МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ АГЕНТОВ ПОТРЕБНОСТЕЙ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ

И.В. Майоров, П.О. Скобелев
Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
imayorov@smartsolutions-123.ru
тел: +7 (846) 332-39-27

Ключевые слова: *мультиагентные системы, планирование, сеть потребностей и возможностей, динамика*

Abstract
A macroscopic model of demand and resource agents dynamics of multi-agent scheduling system is suggested in the form of rate equations of satisfaction. The model considers order inflows, orders processing by resources, their accumulation in queues for scheduling and rescheduling due to a virtual profit share. The model demonstrates equilibrium conditions formation, relaxation to them in different modes, agents' satisfaction dissipation and other phenomena.

Введение

Системы планирования ресурсов современных предприятий в условиях неопределенности изменений спроса и предложения должны позволять оперативно, гибко и эффективно принимать решения, отражающие баланс интересов многих участников. В этой связи развитие вычислительных алгоритмов распределения, планирования и оптимизации ресурсов идет по пути создания адаптивных систем управления ресурсами, пригодных для быстроизменяющихся ситуаций окружающей среды.

Решение классических задач планирования ресурсов (также известных как NP-трудные задачи) обычно формулируется как пакетный процесс, в котором все заказы и ресурсы известны заранее и не изменяются в процессе работы [1]. Традиционные ERP системы реализуют различные версии линейного или динамического программирования, программирования с учетом ограничений и других методов, основанных на комбинаторном поиске вариантов [2]. Для уменьшения сложности комбинаторного поиска новые методы используют эвристики и мета-эвристики [3], которые при некоторых условиях позволяют получать приемлемые решения за разумное время за счет сокращения вариантов поиска. Также используются «жадные» локальные методы поиска, методы имитации отжига, программирование в ограничениях, табу поиска, генетические и муравьиные алгоритмы и др.

Вышеуказанные методы, в основном, также основаны на пакетной обработке и с трудом расширяются дополнительными целевыми критериями, не позволяя учитывать множественные факторы, используемые в реальной жизни, которые могут задаваться не только формулами и неравенствами, но также таблицами, графиками и даже алгоритмами.

В отличие от классических больших, централизованных, неделимых и последовательных программ, мультиагентные системы (МАС) построены в виде распределенных групп небольших автономных программных объектов, работающих асинхронно, но согласованно, для получения результата.

Мультиагентные технологии применяются для решения задач оптимизации и планирования в распределенных системах [4]. Для решения задач планирования производства были разработаны также биотехнологические методы, например, роевая оптимизация, гибридные методы на основе искусственной иммунной системы, оптимизация методом роя частиц [5-7]. В то же время, в связи с разработкой и применением мультиагентных систем [8], необходимы модели, в которых поведение МАС может быть рассмотрено макроскопически, не вдаваясь в детали конкретного механизма обмена сообщениями между агентами [9]. Такие модели коллективного поведения используются при моделировании трафика и пропускной способности дорог [10-11], в исследованиях поведения автономных роботов [12] и др. Однако модели динамики поведения МАС планирования в доступных источниках не обнаружены.

Далее предлагается динамическая модель агентов ресурсов и задач, развивающая подходы сетей потребностей и возможностей.

1 Сети потребностей и возможностей

Реализация мультиагентного подхода к разработке интеллектуальной системы динамического планирования основана на использовании концепции сетей потребностей и возможностей (ПВ-сетей) и метода сопряженных взаимодействий для управления ресурсами предприятий в реальном времени на виртуальном рынке [13-14].

Согласно данной концепции, каждой заявке, заказу и другим потребностям и возможностям (производственные ресурсы, станки, оборудование, транспортные средства, персонал) сопоставляются программные агенты, которые договариваются с другими агентами и планируют выполнение заказов “точно-в-срок” (JIT) или “как можно раньше” (ASAP), что позволяет обеспечить поддержку коллективного согласования и принятия решений в реальном времени на различных этапах планирования и исполнения производственного плана в различных подразделениях, работающих совместно над решением общих задач.

1.1 Агенты потребностей и возможностей

Задача агентов потребностей D (Demand Agent) – найти возможности (ресурсы) для удовлетворения потребностей, а задача агентов возможностей S (Supply Agent) состоит в том, чтобы найти потребности для использования своих возможностей. В результате успешного поиска D и S агенты могут заключать или пересматривать контракты на требуемые услуги на виртуальном рынке системы с выплатой бонусов в случае успешного их выполнения или штрафов в случае разрыва связей, а также компенсаций за ухудшение позиций при уступках в ходе переговоров.

Постоянный поиск соответствий между конкурирующими и кооперирующимися агентами потребностей и возможностей на виртуальном рынке системы позволяет строить решение любой сложной задачи как динамическую сеть связей между задачами (операциями), гибко изменяемую в реальном времени (Рисунок 1).

Рисунок 1 – Виртуальный рынок ПВ-сети построения расписаний

1.2 Функции удовлетворенности и штраф-бонусные функции агентов

Формализованная постановка задачи, в основе которой лежит поиск консенсуса между агентами на виртуальном рынке в ПВ-сетях, может быть сформулирована следующим образом. Предполагается, что все агенты спроса и предложений имеют собственные цели, критерии, настройки и ограничения (например, срок, стоимость, риск, приоритет, тип требуемого оборудования или квалификация рабочего). Важность каждого критерия может быть представлена в виде весовых коэффициентов в линейной комбинации критериев для заданной ситуации планирования и может изменяться в ходе формирования или выполнения расписания.

Вводится функция удовлетворенности для каждого агента (Рисунок 2(а)), которая будет показывать отклонение текущего значения данной функции от заданного идеального значения по любому из критериев на данном шаге нахождения решения для расписания данного агента. Действия агентов также зависят и от функции бонусов/штрафов и текущего бюджета в виде виртуальных денег (которые могут идти на перепланирование), доступных каждому агенту (Рисунок 2(б)).

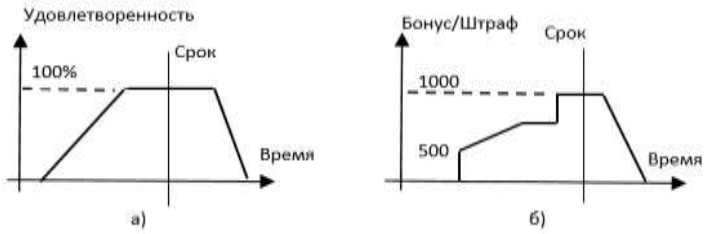

Рисунок 2 – Пример функции удовлетворенности (а) и функции бонуса/штрафа (б)

Агенты ПВ сети непрерывно пытаются улучшить свои показатели по различным критериям путем переговоров и поиска лучшего места в расписании. Этот процесс основан на методе компенсаций [15]. В результате взаимодействий агентов ПВ-сети строится расписание, непрерывно улучшающееся в проактивном процессе. Улучшения могут планироваться в несколько шагов, поэтому локально возможны колебания параметров, которые затухают при отсутствии внешних изменений и “диссипации энергии”, связанной с виртуальной валютой агентов.

2 Динамическая модель удовлетворенности агентов

Динамика поведения агентов ПВ сети зависит от конкретного значения удовлетворенности каждого агента и от наличия виртуальных денег для осуществления перестановок в заданной системе ограничений. Она определяется топологией образовавшейся сети и может быть достаточно сложной. Для моделирования динамики была создана мультиагентная платформа (Рисунок 3), позволяющая строить прототипы приложений для различных предметных областей и исследовать их характеристики [16].

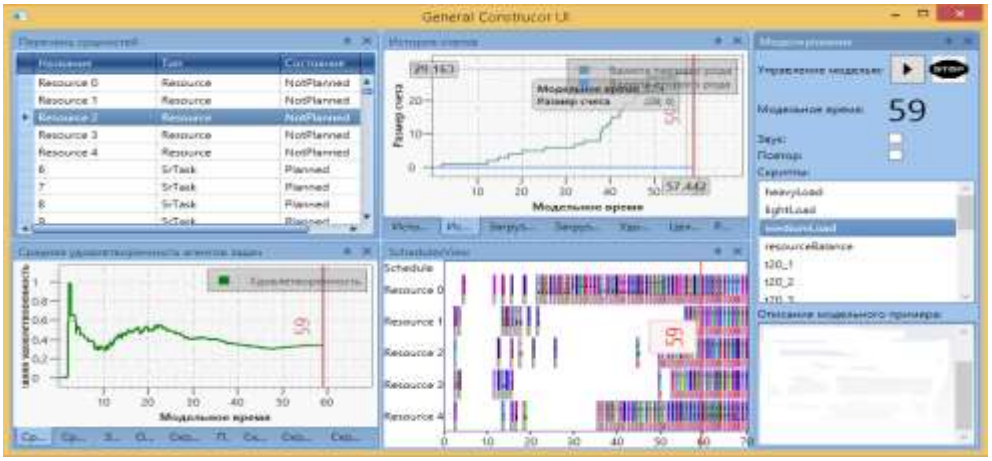

Рисунок 3 – Внешний вид интерфейса МА платформы

Экспериментальные исследования поведения агентов показывают, что глобальные характеристики поведения агентов могут быть определены с помощью рассмотрения средних по ансамблю показателей. Поэтому для предварительной оценки возможных режимов поведения мультиагентных систем можно развить упрощенную модель без учета топологии сети и деталей функций удовлетворенности конкретных агентов.

2.1 Формальная постановка задачи

При описании системы взаимодействующих агентов ПВ сети представляется возможным рассматривать поведение агентов макроскопически, отвлекаясь от деталей внутренней динамики планирования, с целью выяснить общие характеристики системы. В таком приближении предлагается рассматривать систему агентов потребностей (D) и возможностей (S) при помощи суммарных функций удовлетворенностей ($y(t)$), которые в общем случае пропорциональны количеству агентов соответствующего вида:

$$y_{S,D}(t) = \sum_i^{N_{S,D}} y_{i,S,D}(t) \sim N_{S,D}(t) \cdot \overline{y_{S,D}(t)}, \quad (1)$$

где $\overline{y_{S,D}}$ – средняя удовлетворенность одного агента потребности (D) или возможности (S), $N_{S,D}$ – количество соответствующих агентов, зависящее от времени.

Для упрощения обозначений предлагается описывать удовлетворенность агентов потребностей через D, агентов возможностей – через S. Поступление заявок и их выполнение – дискретный по времени процесс, однако, при большом количестве заявок и малом интервале

времени между ними по сравнению с периодом моделирования его можно приближенно рассматривать как непрерывный [17].

В систему, которая находится в некотором состоянии по удовлетворенности (D_0, S_0), поступает поток заявок $L(t)$ (Рисунок 1), которые планируются на ресурсах, создавая очереди. В результате переговоров часть агентов потребностей перепланируется, очереди динамически изменяются. Поэтому в терминах удовлетворенности можно сказать, что входной поток L дает часть энергии для роста удовлетворенности агентов потребностей $\mu_D\lambda$ (t) и возможностей $\mu_S\lambda(t)$, $\mu_D+\mu_S=1$, где μ_D и μ_S – коэффициенты доли входного потока удовлетворенности $\lambda(t)$, преобразующегося в удовлетворенность агентов потребностей (D) и возможностей (S) соответственно. Точный характер этой зависимости неизвестен, поэтому предполагается, что он пропорционален входному потоку L.

Ресурсы перерабатывают заявки, при этом увеличивается прибыль P. Часть прибыли поступает обратно в систему, увеличивая скорость планирования. Поэтому динамику такой системы приближенно можно описать системой кинетических уравнений удовлетворенности и прибыли. Доля прибыли, идущая на перепланирование, играет роль катализатора. Скорости взаимодействий (планирований) зависит от "концентрации" агентов потребностей и возможностей, от длин очередей в ресурсах, скорости переработки и скорости разрушения очередей. С другой стороны, интенсивность перепланирований будет зависеть от активности агентов (количества переговоров), которые определяются текущими значениями удовлетворенности.

Поэтому в динамике системы потребностей и возможностей могут наблюдаться процессы, сходные с автокаталитическими реакциями. Входной поток заказов играет роль потока энергии, доля генерируемой прибыли аналогична катализатору, а обратная величина удовлетворенности системы сходна с температурой.

2.2 Кинетические уравнения удовлетворенности

Для описания скорости изменения удовлетворенности агентов потребностей будем учитывать входной поток, преобразующийся в удовлетворенность агентов $\mu_D\lambda(t)$. Удовлетворенность потребностей снижается в результате ухода в зону планирования на ресурсах, пропорционально существующей концентрации агентов потребностей и концентрации агентов возможностей $\sim N_D \cdot N_S$. Согласно (1), эту составляющую можно выразить через $\beta \cdot D(t) \cdot S(t)$, где β – некоторый коэффициент, характеризующий темп изменения удовлетворенности за счет планирования. Далее, увеличение количества агентов потребностей, связанное с выходом из очереди, зависит от концентрации агентов потребностей и некоторой колоколообразной функции $f(S,S')$, зависящей от агентов ресурсов, S' – предельное значение удовлетворенности ресурсов, выше которого очередь постепенно распадается, агенты потребностей опять поступают в систему (Рисунок 4):

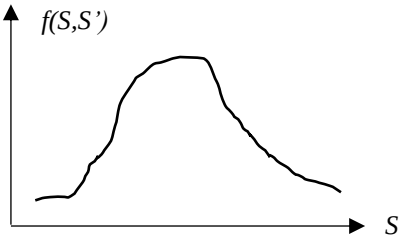

Рисунок 4 – Функция распада очередей агентов на ресурсах в зависимости от удовлетворенности ресурсов S и предельного значения S', после которого начинается спад

Данную функцию можно аппроксимировать кусочно-линейной трапециевидной или даже треугольной функцией.

Также учтем, что рост удовлетворенности зависит от доли γ прибыли P, идущей на повышение активности агентов потребностей в планировании: $\alpha' \cdot \gamma \cdot f(S,S') \cdot D \cdot P$, где

α' – соответствующий коэффициент роста удовлетворенности из-за перепланирований очереди, $\alpha=\alpha' \cdot \gamma$ для упрощения обозначений.

Получаем кинетическое уравнение динамики удовлетворенности агентов потребностей (D):

$$\frac{dD}{dt} = \alpha \cdot f(S,S') \cdot D \cdot P + \mu_D \lambda - \beta \cdot D \cdot S \quad (2)$$

Получим уравнение динамики агентов возможностей (S). Прирост за счет перехода на ресурсы описывается слагаемыми, связанными с частью входного потока $\mu_S \lambda$ (t) и слагаемым, связанным с генерацией удовлетворенности ресурсов за счет планирования $\beta \cdot D \cdot S$ пропорционально концентрациям агентов потребностей и возможностей. Разумеется, коэффициент β может отличаться от соответствующего коэффициента в уравнении (2). Кроме того, удовлетворенность в системе ресурсов уменьшается при безвозвратном уходе за счет выполнения задач со скоростью $q \cdot S$. Здесь для простоты пренебрегаем возможными нелинейными эффектами. В результате получим уравнение динамики системы возможностей (ресурсов S):

$$\frac{dS}{dt} = \beta \cdot D \cdot S + \mu_S \lambda - q \cdot S \quad (3)$$

И, наконец, генерация прибыли за счет выполнения работы с коэффициентом "c", пропорционально числу ресурсов и, соответственно, удовлетворенности ресурсов S

$$\frac{dP}{dt} = c \cdot S \quad (4)$$

Область допустимых решений определяется условиями $D,S,P \geq 0$. Явления диссипации могут быть рассмотрены на той же системе уравнений (2)-(4), достаточно считать поток $\lambda(t)$ отрицательным.

3 Примеры динамики планирования с моделью ПВ-сети

Ниже рассматриваются примеры динамики удовлетворенности агентов в различных условиях. Вид функции $f(S,S')$, описывающий скорость распада очереди, для целей моделирования был выбран в виде трапеции. Предварительные эксперименты с MAC платформой [16] показали типичные зависимости средней удовлетворенности агентов, имеющие характер затухающих колебаний (Рисунок 1).

3.1 Существование стационарных состояний и реакция на входной поток

Производится моделирование поведения удовлетворенности агентов потребностей и возможностей при постоянном входном потоке заказов с нулевыми начальными условиями удовлетворенности (Рисунок 5).

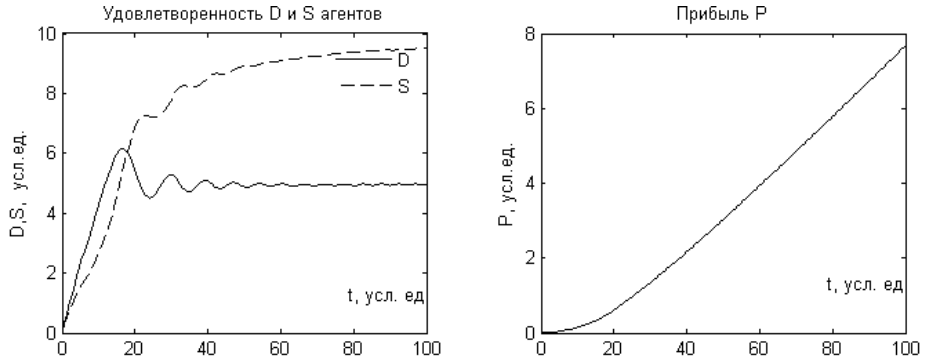

Рисунок 5 –Динамика поведения удовлетворенности агентов потребностей и возможностей при постоянном потоке заказов и прибыль

В момент включения потока планирования удовлетворенность ресурсов и задач вначале растет различным образом из-за соотношения параметров планирования и скорости ухода агентов потребностей на ресурсы (α=0.9, β=0.05). Затем рост очереди на ресурсах приводит к распланированию (спад после первого максимума удовлетворенности агентов потребностей), за счет этого удовлетворенность ресурсов растет, отставая по времени. На скорость роста влияет и доля поступающей на перепланирование виртуальной прибыли. Из-за эффекта уменьшения скорости изменения очереди возникают колебания удовлетворенности, которые постепенно затухают и система переходит в стационарное состояние.

3.2 Влияние доли прибыли системы на скорость перепланирований

При увеличении на 50% доли прибыли (γ), используемой агентами потребностей на перепланирование, “амплитуда” перепланирований увеличивается, что означает большую по сравнению с предыдущим случаем интенсивность переговоров агентов. При этом суммарная прибыль увеличивается (Рисунок 6):

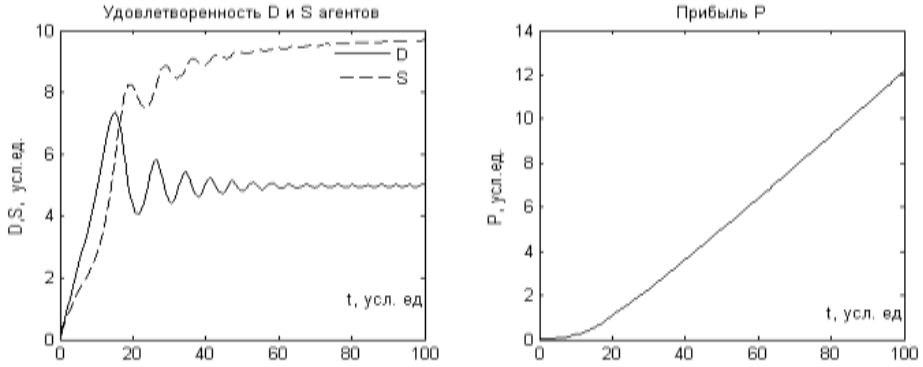

Рисунок 6 –Изменение динамики колебаний удовлетворенности при увеличении доли прибыли на перепланирование

3.3 Влияние начального запаса виртуальных денег на активность агентов

Если у агентов потребностей задан начальный запас виртуальных денег, которые они могут использовать в процессе улучшения своего состояния, эта ситуация моделируется

изменением начальных условий. Начальное значение прибыли, поступающей на перепланирование, задано ненулевым (P=0.3), что приводит к увеличению активности агентов, а в модели дает увеличение амплитуды колебаний удовлетворенности (Рисунок 7).

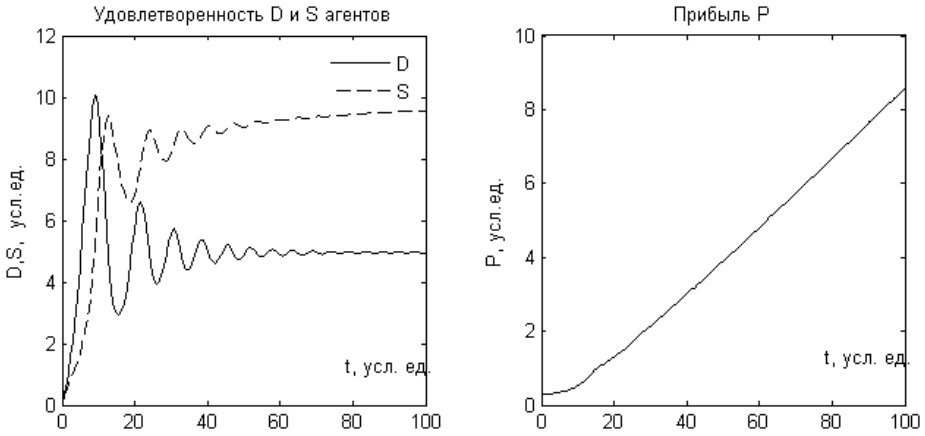

Рисунок 7 –Динамика удовлетворенности агентов при ненулевой начальной сумме виртуальных денег

3.4 Деградация удовлетворенности при наличии процессов диссипации

Если в системе агентов потребностей и возможностей, находящейся в стационарном состоянии, начинаются процессы диссипации виртуальных денег (например, производятся непрерывные выплаты за нахождение агента в данном месте расписания), это приводит к падению удовлетворенности агентов системы. При этом прибыль остается постоянной, поскольку потеря удовлетворенности связана с уменьшением виртуальных денег, влияющих на активность агентов потребностей и возможностей.

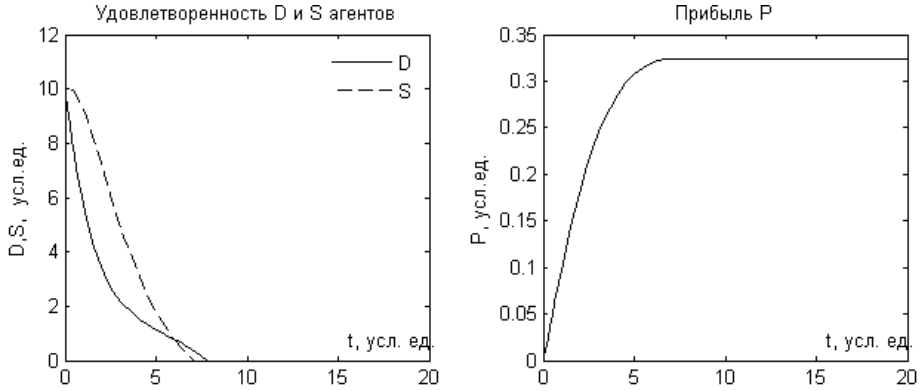

Рисунок 7 – Функция распада очередей агентов на ресурсах в зависимости от удовлетворенности ресурсов S и предельного значения S', после которого начинается спад

Заключение

Разработана макроскопическая модель поведения мультиагентных систем на основе общих эвристических соображений и кинетических нелинейных уравнений динамики агентов потребностей и возможностей. Несмотря на относительную простоту, модель описывает явления, аналогичные процессам планирования задач на ресурсах, наблюдаемых с помощью мультиагентной платформы:

- наличие квазистационарных состояний;
- переходные процессы в системе агентов;
- колебательный характер установления равновесий;
- зависимость процессов установления равновесий от виртуальной доли прибыли, направляемой на перепланирование.

Далее подход кинетических уравнений для удовлетворенности будет развит для учета динамики связей агентов, что позволит учесть топологию сети агентов потребностей и возможностей.

В дальнейших исследованиях планируется произвести идентификацию параметров модели по экспериментальным данным и использовать ее для анализа поведения реальных мультиагентных систем планирования ресурсов [18-21].

Список литературы

[1] Leung, Y-T, 2004, Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis, CRC Computer and Information Science Series, Chapman & Hall, London.

[2] Shirzadeh Chaleshtari, A, Shadrokh, Sh, 2012, 'A Branch and Bound Algorithm for Resource Constrained Project Scheduling Problem subject to Cumulative Resources', World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 6, pp. 23-28.

[3] Vos, S. 2001, "Meta-heuristics: The State of the Art" in Local Search for Planning and Scheduling, eds A Nareyek, Springer-Verlag, Berlin, pp.1-23.

[4] Rolf CR, Kuchcinski, K, 2011, 'Distributed constraint programming with agents', in Proceedings of the second international conference on Adaptive and intelligent systems, Springer-Verlag, Berlin, pp. 320-331.

[5] Gongfa, L, 2011, 'A hybrid particle swarm algorithm to JSP problem', IEIT Journal of Adaptive & Dynamic Computing, pp. 12-22.

[6] Xueni, Q, Lau, H, 2010, 'An AIS-based Hybrid Algorithm with PSO for Job Shop Scheduling Problem' in Proceedings of the tenth IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, Lisbon, pp. 371-376.

[7] Pinedo, M., 2008, Scheduling: Theory, Algorithms, and System, Springer, Berlin.

[8] Skobelev P. Multi-Agent Systems for Real Time Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling: Industrial Application // 10-th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems (HoloMAS 2011). France, Toulouse.2011. Springer, pp.5-14.

[9] Rzevski, G., Skobelev, P., 2014, Managing complexity, WIT Press, UK-USA, 198 p.

[10] Wei Chen at al., "Approximate Dynamic Programming using Fluid and Diffusion Approximations with Applications to Power Management", Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control, December 2009.

[11] Garavello, M., Piccoli, B. On fluido-dynamic models for urban traffic. NETWORKS AND HETEROGENEOUS MEDIA, 2009, vol 4, 1, pp 107-126.

[12] Wenguo Liu, Alan F. T. Winfield. Modeling and Optimization of Adaptive Foraging in Swarm Robotic Systems. International Journal of Robotics Research, Volume 29 Issue 14, December 2010, Pages 1743-1760.

[13] Виттих В. А., Скобелев П. О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и Телемеханика. 2003. №1. С. 162-169.

[14] Виттих В. А., Скобелев П. О. Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени // Автометрия. – 2009. – №2. – С. 78-87.

[15] Скобелев П. О. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. №12. – С. 33-46.
[16] Petr Skobelev, Denis Budaev, Vladimir Laruhin, Evgeny Levin, Igor Mayorov. Multi-Agent Platform for Designing Real Time Adaptive Scheduling Systems // Proceedings of the 12th International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems (PAAMS 2014), 4-6 June, 2014, Salamanca, Spain. 2014. – Lecture Notes in Computer Science series, vol. 8473. – Springer, Switzerland, pp. 383-386.
[17] Michael H. Veatch. Using Fluid Solutions in Dynamic Scheduling, Analysis and Modeling of Manufacturing Systems, International Series in Operations Research & Management Science Volume 60, 2003, pp. 399-426.
[18] М.Ю. Тугаев, А.В. Речкалов, П.О. Скобелев. Управление машиностроительной корпорацией в реальном времени» // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, Москва,16 – 19 июня 2014 г.: Труды. [Электронный ресурс] М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 9030-9043.
[19] P. Skobelev, A. Ivanov, E. Simonova, V. Travin, A. Jilyaev. Multi-agent scheduling of communication sessions between microsatellites and ground stations network // Онтология проектирования. – 2014. №2(12). – С. 92-100.
[20] Баклашов В.И., Казанская Д.Н., Скобелев П.О. Шпилевой В.Ф., Шепилов Я.Ю. Мультиагентная система Smart Factory для адаптивного стратегического и оперативного управления цехами производства «точно в срок» и «под заданную стоимость» // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 16, №1(5), 2014. – С. 1292-1295.
[21] Е.М. Клейменова, П.О. Скобелев, В.Б. Ларюхин, И.В. Майоров, Д.С. Косов, Е.В. Симонова, А.В. Царев, А.Л. Феоктистов, Е.В. Полончук. Интеллектуальная система «Smart Projects» для оперативного управления ресурсами в проектах НИР и ОКР в реальном времени // Информационные технологии. – 2013. №6. – С. 27–36.

Published: И.В. Майоров, П.О. Скобелев. Модель динамики агентов потребностей и возможностей // Труды XVII Международной конференции “Проблемы управления и моделирования в сложных системах”, Самара, 22-25 июня 2015г. – Самара: СНЦ РАН, 2015. – С. 79-87.