

ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИИ В МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЕ АДАПТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

П.О. Скобелев¹, А.А. Жилыев^{2,3}, О.И. Лахин³, И.В. Майоров^{1,3}, Е.В. Симонова^{2,3}

¹Институт проблем управления сложными системами РАН

443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия,

petr.skobelev@gmail.com

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва

443086, Самара, Московское шоссе, д.34, Россия

zhilyaev@smartsolutions-123.ru

³ООО «НПК «Разумные решения»

443013, Самара, ул. Московское шоссе, 17, офис 12-01, Россия

info@smartsolutions-123.ru

тел: +7 (846) 279-37-79

Ключевые слова: сложные системы, управление ресурсами, планирование в режиме реального времени, онтологии, мультиагентные технологии, сеть потребностей и возможностей, самоорганизация, адаптивность

Abstract

In this paper we introduce the use of ontology for scheduling, which provides the opportunity to create ontological model of the enterprise, develop generic multi-agent scheduler and customize matching requirements for each operation in business or technological processes, for example, for applications in manufacturing, project management, supply chains, etc. The example of applications for supply chain of insurance company is presented.

Введение

На современном этапе развития систем управления производством и систем распределения и планирования ресурсов появляются значительные трудности, характерные для предприятий, работающих в условиях высокой динамики. Неопределенности могут быть связаны с проблемами учета множества различных факторов, таких как необходимость индивидуального подхода к каждому заказу, динамика цен на комплектующие, вариативность поставок от предприятий-смежников, срыв сроков, непрерывные изменения технологий, возникновение различных непредвиденных событий, непосредственно влияющих на производственные процессы предприятия в целом и т.д.

Существующие системы управления производством имеют широкий функционал и возможности интеграции с исполнительными модулями. Они сопровождают производственные процессы от выпуска до формирования на доставку. Однако они лишены инструментов поддержки принятия решений и реакции на динамические изменения ситуации [1-4].

Таким образом, поддержание производственных планов в адекватном состоянии на всех уровнях, с учетом неопределенности времени и характера изменений, становится актуальной

задачей. Современные интегрированные производственные системы должны гибко и оперативно реагировать на события, учитывать распределенный характер большинства подсистем управления и отсутствие централизации в них, самостоятельно принимать решения об исправлении и парировании непредвиденных ситуаций и выдавать обновленные согласованные планы [5]. Основные принципы построения и внедрения таких систем рассмотрены в [6]. Решение подобной плохо формализованной задачи должно выполняться в режиме реального времени, поэтому система управления должна строиться на сетцентрических принципах и быть адаптивной к изменениям.

Для учета непредвиденных событий, неопределенностей, динамики цен и доступности ресурсов большое распространение получают мультиагентные системы, в которых текущее расписание строится при помощи агентов задач и ресурсов, взаимодействующих путем передачи сообщений в сетях потребностей и возможностей на основе самоорганизации [7].

1 Мультиагентные технологии для планирования ресурсов

Разработанный подход основан на концепции сетей потребностей и возможностей [8, 9]. Агенты ПВ-сети [10] взаимодействуют друг с другом посредством переговоров в сцене мира, которая строится как отражение реальной ситуации в реальной жизни, с текущим планом действий и ожидаемыми результатами, доступными агентам предприятия или подразделения (например, цеха) на соответствующих уровнях (рисунок 1). Агент заказа зачитывает структуру предприятия из онтологии и определяет отношения ресурсов, необходимых для его исполнения. Агент нового заказа, поступив в сцену, обращается к агенту предприятия со своими требованиями. Агент предприятия (штабной агент) активизирует агенты подразделений, которые создают агенты технологических процессов, а также операций и подзадач, которые направляют запросы к ресурсам – станкам, оборудованию, материалам. Агенты выполняют матчинг по соответствиям типов, производительности, требованиям к персоналу. Ресурсы (станки, специалисты) анализируют локальные расписания и проверяют возможные размещения. Агент нового заказа пытается договориться с мешающими ему заказами о подвижках и соответствующих компенсациях, в режиме проактивности меняя локальные расписания. При достижении консенсуса новое расписание принимается всеми участниками. В противном случае итерации (волны) переговоров затрагивают более глубокие слои расписания с участием отдаленных участников по цепочке.

Такой распределенный подход позволяет повышать сложность решаемых задач, сколько угодно расширяя постановку задачи и вводя новых агентов, например, для учета ремонта оборудования, транспортировки продукции и т. д.

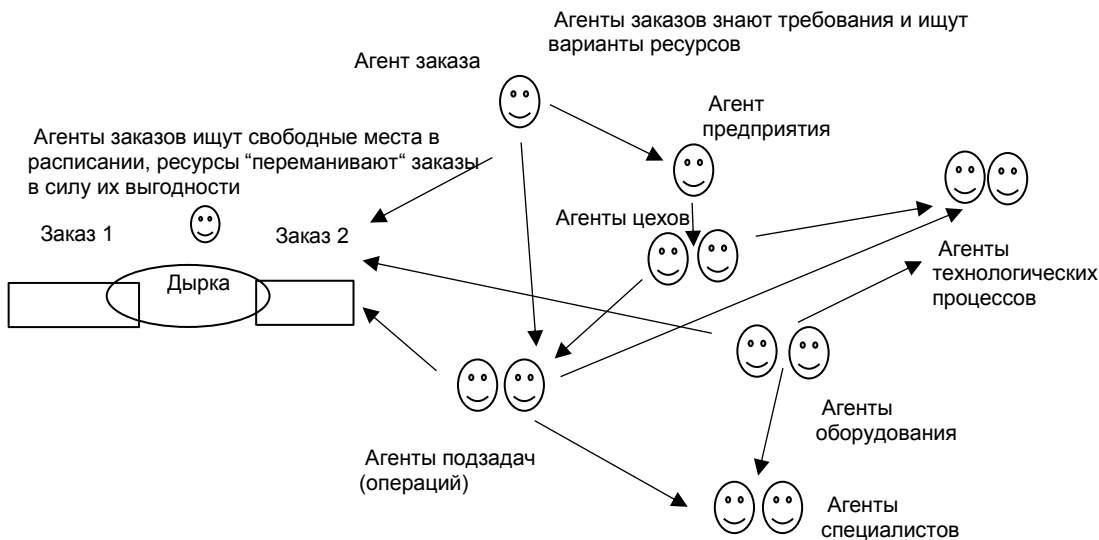


Рисунок 1 – Сцена мира заказов и ресурсов

2 Метод адаптивного планирования

Формализованная постановка задачи основана на поиске консенсуса между агентами на виртуальном рынке ПВ-сетей и может быть сформулирована следующим образом [7].

Предположим, что все агенты потребностей и возможностей имеют свои собственные цели, критерии, предпочтения и ограничения (например, сроки, стоимость, риски, приоритеты, необходимое оборудование или квалификация работников). Важность каждого критерия может быть представлена весовыми коэффициентами в линейной комбинации критериев для данной ситуации, но может меняться при формировании или исполнении расписания.

Введем функцию удовлетворенности (Satisfaction function) для каждого агента, которая будет показывать отклонение текущего значения этой функции от заданного идеального по любому из критериев текущего шага поиска решения.

Пусть у каждой потребности j есть несколько индивидуальных критериев x_i и предложенных идеальных значений x_{ij}^{id} . Для каждого агента потребности j нормированная функция вычисляется компонентом i , заданным, например, как линейная функция $f_{ij}^{task}(x_i - x_{ij}^{id})$. В большинстве случаев эта функция имеет форму колокола с вершиной в точке предполагаемого идеального значения. В качестве итогового результата для каждой потребности оценивается сумма виртуальных значений для каждого критерия i с заданными весовыми коэффициентами α_{ij}^{task} .

При правильном выборе признаков и формы функции цель каждого агента может быть переформулирована как увеличение (максимизация) значения y_j^{task} потребности j (задача верхнего индекса означает, что значения принадлежат агентам потребности):

$$y_j^{task} = \sum_i \alpha_{ij}^{task} \cdot f_{ij}^{task}(x_i - x_{ij}^{id}),$$

где $\forall j$ весовые коэффициенты нормированы: $\sum_i \alpha_{ij}^{task} = 1$

Проблема нахождения состояний x_{ij}^* агентов потребностей j , максимизирующих общую стоимость всех заказов, может быть сформулирована следующим образом:

$$y^{task} = \sum_j \beta_j^{task} y_j^{task} = \sum_j \beta_j^{task} \sum_i \alpha_{ij}^{task} f_{ij}^{task}(x_i - x_{ij}^{id}) \quad (1)$$

$$y^{task*} = \max_{x_i}(y^{task}),$$

где β_j^{task} - это вес потребности, который позволяет устанавливать и динамически изменять приоритеты, показывающие важность критериев.

Аналогично, функция значений может быть задана для ресурсов по критериям z_k , с функцией $f_{kl}^{res}(z_k - z_{kl}^{id})$, весом α_{kl}^{res} критерия k для ресурса l и значением ресурса β_l^{res} для системы (что аналогично весу функций агентов потребностей):

$$y^{res} = \sum_l \beta_l^{res} \cdot y_l^{res} = \sum_l \beta_l^{res} \sum_k \alpha_{kl}^{res} \cdot f_{kl}^{res}(z_k - z_{kl}^{id}) \quad (2)$$

$$y^{res*} = \max_{z_k}(y^{res})$$

$$z_k \in D^K, x_i \in D^I \quad \forall i, k, l = Dim(D^I), K = Dim(D^K) \quad (3)$$

Переменные x и z относятся к некоторым областям пространства критериев потребностей и возможностей, I и K являются размерами соответствующих пространств критериев, верхний индекс res означает, что значения принадлежат агентам возможностей.

Таким образом, в сети потребностей и возможностей задача оптимизации сформирована как решение (1) - (3).

Разработанный метод основан на концепции ПВ-сети, где агенты существуют на виртуальном рынке и постоянно стремятся улучшить свои индивидуальные функции удовлетворенности (которые отражают их заданные многокритериальные цели) с использованием функций бонусов и штрафов (рисунок 2).

Агенты пытаются максимизировать свои функции удовлетворенности, используя доступные им виртуальные деньги: чем лучше позиция, тем больше бонус и тем больше денег на виртуальном счете агента. Чем больше денег, тем больше вариантов для перестройки расписания.

Функции бонусов и штрафов отражают изменения в функции удовлетворенности агентов и определяют гибкость компромиссов при решении конфликтов.

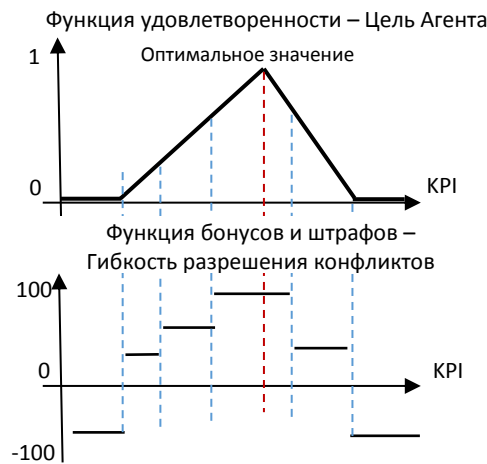


Рисунок 2 – Пример функции удовлетворенности

Протоколы решения конфликтов основаны на модификациях контрактной сети – каждая задача может быть расположена на свободном слоте, сдвинута, отброшена, разделена или заменена.

Однако в случае конфликта один агент может предложить компенсацию другому агенту, а второй агент примет предложение, только если его функция удовлетворенности не ухудшится [11].

Разные протоколы могут определять различные методы решения конфликтов.

Общее поведение сложных систем – это развитие через взаимодействие агентов, что, в свою очередь, ограничивает их поведение. Такое поведение называется эмерджентным. Оно недетерминировано и непредсказуемо, но не хаотично.

Чрезвычайная ситуация приводит к неустойчивым равновесиям, связанным с обоснованным консенсусом многих конфликтующих агентов, которые представляют сбалансированные расписания, обеспечивающие адаптивность к внешним факторам.

Более подробно логика принятия решений и протоколы переговоров агентов представлены в [6].

3 Использование онтологии для настройки мультиагентного планирования

Переход к цифровой экономике предполагает развитие методов и средств формализованного представления знаний, которые должны обеспечивать возможность унифицированного построения цифровых моделей всех аспектов деятельности предприятий для обеспечения возможностей по управлению ресурсами предприятий, по поддержке взаимодействия в рамках отраслевых цифровых платформ, прозрачности движения товаров и предоставления услуг и т. д.

Такого рода модели должны включать в себя описание объекта и предмета деятельности предприятия, требований к качеству изделий и процессов, состав подразделений до уровня каждого сотрудника с присущими им компетенциями применяемыми инструментами, технологические или бизнес-процессы и другую нормативно-техническую документацию, регламенты взаимодействий подразделений и специалистов, результаты модельных и натурных испытаний объектов и т. д.

Такие знания можно эффективно хранить в виде онтологий и использовать для управления ресурсами предприятий. Для практического применения данного подхода требуется решение ряда фундаментальных научных задач – какова должна быть структура онтологии предприятия? Какого рода инструменты должны применяться для создания промышленных Баз знаний на основе онтологий? Какие механизмы должны быть заложены в работу таких Баз знаний, чтобы обеспечить автоматизацию работы со знаниями и их интеграцию с существующими базами данных? Каков их жизненный цикл?

Известные конструкторы онтологий (Protégé, OntoEdit, OntoLingva и другие) преследуют исследовательские цели, не предназначены для построения моделей деятельности, тем более, масштаба предприятий, не дают возможность строить базы знаний с тысячами экземпляров, сложны и трудоемки в использовании.

В этой связи становится актуальной и значимой разработка методов и средств формализованного представления знаний, которые позволят связать в единую семантическую сеть различные по своим форматам данные, обеспечить удобный доступ пользователей к этой информации, а также сделать эти знания пригодными для компьютерной обработки. При этом важно предоставить пользователям возможность семантизации информации (классификации и параметризации квантов знаний, их связывания и т. п.), включая возможность построения семантических дескрипторов (мета-данных), подходящих для компьютерной обработки. Но сама природа систем знаний не статична, она постоянно развивается – в этой связи нужно сделать знания активными за счет применения мультиагентных технологий, чтобы иметь возможность поддерживать процессы сопоставления квантов знаний, их категоризации, классификации, связывания и т. д.

В результате знания предприятия могут быть организованы в интуитивно понятную систему типа Википедии, в которой поддерживаются процессы самоорганизации, таким образом, чтобы знания были по возможности полными и связанными, не противоречивыми, наглядными и прозрачными, открытыми к изменениям.

Текущие тенденции развития интеллектуального производства связаны с использованием таких методов как онтологическое представление знаний, машинное обучение, базы знаний и т. д., которые являются очень важными и перспективными для применения в промышленности.

В [12] представлена интеллектуальная мультиагентная система управления производством на основе онтологий. С помощью семантических технологий обеспечивается высокая адаптивность и реактивность настройки мелкосерийного производства высокотехнологичной продукции, такой как производство самолетов, на стадии ramp-up.

В [13] представлен метод описания производственных ресурсов на основе многоуровневой онтологии описания производственных ресурсов, а также управления производственными ресурсами. Использование онтологии обеспечивает точность и полноту поиска производственных ресурсов. Однако данный метод не обеспечивает настройку индивидуальных особенностей задач и производственных ресурсов в онтологии распределения ресурсов для управления и планирования на предприятии.

В [14] описывается применение онтологии в распределенной семантической сети производственных цехов предприятия для формирования эффективной и масштабируемой системы взаимодействия и поиска данных по информационным запросам.

Из этих примеров уже видно, что онтологии становятся средством управления приложениями, но возможность детального описания задач не была исследована.

Одним из новых этапов в наших мультиагентных разработках стало создание прототипа новой базы знаний, основанной на онтологии, для адаптивного планирования. Ключевая идея этой задачи заключалась в сборе, формализации и применении знаний о конкретных предметных областях на уровне конечных пользователей (работников, водителей и т. д.) Подобные знания могут значительно улучшить качество получаемого расписания.

Проблема в том, что такие обычно скрытые знания очень сложно формализовать в начале разработки программного обеспечения, и они становятся доступными только тогда, когда первые варианты расписаний, сгенерированные системой, поступают к пользователям.

В качестве первого шага была разработана «Базовая онтология планирования», в которой описываются следующие ключевые понятия:

Каждая из трех составляющих этой части имеет свой стиль оформления:

- Заказ – описывает, какой продукт или услуга требуется;
- Технологический или Бизнес-процесс – описывает набор выполняемых задач (операций);
- Задача (операция) – определяет работу, которая должна быть выполнена, включая все необходимые ресурсы;
- Ресурс – люди, оборудование или материалы, необходимые для выполнения задач или операций;
- Продукт – добавление выпускаемой продукции, используемой в операциях;
- Отдел – состоит из ресурсов разных типов.

Кроме того, был введен ряд классов отношений для увязки вышеупомянутых понятий, в том числе:

- Заказ «Создает» Объекты – описывает, какие объекты будут созданы для заказа;
- Объект 1 «Является-Частью» Объекта 2 – описывает сборку объектов;
- Объект «Имеет» Бизнес-процесс – описывает технологические или бизнес-процессы, доступные для производства объектов;

- Задача 2 «Является-Следующей-или-Предыдущей» для Задачи 1 – описывает взаимозависимость задач в бизнес-процессе;
- Задача «Требует» Ресурс – описывает правила соответствия для выбора ресурсов;
- Задача «Производит» Продукт – описывает производимые объекты для задач;
- Задаче «Нужны» Материалы – описывает входные объекты для задач и т. д.

На втором этапе были разработаны Конструктор Онтологии и База Знаний, созданная в виде семантической Wiki (рисунок 3).



Рисунок 3 – Фрагмент базовой Онтологии Планирования

С помощью Конструктора Онтологии можно спроектировать онтологию планирования для определенной предметной области, а затем с помощью этой онтологии домена указать онтологическую модель (Онто-модель) предприятия.

Онто-модель предприятия содержит онтологическое описание всех экземпляров сущностей, необходимых для адаптивного планирования заказов по ресурсам:

- организационная структура предприятия, которая определяет, какие ресурсы доступны в отделах;
- список продуктов или услуг;
- список сотрудников по отделам с их компетенциями;
- перечень станков, оборудования и инструментов по отделам;
- первоначальный график задач по отделам;
- состояние продуктов и материалов на складе и т. д.

В качестве третьего этапа был разработан мультиагентный планировщик на основе общей базы знаний, который может быть настроен для любого типа предприятия.

Вариант добавления новых отношений в базе знаний в качестве новых правил соответствия дает возможность конечным пользователям расширять онтологию предметной области и онто-модель предприятия «на лету» и тем самым улучшать качество расписаний.

4 Применение базы знаний в адаптивном планировщике для страховой компании

Рассмотрим пример разработки мультиагентного планировщика для цепочки поставок в страховом бизнесе. Страховая компания сталкивается с множеством непредвиденных заявок,

связанных с климатическими изменениями - плохими погодными условиями, торнадо, наводнением и т. д.

Предположим, что у страховой компании есть следующие ресурсы, которые используются для ремонта застрахованных объектов:

- Четыре оценщика, которые выезжают к клиентам на своих собственных или арендованных автомобилях;
- После посещения оценщики пишут отчет по заявке и направляют его менеджеру, который решает, как необходимо действовать по данной заявке, и принимает по ней решение;
- Ремонт имущества осуществляется водопроводчиками, электриками и/или строителями;
- Ремонтные материалы приобретаются закупщиками и транспортируются из магазинов по адресам заявок грузовыми автомобилями;
- Собственные автомобили, арендованные автомобили и грузовики добираются до места назначения по маршрутам.

В процессе обработки заявок могут возникать различные непредвиденные события. Цель системы состоит в том, чтобы планировать ресурсы для обработки заявок в режиме реального времени и перераспределять затронутые части расписания всякий раз, когда происходит непредвиденное событие.

Для рассматриваемого случая была разработана «Онтология цепочки поставок страховой компании» как расширение ранее разработанной «Онтологии планирования» (рисунок 4).

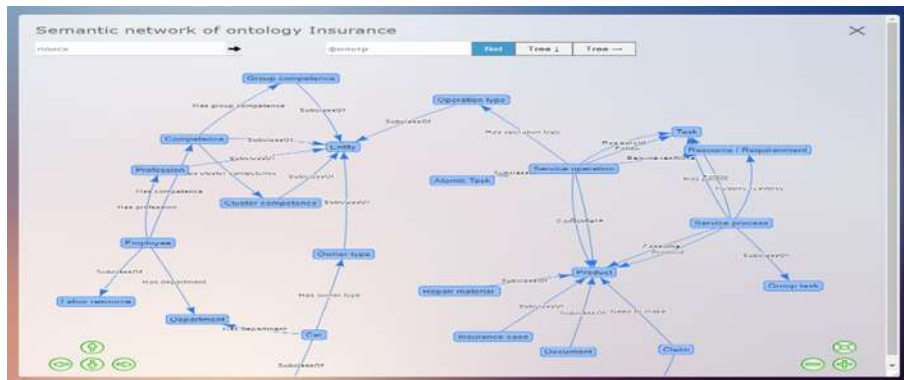


Рисунок 4 – Фрагмент онтологии для цепочки поставок страховой компании

Данная онтология страховой компании содержит общие бизнес-процессы и типы заявок и ресурсов, которые относятся к страховому бизнесу, но не к конкретной страховой компании. На базе этой онтологии была разработана онто-модель конкретной страховой компании, которая включает ряд конкретных сотрудников с их навыками и т. д. В этом примере предметная область «Страховая онтология» содержит около 50 классов понятий и отношений, которые могут быть использованы для описания конкретной страховой компании. Разработанная онто-модель конкретной страховой компании содержит около 70 дополнительных сущностей, которые представляют собой экземпляры ранее определенных понятий и отношений.

Далее онто-модель страховой компании может быть загружена в мультиагентный планировщик на основе базы знаний, в результате работы которого строится расписание страховой компании (рисунок 5).

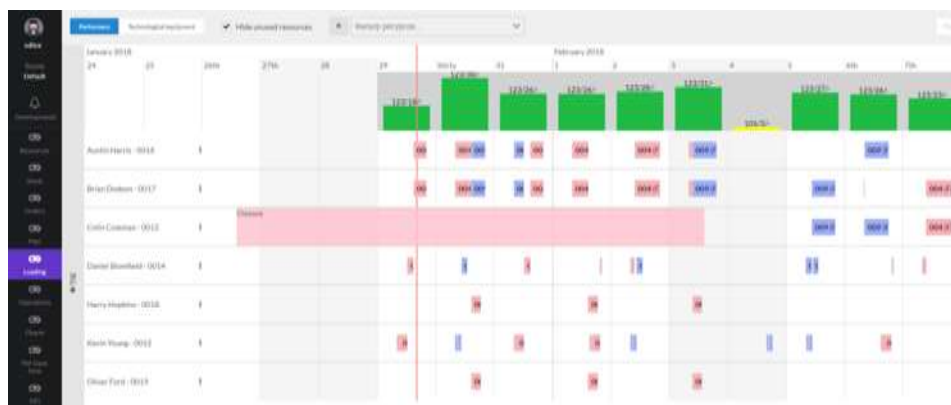


Рисунок 5 – Расписание страховой компании

Используя базовую онтологию, мультиагентный планировщик и базу знаний, команда разработчиков смогла всего за 3 дня настроить универсальный планировщик для нового страхового бизнеса. В ходе настройки односторонняя спецификация проблемы от клиента была «переведена» примерно на 300 онтологических понятий и отношений, которые помогают начать планирование с нуля.

Заключение

Описанные разработки помогают достичь следующих результатов:

- управление сложностью для нужд производственных и транспортных компаний, управления цепочками поставок и другими сетями;
- решение «неразрешимых» проблем с возможностью привлечения большего количества факторов, критериев, предпочтений и ограничений;
- поддержка командной работы с пользователями, формирующими баланс интересов;
- детальное представление объектов и процессов реального мира;
- адаптивное реагирование на события в режиме реального времени;
- использование знаний, относящихся к конкретной предметной области или компании, для создания допустимых расписаний, которые соответствуют противоречивым предпочтениям и ограничениям лиц, принимающих решения.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 16-01-00759 «Теоретические основы создания эмерджентного интеллекта для решения сложных задач управления ресурсами».

Список литературы

- [1] Saenz de Ugarte B., Artiba A., et al. Manufacturing execution system – a literature review // *Production Planning & Control*. – 2009, 20(6). – P. 525-39.
- [2] Kletti J. *Manufacturing Execution System – MES*, Springer, Berlin, Heidelberg. 2010. – 272 p.
- [3] Jeon B. W. et al. An architecture design for smart manufacturing execution system // *Computer-Aided Design and Applications*. – 2017, 14(4). – P. 472-485.
- [4] Strang D., Galaske N., Anderl R. Dynamic, adaptive worker allocation for the integration of human factors in cyber-physical production systems // *Advances in Ergonomics of Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future*. – Springer International Publishing, 2016. – P. 517-529.

- [5] Giret A., Trentesaux D., Prabhu V. Sustainability in Manufacturing Operations Scheduling: A State of the Art Review // *Journal of Manufacturing Systems*, 37(1), 2015. – P. 126–140.
- [6] Rzevski G., Skobelev P. *Managing complexity*. – WIT Press, 2014, 198 p.
- [7] Skobelev P. Multi-Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management. In *Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry*. Paulo Leitão, Stamatis Karnouskos (Ed.). – Elsevier, 2015. – P. 207-230.
- [8] Skobelev P. Open multi-agent systems for decision making support // *Avtometriya, Journal of Siberian Branch of Russian Academy of Science*. – 2002, n6. – P. 45-61.
- [9] Skobelev P., Vittikh V. Models of Self-organization for Designing Demand-Resource Networks // *Automation and Control, Journal of Russian Academy of Science*. – 2003, n1. – P. 177-185.
- [10] Mayorov I., Skobelev P. Towards thermodynamics of real-time scheduling // *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. – WIT Press, vol. 10(2015), is. 3. – P. 213-223.
- [11] Vittikh, V., Skobelev, P. The compensation method of agents interactions for real time resource allocation // *Avtometriya, Journal of Siberian Branch of Russian Academy of Science*. – 2009, n2. – P.78-87.
- [12] Despina T. Meridou, Andreas P. Kapsalis, Maria-Eleftheria Ch. Papadopoulou et al. An Ontology-Based Smart Production Management System // *IT Professional*, Vol. 17, Is. 6, 2015. – P. 36 – 46.
- [13] Ontology-based manufacturing capacity multi-granularity description framework and method. Patent № CN104615671.
- [14] Salman Saeidlou, Mozafar Saadat, Ebrahim Amini Sharifi & Guiovanni D. Jules. An ontology-based intelligent data query system in manufacturing networks // *Production & Manufacturing Research, Journal*, Vol. 5, is. 1, 2017. – P. 250-267.

Published: П.О. Скобелев, А.А. Жилиев, О.И. Лахин, И.В. Майоров, Е.В. Симонова. Применение онтологии в мультиагентной системе адаптивного планирования // *Труды XX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах»*, Самара, 03-06 сентября 2018 г. – Самара: ОФОРТ, 2018. – С. 367-375. – ISBN 978-5-473-01200-2.