Мониторинг исполнения плана и внесение изменений в план в случае непредвиденных обстоятельств.

Механизм обратной связи, позволяющий повысить качество и эффективность управления ресурсами, обеспечивается посредством мониторинга исполнения плана распределения ресурсов и внесения изменений в план в случае непредвиденных ситуаций. Процесс мониторинга происходит в той же самой многоагентной системе, участвующей в построении плана распределения ресурсов на предыдущем этапе.

Принципы развития и неопределенности позволяют вести мониторинг исполнения плана с учетом постоянного развития сложной системы, а также учитывать дестабилизирующие факторы внешней среды, адаптируя план распределения ресурсов к новым изменившимся условиям функционирования.

Оценка качества плана и эффективности его исполнения, выработка рекомендаций по совершенствованию процесса управления.

Для оценки качества плана и эффективности его исполнения используются результаты двух предыдущих этапов. Для полноценной реализации системы поддержки принятия решений и повышения эффективности функционирования сложной системы должны быть сформулированы критерии функционирования сложной системы, оценки качества построенных планов, а также эффективности исполнения этих планов. Это подразумевает наличие четких и ясных формальных критериев, поддающихся оценке с математической точки зрения, и отражает принцип измерения.

Несмотря на существующие локальные цели агентов, функционирующих в рамках многоагентной системы, качество плана в соответствии с принципом конечной цели будет оцениваться на основе сформулированных ранее глобальных критериев функционирования сложной системы.

Для реализации в компьютерной среде задачи управления ресурсами сложных систем с учетом семантических ограничений предметной области разработана модель и структура многоагентной системы для управления ресурсами:

$$MAS = \langle A_{\text{pec}}, A_{\text{потр_pec}}, Acts_{\text{pec}}, Acts_{\text{потр_pec}}, KB, Constraints, Tasks, F \rangle,$$

где $A_{\text{pec}} = \{a_{\text{pec}1}, \dots, a_{\text{pec}N}\}$ – множество агентов-ресурсов; $A_{\text{потр_pec}} = \{a_{\text{потр_pec}1}, \dots, a_{\text{потр_pec}M}\}$ – множество агентов – потребителей ресурсов; $Acts_{\text{pec}} = \{acts_{\text{pec}1}, \dots, acts_{\text{pec}N}\}$ – множество возможных действий агентов-ресурсов; $Acts_{\text{потр_pec}} = \{acts_{\text{потр_pec}1}, \dots, acts_{\text{потр_pec}M}\}$ – множество возможных действий агентов – потребителей ресурсов; $Constraints = \{constraints_1, \dots, constraints_L\}$ – множество ограничений предметной области, включая семантические; $Tasks = \{tasks_1, \dots, tasks_L\}$ – множество задач для каждого агента, которые должны быть решены; $KB = \{KB_1, \dots, KB_L\}$ – множество баз знаний агентов; $F = \{F_1, \dots, F_S, F_0\}$ – множество критериев оценки производительности для каждого агента; F_0 – общий критерий оценки всей системы в целом.

Основные элементы предлагаемой многоагентной системы для управления ресурсами в сложных системах в рамках предлагаемой методологии представлены на рис. 1.

С учетом требований к системе поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах, сформулированными в [16], была разработана схема управления ресурсами в сложных системах, представленная на рис. 2.

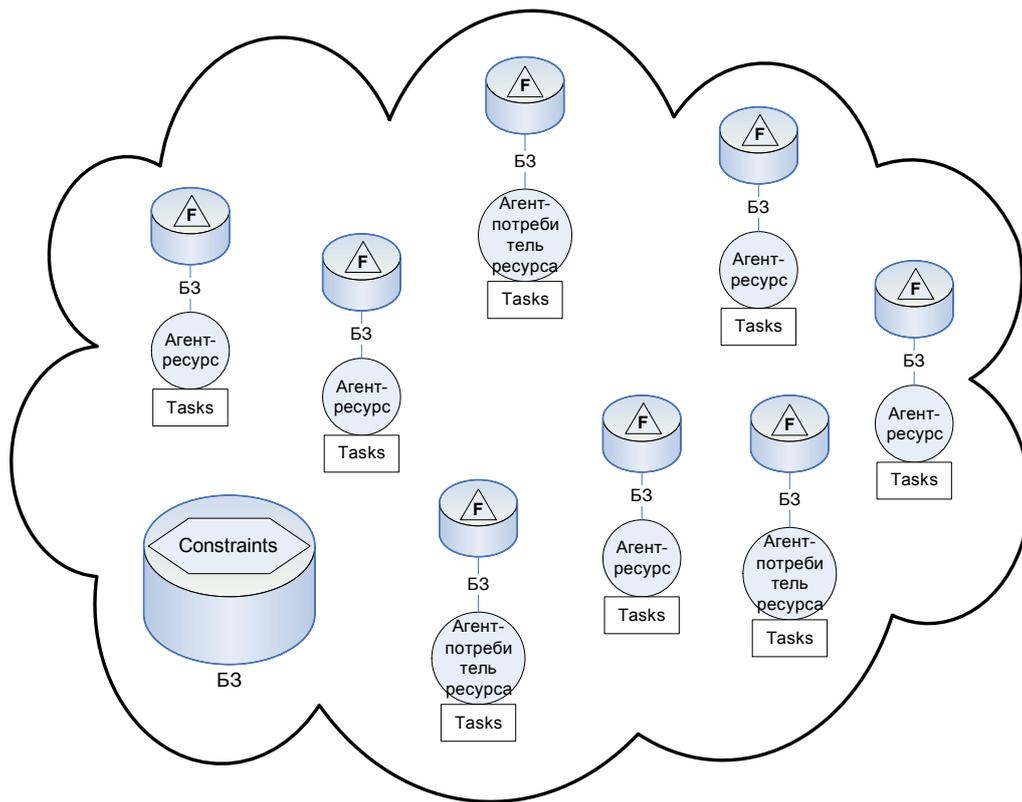


Рис. 1. Состав многоагентной системы для управления ресурсами сложных систем

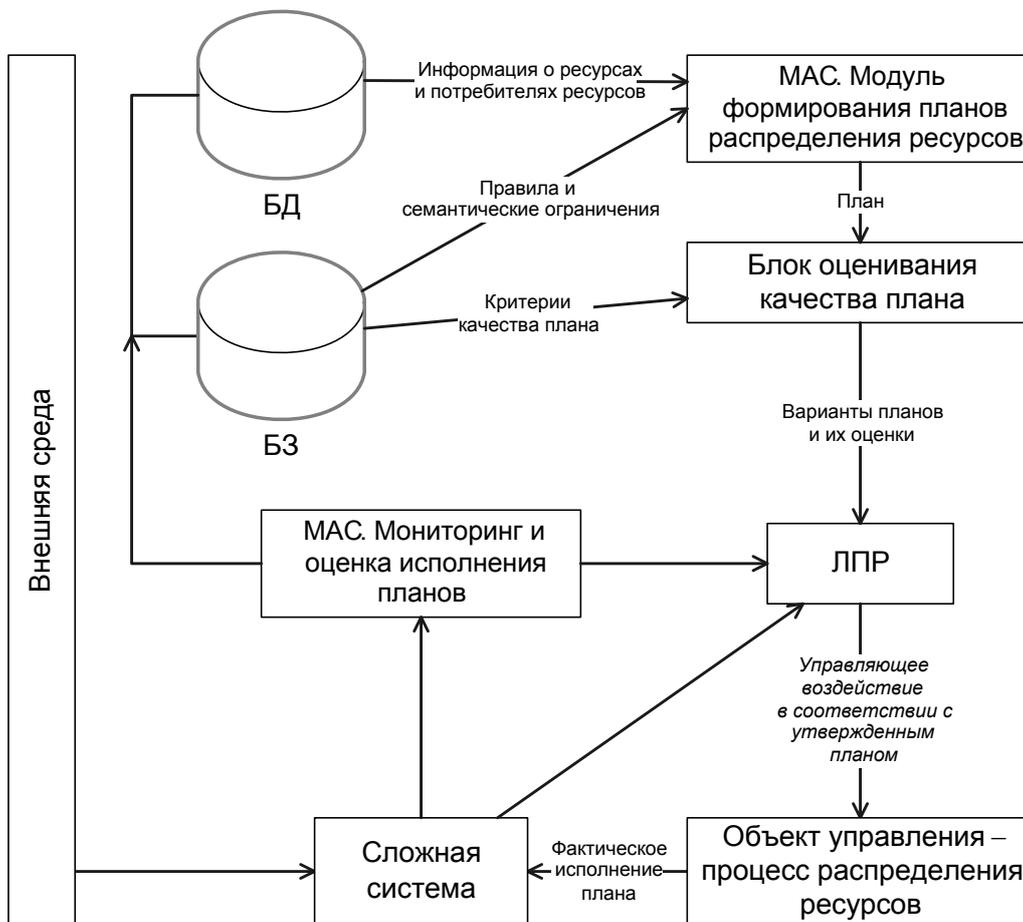


Рис. 2. Схема управления ресурсами в сложных системах

В качестве объекта управления выступает процесс распределения ресурсов. Лицо, принимающее решение (ЛПР), оказывает управляющие воздействия на объект управления в соответствии с утвержденным планом распределения ресурсов. Информационная поддержка принятия решений заключается в выработке альтернативных вариантов планов распределения ресурсов с соответствующими оценками и предоставлении их лицу, принимающему решения. За построение этих планов отвечает модуль формирования планов распределения ресурсов. При построении планов распределения ресурсов используется информация о ресурсах и потребителях ресурсов, технологические параметры, правила и семантические ограничения предметной области. Оценивание планов производится с учетом критериев эффективности, которые хранятся в базе знаний СППР.

Блок «Мониторинг и оценка исполнения планов» позволяет осуществлять мониторинг фактического исполнения плана. Результаты этого мониторинга поступают в базу данных и базу знаний СППР, а также ЛПР.

На основе предложенной методологии были разработаны прототипы СППР для конкретных практических задач на примере различных предметных областей: календарное планирование производства, распределение ресурсов в чрезвычайных ситуациях, оказание медицинских услуг [17, 18]. Данные прототипы прошли апробацию и подтвердили работоспособность предложенных теоретических и методологических основ поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах.

Заключение

В статье рассмотрены основные проблемы управления ресурсами в сложных системах. Предложенная методология поддержки принятия решений при управлении ресурсами сложных систем базируется на интеграции многоагентных технологий и онтологических моделей и позволяет учесть слабоформализуемую информацию, что позволяет повысить адаптивность модели и в конечном счете – качество принимаемых решений. Разработанная модель, структура многоагентной системы и схема управления ресурсами сложных систем служат основой информационной поддержки принятия решений при управлении ресурсами сложных систем.

Библиографические ссылки

1. *Акофф Р.* Планирование будущего корпорации. М. : Прогресс, 1985. 328 с.

2. *Беллман Р., Дрейфус С.* Прикладные задачи динамического программирования. М. : Наука, 1965. 460 с.

3. *Таха Х. А.* Введение в исследование операций. М. : Вильямс, 2005. 912 с.

4. *Полтерович В. М.* Теория оптимального распределения ресурсов Л. В. Канторовича в истории экономической мысли // Журнал новой экономической ассоциации. 2012. № 1 (13). С. 176–180.

5. *Васильев В. И., Ильясов Б. Г.* Интеллектуальные системы управления. Теория и практика. М. : Радиотехника, 2009. 392 с.

6. *Трахтенгерц Э. А.* Компьютерная поддержка принятия решений. М. : Синтег, 1998. 247 с.

7. *Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. СПб. : Питер, 2000. 384 с.

8. *Новиков Д. А.* Теория управления организационными системами. М. : МПСИ, 2005. 584 с.

9. *Поспелов Г. С., Поспелов Д. А.* Искусственный интеллект и прикладные системы. М. : Знание, 1985. 43 с.

10. *Поспелов Д. А.* Ситуационное управление: теория и практика. М. : Наука, 1986. 288 с.

11. *Виттих В. А., Скобелев П. О.* Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени // Автоматика. 2009. Т. 45, № 2. С. 78–87.

12. *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.

13. *Городецкий В. И.* Самоорганизация и многоагентные системы. Модели многоагентной самоорганизации // Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. № 2. С. 92–120.

14. *Ржевский Г. А., Скобелев П. О.* Как управлять сложными системами? Мультиагентные технологии для создания интеллектуальных систем управления предприятиями. Самара : Офорт, 2015. 291 с.

15. *Ризванов Д. А., Юсупова Н. И.* Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении ресурсами сложных систем на основе многоагентного подхода // Онтология проектирования. 2015. Т. 5, № 3. С. 297–312.

16. *Ризванов Д. А., Юсупова Н. И.* Математическое и программное обеспечение для информационной поддержки принятия решений при управлении ресурсами сложных систем // Фундаментальные исследования. 2015. № 10, ч. 2. С. 294–298.

17. *Ризванов Д. А., Юсупова Н. И.* Основы поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах с применением интеллектуальных технологий // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 1. С. 69–73.

18. *Gabdulkhakova A., König-Ries B., Rizvanov D.* Rational Resource Allocation in Mass Casualty Incidents - Adaptivity and Efficiency. Proc. 9th International IS-CRAM Conference. Vancouver, Canada, April 2012.

References

1. Akoff R. *Planirovanie budushhego korporacii* [Planning for the future of the corporation]. Moscow, Progress Publ., 1985, 328 p. (in Russ.).
2. Bellman R., Drejfus S. *Prikladnye zadachi dinamicheskogo programmirovaniya* [Applied problems of dynamic programming]. Moscow, Nauka Publ., 1965, 460 p. (in Russ.).
3. Taha H. A. *Vvedenie v issledovanie operacij* [Introduction to Operations Research]. Moscow, Vil'jams Publ., 2005, 912 p. (in Russ.).
4. Polterovich V. M. [Theory of optimal resource allocation by L. V. Kantorovich in the history of economic thought]. *Zhurnal novej jekonomicheskoy associacii*, 2012, no. 1, pp. 176-180 (in Russ.).
5. Vasil'ev V.I., Il'jasov B.G. *Intellektual'nye sistemy upravleniya. Teorija i praktika* [Intelligent control systems. Theory and practice]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2009, 392 p. (in Russ.).
6. Trahtengerc Je. A. *Komp'yuternaj apodderzhka prinjatija reshenij* [Computer decision support]. Moscow, Sinteg Publ., 1998, 247 p. (in Russ.).
7. Gavrilova T. A., Horoshevskij V. F. *Bazy znaniy intellektual'nyh sistem* [Knowledge Base of Intelligent Systems]. St. Petersburg, Piter Publ., 2000, 384 p. (in Russ.).
8. Novikov D. A. *Teorija upravleniya organizacionnymi sistemami* [Theory of Organizational Systems Management]. Moscow, Psychological and social institute, 2005, 584 p. (in Russ.).
9. Pospelov G. S., Pospelov D. A. *Iskusstvennyj intellekt i prikladnye sistemy* [Artificial Intelligence and Applied Systems]. Moscow, Znanie Publ., 1985, 43 p. (in Russ.).
10. Pospelov D. A. *Situacionnoe upravlenie: teorija i praktika* [Situational management: theory and practice]. Moscow, Nauka Publ., 1986, 288 p. (in Russ.).
11. Vittih V. A., Skobelev P. O. [Conjugate Interaction Method for Real-Time Resource Allocation Management]. *Avtometrija*, 2009, vol. 45, no. 2, pp. 78-87 (in Russ.).
12. Skobelev P. O. [Real-Time Intellectual Resource Management Systems: Principles of Development, Experience of Industrial Implementation and Development Prospects]. *Prilozhenie k zhurnalu "Informacionnye tehnologii"*, 2013, no. 1, pp. 1-32 (in Russ.).
13. Gorodeckij V. I. [Self-organization and multi-agent systems. Models of multi-agent self-organization]. *News of the Russian Academy of Sciences. Theory and Management Systems*, 2012, no. 12, pp. 92-120 (in Russ.).
14. Rzhvskij G. A., Skobelev P. O. *Kak upravljat' slozhnymi sistemami? Mul'tiagentnye tehnologii dlja sozdaniya intellektual'nyh sistem upravleniya predpriyatijami* [How to manage complex systems? Multi-agent technologies for building intelligent enterprise management systems]. Samara, Ofort Publ., 2015, 291 p. (in Russ.).
15. Rizvanov D. A., Jusupova N. I. [Intelligent decision support for resource management of complex systems based on multi-agent approach]. *Ontology of designing*, 2015, vol. 5, no. 3, pp. 297-312 (in Russ.).
16. Rizvanov D. A., Jusupova N. I. [Mathematical and software for information decision support in management of resources of complex systems]. *Fundamental research*, 2015, no. 10 (part 2), pp. 294-298 (in Russ.).
17. Rizvanov D. A., Jusupova N. I. [Basis of a decision support in the management of resources in complex systems with using intelligent technologies]. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 2017, no. 1, pp. 69-73 (in Russ.).
18. Gabdulkhakova A., König-Ries B., Rizvanov D. Rational Resource Allocation in Mass Casualty Incidents - Adaptivity and Efficiency. Proc. 9th International IS-CRAM Conference. Vancouver, Canada, April 2012.

Methodological Bases of Decision Support for Resource Management in Complex Systems

D. A. Rizvanov, PhD in Economics, Associate Professor, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

This paper discusses the methodological basis of decision support for resource managing in complex systems. Existing approaches to resource management use mostly rigid mathematical tools and data of a numerical nature. In this case, ill formalized information about the features of the subject domain is often not taken into account. The proposed methodology is a sequence of implementation of certain stages, based on appropriate approaches, methods and principles. Its distinctive feature is the integration of multi-agent technologies and ontological models, which allows to take into account ill formalized information about the subject domain. A formal model of a multi-agent system for resource managing in complex systems is proposed. It allows modeling the resource allocation process and analyzing the results of such modeling. The model includes two main types of agents: resource agents and resource consuming agents, as well as their corresponding knowledge bases. This model allows solving resource allocation problems taking into account semantic constraints and dynamically changing external environment. A scheme of a resource management system in complex systems is proposed. It allows for constructing resource allocation plans and monitoring their execution. The results of this monitoring are used further to improve the efficiency of resource management.

Keywords: making decisions, resource management, complex system, multi-agent approach, semantic constraints.

Получено 23.10.2018