

Системный анализ, управление и автоматизация

УДК 681.3

ПОСТРОЕНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*М.В. Андреев, А.В. Иващенко, П.О. Скобелев, А.В. Царев*¹

¹ ООО «НПК «Генезис Знаний»,
443001, Самара, ул. Садовая, 221

Описывается подход к построению автоматизированной системы адаптивного управления предприятием с использованием мультиагентных технологий. Основное внимание уделяется методам организации микроэкономики мультиагентного мира машиностроительного предприятия. Описывается результат внедрения предлагаемого подхода для адаптивного планирования мелкосерийного производства.

Ключевые слова: сложная система, управление предприятием, мультиагентные технологии, онтологии.

Введение

Можно выделить две основные особенности задачи управления современным предприятием. Во-первых, необходимо обеспечить требуемый уровень качества продуктов и процессов в условиях эволюционного развития предприятия в конкурентной среде. Это значит, что требуется построить систему управления качеством, оптимизировать бизнес-процессы предприятия и, в первую очередь, обеспечить эффективное использование ресурсов. В данном направлении существует достаточно много исследований [1], результаты которых отражены в российских и международных стандартах.

Однако высокая динамика изменения современного рынка, постоянное и тесное взаимодействие предприятий различного профиля приводят к тому, что предприятие использует разнообразные стратегии поведения, вступая в кооперативные отношения с другими фирмами, ведя конкурентную борьбу за заказы и ресурсы. В этой ситуации крайне сложно построить жесткие бизнес-процессы, которые бы обеспечивали сохранение эффективности производства при постоянном изменении внешних условий. Таким образом, весьма актуальным является построение гибких систем

¹ Андреев Михаил Владимирович, ведущий специалист.

E-mail: andreev@kg.ru

Иващенко Антон Владимирович, к.т.н., главный эксперт по технологиям.

E-mail: ivashenko@kg.ru

Скобелев Петр Олегович, д.т.н., председатель совета директоров.

E-mail: skobelev@kg.ru

Царев Александр Вячеславович, зам. генерального директора.

E-mail: at@kg.ru

управления, которые бы позволяли изменять критерии эффективности и адаптивно корректировать бизнес-процессы предприятия.

В частности, с этой точки зрения может быть модифицирована и сама процедура реинжиниринга [2], при проведении которого появится возможность строить систему управления предприятием с учетом обеспечения свойства адаптивности. В связи с этим весьма актуальным является применение новых методов управления предприятием, основанных на широком использовании явления самоорганизации [3, 4].

Учитывая тот факт, что при построении современной системы управления предприятием достаточно широко используются средства автоматизации в виде автоматизированных систем поддержки принятия решений, систем автоматизированного планирования и управления, автоматизированного проектирования и т.д., обозначенные выше требования следует учитывать и при создании алгоритмического, программного и информационного обеспечения.

Более того, именно использование новых технологий автоматизации позволяет обеспечить требуемый уровень адаптивности системы управления предприятием. Сбор и анализ информационных потоков дает возможность идентифицировать закономерности, тенденции по изменению параметров бизнес-процессов и автоматически вырабатывать нужные управляющие воздействия. При этом используется одно из важных свойств современных подходов к автоматизации предприятия, которое состоит в возможности описания бизнес-процессов на достаточно высоком уровне абстракции в онтологии предприятия. Развитие онтологии совместно с бизнес-процессами путем обогащения базы знаний информацией о возникающих событиях позволяет обеспечить требуемую информационную поддержку принятия решений.

Одной из достаточно распространенных технологий разработки автоматизированных систем поддержки принятия решений, которая для хранения знаний о бизнесе использует онтологии, а для обеспечения адаптивности бизнес-процессов предусматривает самоорганизацию, является мультиагентная технология [5, 6]. Данный вид технологий достаточно универсален и может быть применен для решения задач в различных областях науки и техники: в транспортной логистике, управлении документооборотом, управлении ресурсами и т.д.

Отметим, что несмотря на универсальность мультиагентных технологий, требуется приложить дополнительные усилия при их использовании для решения прикладных задач. Точность формулировки цели агентов, выбор механизмов их взаимодействия, структура ограничений сильно влияют на результат работы системы и определяют качество получаемого решения. В ходе разработки мультиагентной системы необходимо построить мир предприятия, описать возможные отношения между агентами и в результате описать микроэкономику предприятия.

В данной статье рассмотрены основные особенности применения мультиагентных технологий для обеспечения адаптивного характера системы управления предприятием. В качестве примера будем рассматривать микроэкономику мультиагентного мира машиностроительного мелкосерийного производства.

1. Построение мультиагентной системы управления

В отличие от классических систем управления, в мультиагентных системах каждое предприятие моделируется как динамическая сеть агентов потребностей и возможностей [7]. В такой сети могут быть представлены различные подразделения, конкретные производственные заказы (на готовое изделие или его компоненты, отдельную операцию станка и т.д.) и конкретные ресурсы (например, рабочие, детали и станки).

Агенты потребностей и возможностей взаимодействуют следующим образом. Заказы и ресурсы могут вступать в непосредственные связи между собой и инициировать процесс взаимного пересмотра и согласования планов по мере возникновения ожидаемых или заранее непредвиденных событий. В качестве примера таких событий можно привести новый более выгодный заказ, отзыв уже принятого заказа, новый станок, поломку станка и т.п. За счет такой динамической сетевой организации разрабатываемая система в любой момент времени может пересматривать связи между этими элементами и согласованно менять их планы. Таким образом, обеспечивается гибкое планирование ресурсов предприятия в реальном времени, как в автоматическом режиме, так и в диалоге с оператором.

Под самоорганизацией при этом понимается возможность системы автономно видоизменять уже существующие и/или устанавливать новые связи между ее компонентами с целью повышения значений критериев эффективности ее существования или восстановления после повреждения.

В такой системе определение агента может быть дано в «слабом» и «сильном» смысле [6]. Под интеллектуальным агентом в слабом смысле понимается программно или аппаратно реализованная система, которая обладает такими свойствами, как автономность, общественное поведение, реактивность и про-активность. Определение агента в сильном смысле подразумевает дополнительно к перечисленным свойствам наличие у агента некоторого подмножества так называемых “ментальных свойств”, называемых также интенциональными понятиями.

При построении мультиагентной системы производится определение собственно агентов, которые соответствуют объектам реального мира, действующим в сети потребностей и возможностей. Однако, кроме описанных агентов, в системе адаптивного управления могут появляться и агенты, не имеющие аналогов в реальном мире, которые создаются с целью оптимизации процесса управления. К таким агентам относятся агенты операций, описывающих выполнение одного или нескольких заказов, конфликтов, групп агентов и т.п. В том числе возможно применение и агентов, которые вообще не могут быть однозначно описаны на этапе проектирования системы, а представляют собой лишь случайно сложившуюся в ходе работы системы закономерность.

2. Логика принятия мультиагентных решений

Поскольку логика принятия решений агентом определяет процесс переговоров, в результате которых строится компромиссное расписание, рассмотрим ее более подробно.

При согласовании решений агенты руководствуются своими критериями. Набор критериев $[k_1, \dots, k_n]$ является основой описания состояния агента и может быть представлен в каждый момент времени в виде «радар» (рис. 1). На основе анализа набора значений критериев агент производит оценку своего состояния, определяет, насколько он далек от своего «идеального» состояния и выбирает стратегию поведения. Другое важное применение данных критериев заключается в оценке вариантов решений.

Возможные значения по каждому критерию агента задаются функцией предпочтения $P_i(x)$. В простейшем случае это линейные функции, которые показывают стремление агента к максимизации или минимизации критерия. Более сложные функции могут показывать эффекты “насыщения”.

Для достижения своих целей и улучшения собственного состояния агенты могут использовать различные стратегии. Можно выделить следующие классы стратегий:

- стратегии учета критериев – задают порядок учета рассчитанных критериев для выбора из множества альтернативных вариантов:
 - стратегия главного критерия – решение применяется на основе только одного, главного критерия;
 - стратегия каскадного принятия решения – варианты выбираются на основе главного критерия, а если значения данного критерия близки для разных вариантов, производится сравнение по менее важному критерию; данная процедура при необходимости проводится по всем критериям;
 - свертка со статическими коэффициентами – оценка варианта рассчитывается как сумма взвешенных критериев, при этом коэффициенты веса являются константами;
 - гомеостатическая стратегия – данная стратегия аналогична предыдущей, однако значения коэффициентов могут изменяться динамически; гомеостатическая стратегия позволяет обеспечить наибольшую гибкость логики принятия решений, так как критерии агента меняют приоритет, и второстепенный критерий, который слабо влиял на решение ранее, может стать главным и изменить стратегию;
- стратегии предпринимаемых действий – задают, какие именно действия необходимо проактивно предпринимать агенту для достижения своих целей. Данные стратегии напрямую влияют на структуру расписания. Можно выделить два типа таких стратегий по характеру действий, предпринимаемых агентом:
 - построение – поиск и установление более предпочтительных связей в сравнении с существующими; в частности, агенты ресурсов ищут более хорошие заказы, например, более дорогие, а агенты заказов, в свою очередь, ищут дешевые ресурсы;
 - разрушение наихудших участков расписания, что приводит к появлению вакантного места, которое может быть занято другими агентами. Каждый агент индивидуально решает, как именно разрушать расписание и стоит ли это вообще делать, так как при разрушении установленных ранее связей нужно будет делать компенсацию.

Критерии и стратегии поведения агентов определяют логику принятия частных решений. Выработка общего решения основывается на локальном взаимодействии агентов. Следует отметить, что цели и критерии агентов могут быть различными, в частности противоречивыми. Решения агентов должны удовлетворять их критериям, следовательно, задача получения общего расписания решается в результате поиска компромиссов (trade-offs) между агентами.

3. Микроэкономика системы адаптивного управления

Организация взаимодействия агентов, направленного на поиск компромиссов, может быть основана на методах микроэкономики. Если один из агентов принимает решение, которое ухудшает состояние другого агента, для достижения компромисса он может выплатить этому агенту компенсацию, которую тот будет использовать впоследствии для улучшения своего состояния. Размер этой компенсации зависит от степени ухудшения состояния и определяется некоторой суммой виртуальных денег. Отметим, что агент в силу своей автономности определяет объем возможной компенсации самостоятельно.

Виртуальные деньги отличаются от физических, так как характеризуют субъек-

тивные показатели решения. В частности, физические деньги, которые тратятся клиентом для выполнения заказов, могут не носить определяющего характера, так как выполнение заказа может быть очень рискованным или низкокачественным. В этом случае физическая стоимость заказа будет лишь одним из критериев принятия решения.

Агенту каждого нового заказа перед планированием дается некоторый объем виртуальных денег, которыми они могут воспользоваться при планировании. Данная сумма определяется важностью данного заказа для предприятия и зависит не только от его физической стоимости. Например, она может быть увеличена, если необходимо заинтересовать нового клиента. Таким образом, изменяя начальную сумму, можно управлять планированием заказа.

Кроме этого, на любые действия агентов могут вводиться налоги, в частности на переговоры, время работы агента и т.п. Данная возможность позволяет гибко управлять длительностью переговоров при разрешении конфликтов и повысить эффективность работы системы планирования.

При построении микроэкономики цеха можно выделить две модели распределенных решений:

- агенты взаимодействуют для достижения одной общей цели, выступают как единый коллектив и не оперируют собственными виртуальными деньгами;
- агенты имеют собственные «счета», накапливают либо тратят виртуальные деньги и действуют как независимые, автономные компании на общем рынке.

Вторая модель является более сложной в реализации, однако она позволяет использовать законы экономики при организации и управлении мультиагентным миром. Фактически агенты в этом случае вступают в капиталистические отношения, они получают собственный доход в зависимости от результатов своей деятельности и могут тратить виртуальные деньги на улучшение своего состояния по критериям в соответствии с индивидуальной целью.

Основным отличием предлагаемого подхода является то, что каждый агент имеет собственную систему принятия решений, тогда как в существующих системах используются одни и те же критерии для всех объектов. Критерии разных агентов могут быть несовместимы, а решение может быть найдено только в результате компромисса, полученного в ходе переговоров.

Отметим, что при построении микроэкономики весьма важной является организация порядка переговоров между агентами, так как она сильно влияет на время принятия решений. Например, при планировании нового заказа или реакции на события возможен выбор между несколькими стратегиями организации распространения волны изменений плана (ripple эффекта).

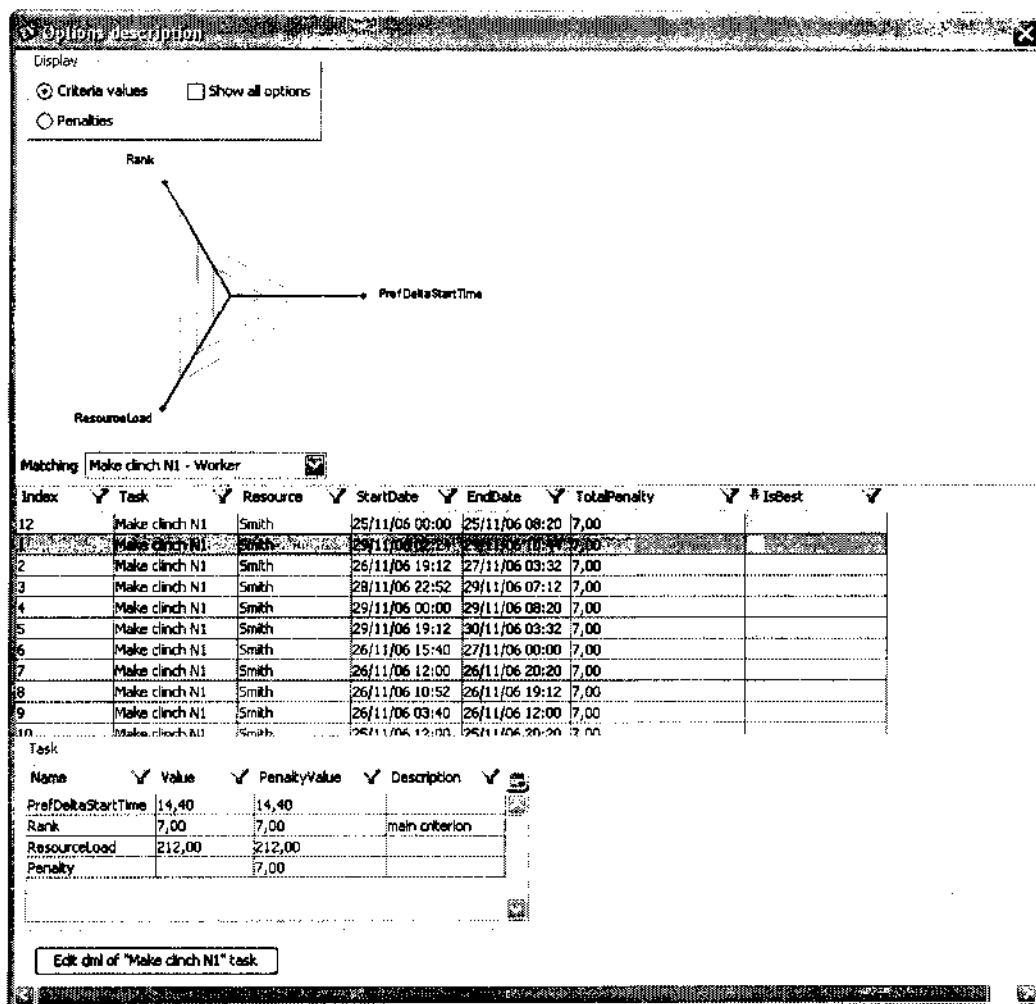
Стандартный подход подразумевает, что агент нового заказа сначала производит все переговоры, а потом планирует. Достоинство этого подхода состоит в том, что в ходе процесса планирования только новый заказ не запланирован, а весь план находится в «исполнимом» состоянии. Недостаток заключается в большом времени планирования.

Другой алгоритм основан на том, что агент нового заказа планируется сразу. Другие агенты не инициируют переговоры, а руководствуются лишь собственными критериями. При этом допускается «неисполнимое» состояние плана.

Система адаптивно выбирает логику планирования в зависимости от критериев плана: требуется ли планировать быстро, или необходимо сохранить исполнимость плана. При этом логика переговоров не изменяется, лишь по-новому организуются волны переговоров.

4. Построение системы адаптивного управления мелкосерийным производством

Рассмотрим пример реализации описанного подхода при построении автоматизированной системы управления мелкосерийным производством на машиностроительном предприятии. Особенности такого производства состоят в необходимости постоянного изменения плана в результате поступления новых заказов или других событий, а также в работе с новым оборудованием и технологиями производства. Это является причиной высокой актуальности использования автоматизированных систем адаптивного управления предприятием.



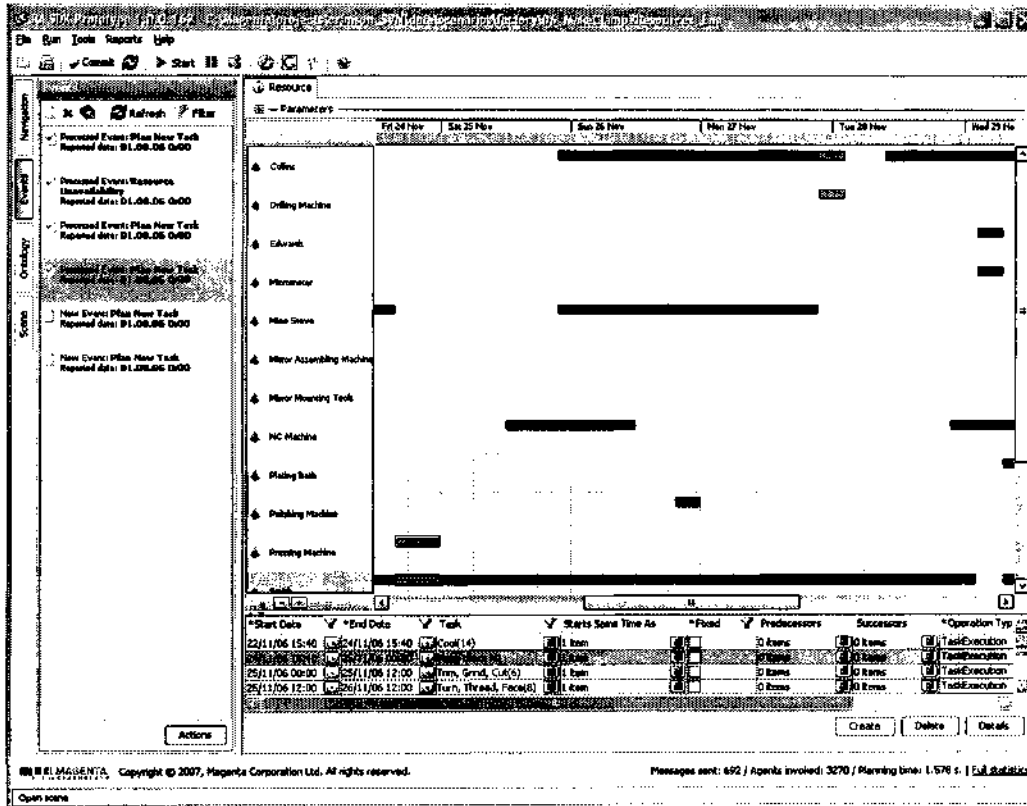
Р и с. 1. Радар, позволяющий сравнить результаты планирования нового заказа

Разработанная система предоставляет начальнику цеха и мастерам инструмент оперативного планирования и управления производством согласно технологическим процессам, описанным в онтологии цеха, и оперативной информации о наличии материалов и комплектующих, получаемой из автоматизированной системы управления складом.

Пример результата работы системы – плана производства – отображается для мастера в виде диаграммы Ганта, приведенной на рис. 2. Новые заказы поступают в систему в виде очереди событий, отображаемой в левой части формы.

Система планирует новые заказы в автоматизированном режиме. Мастер может вручную изменить результат планирования, разбить или перераспределить операции другим рабочим. Кроме этого, мастер может повлиять на логику планирования, изменив параметры микроэкономики.

Для этого ему предоставляется «радар», описанный на рис. 1. Это визуальный компонент позволяет сравнивать несколько опций, которые генерирует планировщик для одного заказа по нескольким критериям. В результате мастер получает возможность определить требуемую логику принятия решений агентом и тем самым скорректировать алгоритм работы автоматизированного планировщика по обработке будущих событий.



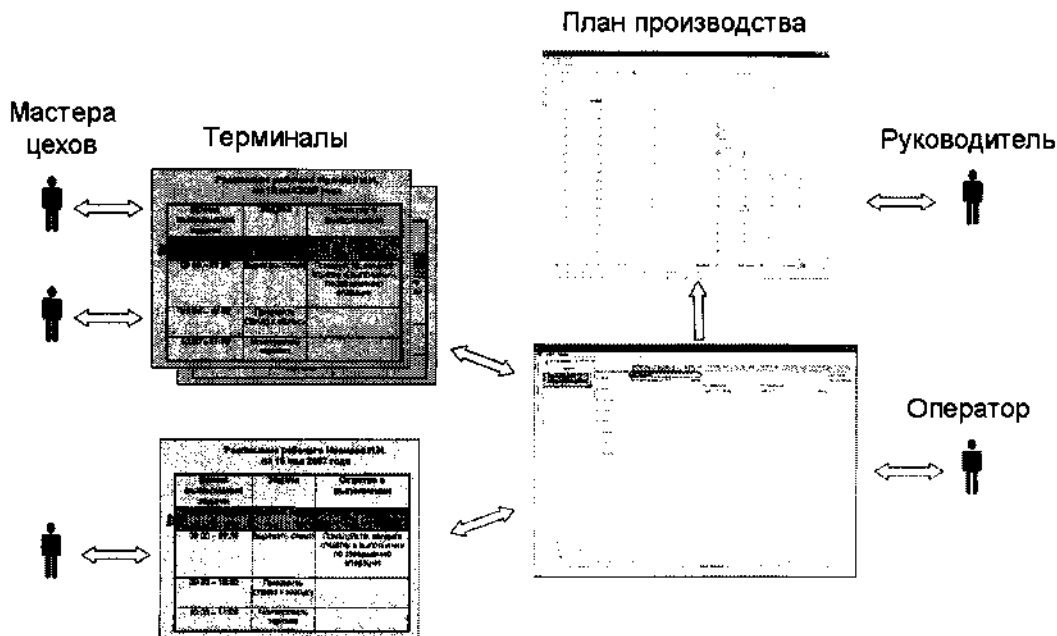
Р и с. 2. План цеха на диаграмме Гантта

По результатам анализа изменений плана, которые мастер делает вручную после работы системы, возможно определение закономерности изменений. Например, если какой-либо критерий воспринимается агентом как важный, а после выбора лучшей опции мастер меняет план и часто ухудшает этот критерий, система может скорректировать вес критерия или изменить стратегию.

Схема размещения рабочих мест в цехе приведена на рис. 3. Рабочие места мастера могут быть построены на базе промышленных терминалов с сенсорными экранами. Интеграция нескольких планировщиков, построенных на основе мультиагентных технологий, в единое информационное пространство предприятия позволяет организовать адаптивное взаимодействие нескольких цехов. Пример архитектуры такого решения приведен на рис. 4.

Такой подход позволяет более эффективно обрабатывать возникающие события.

В случае, если в одном цехе происходит задержка производства деталей и сборочных единиц, которые используются в качестве комплектующих в другом цехе, адаптивные планировщики двух цехов в ходе взаимодействия согласуют свои планы, что позволяет снизить вероятность простоев.



Р и с. 3. Схема размещения автоматизированных рабочих мест в цехе



Р и с. 4. Интеграция адаптивных планировщиков в единое информационное пространство

Заключение

В данной статье описываются основные особенности построения автоматизированной системы адаптивного управления предприятием на основе мультиагентных технологий. В качестве примера приводится задача создания автоматизированной системы мелкосерийного планирования. В ходе описанного исследования были получены следующие основные результаты.

При построении системы адаптивного управления предприятием в состав мультиагентного мира необходимо включать как агентов, отображающих потребности и возможности реальных объектов, так и агентов, реализующих виртуальные стратегии.

Логику принятия решений следует задавать для каждого агента. Первоначально эта логика определяется в ходе системного анализа сети потребностей и возможностей реального мира, затем непрерывно корректируется в ходе обработки событий, вручную или автоматически. В целом же поведение системы определяется законами самоорганизации.

Использование мультиагентной адаптивной системы управления весьма востребовано для планирования мелкосерийного производства. Адаптивные планировщики, будучи интегрированы между собой, могут существенно повысить оперативность управления машиностроительным предприятием и стать удобным инструментом поддержки принятия решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Загидуллин Р.Р. Структура системы оперативно-календарного планирования в гибких производственных системах // Автоматизация и современные технологии. – 2005. – № 2. – С. 44-46.
2. Иващенко А.В., Кременецкая М.Е. Автореинжиниринг единого информационного пространства предприятия – Самара: Самарский научный центр РАН, 2006 – 116 с.: ил.
3. Kippers, G.: Self-organization – The Emergence of Order. From local interactions to global structures. – No 2, PDF (July 1999).
4. Виттих В.А. Эволюционное управление сложными системами // Известия Самарского научного центра РАН, 2000. – Т. 2. – № 1. – С. 53-65.
5. Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // Автометрия. – 2002. – №6. – С. 45-61.
6. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В. Многоагентные системы (обзор) // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – №2. – С. 64-116.
7. Виттих В.А., Скобелев П.О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и телемеханика. – 2003. – №1. – С. 177-185.

Статья поступила в редакцию 3 октября 2008 г.

UDC 681.3

ADAPTIVE MANUFACTURING MANAGEMENT SYSTEM BASED ON MULTIAGENT TECHNOLOGY

M.V. Andreev, A.V. Ivaschenko, P.O. Skobelev, A.V. Tsarev¹

¹ Software Engineering company "Knowledge Genesis",
221, Sadovaja str., Samara, 443001.

This paper describes an approach on development of automated system for adaptive manufacturing management on the basis of multi-agent technology. The basic focus is given to the technique of organization of multi-agent world of engineering enterprise. The results are applied for adaptive scheduling of small-batch production.

Key words: *complex system, enterprise management, multi-agent technologies, ontology.*

¹ *Michael. V. Andreev, lead developer.
Anton. V. Ivaschenko, lead technology expert.
Petr. O. Skobelev, Doctor of Technical Sciences, head of board of directors.
Alexander. V. Tsarev, chief technology officer.*