

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА SMARTFACTORY ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО СОГЛАСОВАННОМУ УПРАВЛЕНИЮ ЦЕХАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ

П.О. Скобелев¹, А.С. Вылегжанин², Я.Ю. Шепилов², Д.Н. Казанская², Д.В. Павлова², О.И. Храмова²

¹Институт проблем управления сложными системами РАН

443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия

petr.skobelev@gmail.com

тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

²ООО «НПК «Разумные решения»

443013, Самара, ул. Московское шоссе, 17, офис 1201, Россия

shepilov@smartsolution-123.ru

тел/факс: +7 (846) 279-37-78

Ключевые слова: мультиагентная система, оперативное планирование, производственный цех, реальное время, сетевый подход, согласованное взаимодействие, планшет мастера, интеллектуальный терминал рабочего

Аннотация

Issues and problems discovered during system operation at the enterprise are considered and requirements to the intelligent management system of enterprise production resources are formulated. It is shown that the suggested approach radically changes the character of user-system interaction, by creating conditions for discovery of knowledge, skills, talents and competencies of every worker.

Введение

В настоящее время мультиагентная система (МАС) SmartFactory внедрена и используется на предприятиях ОАО «Ижевский мотозавод – Аксион Холдинг», ОАО «Кузнецов» и ОАО «Авиаагрегат».

Результаты внедрения системы, а также особенности взаимодействия с пользователями на указанных предприятиях подробно рассмотрены в работах [1-7]. Однако, в процессе эксплуатации были обнаружены некоторые узкие места, которые раньше система не учитывала.

В рамках эксплуатации МАС SmartFactory осуществляется поиск путей повышения эффективности и удобства использования системы. Важнейшим направлением этой работы является доработка эксплуатируемой МАС для управления ресурсами предприятия с учетом всех особенностей производства.

Использование МАС SmartFactory предоставляет возможность наладить работу этих предприятий изнутри за счет внедрения новых принципов организации и управления без колоссальных финансовых вливаний, сплотить коллектив для работы на конечный результат, максимально включить в управление предприятием волю, знания и умения людей и, в конечном счете, сделать использование существующих ресурсов предельно эффективным, инициировать инновации и рост производства, внутреннее развитие предприятия.

Рассматриваемый подход и предлагаемая система предназначены, в первую очередь, для использования на предприятиях аэрокосмического комплекса, отличающихся высокой сложностью и инновационным характером производимых изделий, где высокий результат может быть достигнут лишь в согласованной командной работе высококвалифицированных инженеров, руководителей подразделений, мастеров и рабочих.

1 Планирование в реальном времени

В отличие от традиционных систем планирования ресурсов предприятий, функционирующих в пакетном режиме (в рамках ежедневных, еженедельных, ежемесячных циклов планирования), предлагаемая система, в зависимости от возникающих событий, постоянно функционирует на сервере в режиме реального времени, позволяя адаптивно проводить перепланирование выбранных заказов и ресурсов, на которые оказывают влияние приходящие события.

Разработанный метод адаптивного планирования в реальном времени основан на мультиагентной технологии [8-9] с использованием онтологии, которая включает типичные классы оборудования, технические характеристики структуры продукции и технологические процессы (наборы связанных операций), навыков работников и т.д.

В разработанном методе адаптивного планирования реализован набор специализированных агентов, которые представляют интересы и работают от лица и по поручению заказов, рабочих, оборудования, операций, инструментов и материалов, используя отношения следования между операциями.

Система обеспечивает быстрое адаптивное реагирование на приходящие новые события и проактивно улучшает операционный план, обнаруживая конфликты и вызывая цепочку сдвигов и перераспределение ранее запланированных операций на другие ресурсы для их разрешения.

Адаптивность означает, что даже небольшое событие может вызвать неожиданно большие изменения в планах, находящихся в неустойчивом равновесии, влияние события может распространяться на весь план цеха, вызывая длинную цепь изменений. В результате план работ цеха строится не просто как статичный файл данных, полученный в виде классического комбинаторного поиска, а как баланс интересов вовлеченных в процесс агентов потребностей и возможностей, достигаемый путем выявления конфликтов и проведения переговоров агентов. В ходе данных переговоров система учитывает текущее состояние планов, значимость заказов, структуру продукции, технологические процессы, навыки работников, доступность оборудования, материалов и инструментов, последовательность работы и время выполнения операций.

При необходимости диспетчер цеха может активно вмешаться в план в интерактивном режиме в любое время, проведя ручную доработку плана (по принципу «drag & drop» - «потянуть и бросить»), при этом для всех зависимых операций план будет автоматически перепланирован. Эти функции дают возможность существенно сократить сложность планирования и позволяют сделать его более быстрым, адекватным, точным и достоверным, а также удобным для пользователя.

НПК «Разумные решения» ставит перед собой задачу создать инструмент построения и исполнения планов в реальном времени на основе концепции «живого расписания», при котором планирование никогда не останавливается, а план лишь уточняется и корректируется без полного пересмотра.

Подробное описание метода адаптивного планирования на основе мультиагентной технологии рассмотрены в работах [10-12].

Система состоит из базового ядра МАС, включающего в себя подсистему планирования и модуль управления заказами (Рисунок 1). В зависимости от структуры производства и штата предприятия, для ключевых участников производственного процесса предусмотрено добавление и настройка специализированных автоматизированных рабочих мест (АРМ), например, для рабочих, технологов, нормировщиков и т.д. Данные АРМ позволяют оперативно «на месте» вводить любые непредвиденные события, связанные с использованием оборудования («задача выполнена», «станок сломан», «рабочий не явился» и т.д.), которые могут инициировать процессы перепланирования для исключения простоев.

Система реализует следующие функциональные возможности:

- автоматизация оперативного планирования комплексом производственных структурных подразделений (заготовительного, инструментального, механосборочного, испытательно-ремонтных типов цехов) машиностроительного предприятия;
- планирование использования производственных ресурсов и распределения новых заказов по имеющимся мощностям;
- мониторинг и контроль исполнения намеченных планов;
- автоматизация подготовки данных для планирования производства сложных изделий, в том числе, при получении этих данных из смежных систем.

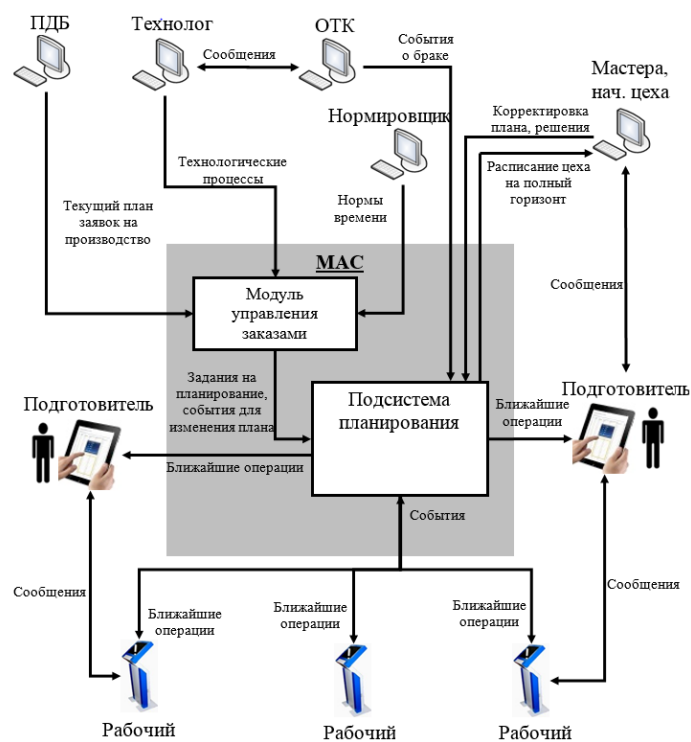


Рисунок 1 - Схема взаимодействия SmartFactory с пользователями

2 Управление цехом для мастера

Для упрощения работы мастера на заводе ему необходим инструмент, способный автоматизировать практически всю его работу.

Важным направлением развития мультиагентной системы управления цехом является совершенствование АРМ мастера, обеспечивающего наглядность и удобство работы мастера с системой.

На основании анализа специфики работы мастеров с МАС, а также их навыков был выявлен ряд необходимых доработок (упрощение ввода событий в систему, создание доступной для редактирования очереди событий и др.).

Для упрощения работы мастера по построению плана и анализу результирующих показателей цеха и участка предлагается создать интерактивный конструктор плана участка (цеха), который позволит провести моделирование и построить варианты плана (Рисунок 2). В режиме планирования проведение моделирования невозможно, т.к. может привести к потере реального плана. Для этого предлагается возможность загрузить текущий план в систему моде-

лирования для отработки различных вариантов плана участка, которые могли бы улучшить показатели работы цеха в целом. Интерактивность такого конструктора заключается в том, что любое действие мастера сразу будет вызывать перепланирование (только в рамках данного конструктора, не изменяя реальный план) и пересчет показателей работы участка и рабочих, а также показателей цеха в целом.

При этом мастер не строит план с нуля, а корректирует предложенный системой план. На мастера ложится задача максимальной оптимизации плана и соблюдения всех неизвестных системе ограничений. Когда план участка полностью отработан, мастер может заменить старый план на новый.

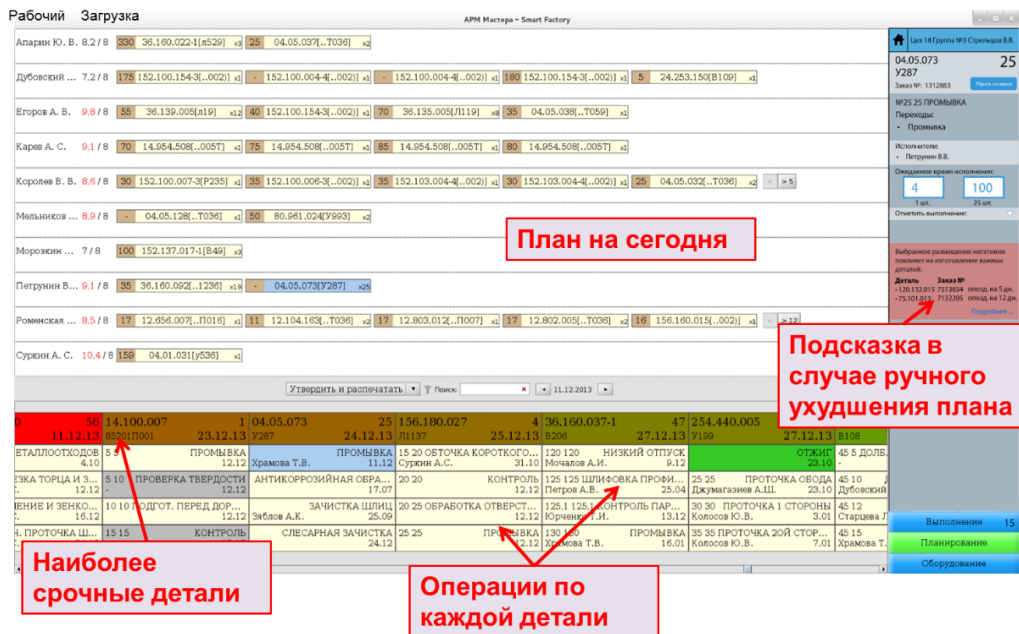


Рисунок 2 - Возможный вид экрана интерактивного конструктора АРМ мастера

Логика планирования в системе должна быть направлена на соблюдение сроков каждого основного заказа и не допускает постоянный сдвиг работ вправо без анализа всех вариантов (переброска операций на другие ресурсы, обмен операциями с другими ресурсами). Возможный подход для ускорения работ – передать работу на другой участок с имеющимся свободным рабочим. Для этого система должна показывать занятость соседних участков.

Для реализации логики планирования будет введен агент мастера, выполняющий следующие функции:

- спланировать важнейшие заказы по срокам сдачи,
- определить, у кого из рабочих недостаточная зарплата и «подтянуть» работы по валовой продукции из работ других рабочих или даже из работ следующего месяца,
- бронировать некоторый буфер в планах рабочих для возникающих непредвиденных событий.

Для корректировки логики планирования возможен также другой вариант: технологи, создавая новую технологию, разрешат выписку материалов и старт заготовительных операций с опережением, чтобы загрузить рабочих. Мастер может разрешить рабочему не ждать отметки отдела технического контроля (ОТК), а сразу брать следующую деталь и начинать работать,

если ОТК не подтверждает качество, операции приостанавливаются, выдаются сообщения мастеру, заместителю начальника цеха и другим заинтересованным лицам.

Если же при стремлении выполнить работу в срок у системы так и не нашлось вариантов в ходе поиска комбинаций, то необходимо находить самые длинные операции или указанные мастером на критическом пути и предлагать рабочим сверхурочные работы, или искать свободные ресурсы в других участках цеха, либо в других цехах.

Поскольку мастер постоянно перемещается по участку и находится в коммуникации с рабочими, чтобы оценивать текущую производственную ситуацию, и при этом ему приходится часто возвращаться к компьютеру, чтобы вносить информацию, следует соответствующие сообщения и предложения отправлять на АРМ мастера, который предполагается реализовать в форме планшета, постоянно находящегося в руках у мастера. При наличии терминала рабочего можно выводить журнал (лог) событий на планшет мастера:

- рабочий закончил или наоборот начал работу,
- пришел материал на склад,
- поменялась технология,
- неожиданно возник брак на одной из операций как событие от ОТК и т.д.

Планшет позволит мастеру повысить эффективность, своевременность и качество принимаемых решений.

3 Интеллектуальная система мотивации работников предприятия

3.1 Проблемы мотивации персонала на предприятиях

На сегодняшний день на предприятиях существуют проблемы мотивации персонала:

- для большинства работников предприятия не ясны условия и перспективы для роста;
- цели работников часто «расходятся» с целями предприятия;
- зачастую к рабочим относятся как к ресурсу производства, интеллектуальные и волевые ресурсы не востребованы;
- отсутствие среды для мотивации и условий для самовыражения, проявления инициативы;
- отсутствие прозрачной системы отслеживания и контроля результатов.

Производственные нормативы на изготовление продукции при сдельной оплате труда также являются демотивирующим фактором по следующим причинам:

- отсутствует связь норм времени с реальностью;
- происходит ежегодный пересмотр норм времени в сторону уменьшения, исходя из результатов наиболее продуктивных работников. В результате, они вынуждены работать медленнее, чтобы в будущем не пришлось выполнять ту же работу за меньшую оплату;
- нормативы не учитывают квалификацию и специализацию, состояние работника, внешние факторы. В таких условиях их директивная функция способна усугублять перечисленные проблемы и порождать новые. Напротив, рабочий, самостоятельно контролирующий свои трудозатраты, может адаптивно подстраиваться под ситуацию.

3.2 Назначение интеллектуальной системы мотивации

Люди – одна из основных движущих сил любой системы, поэтому именно от сотрудников зависит успешное функционирование компании. При этом мало обеспечить ее профессионалами и правильно определить организационную структуру. Компания должна вовлечь каждого сотрудника в достижение общей цели и работать на результат.

Фактически, впервые на практике речь идет о включении работников завода в процессы управления, чтобы полноценно использовать волю, знания и умения людей для повышения эффективности работы предприятия. Это одно из важнейших отличий формирующейся новой «экономики знаний и реального времени», отражающей возрастание роли активного, познаю-

щего и созидающего человека в процессах принятия решений на всех уровнях работы предприятий.

Данная система позволит каждому рабочему задавать как свои потребности, так и свои возможности, например, готовность повышать квалификацию, готовность к работе в ночную смену и выходные и т.д. При этом каждому рабочему будут видны также и его результаты, включая объем выполненных работ и оплату по тарифу, план на ближайший горизонт и ожидаемая оплата до конца месяца, процент допущенного брака, рейтинг качества и эффективности и другие.

Внедрение такой системы мотивации позволит предприятию, во-первых, повысить производительность труда сотрудников компании, во-вторых, увеличить число квалифицированных и взаимозаменяемых работников.

3.3 Функции интеллектуальной системы мотивации

Для лучшего понимания возможностей предлагаемого решения рассмотрим использование интеллектуального терминала рабочего на примере взаимодействия мастеров и рабочих, которое может осуществляться в ходе построения и согласования сменно-суточных заданий (Рисунок 3).

На экране интеллектуального терминала рабочего предлагаются следующие основные окна:

- *Мой текущий план* – позволяет увидеть запланированные работы, которые могут изменяться по ходу развития ситуации в цехе.
- *Моя текущая оплата* – сдельная заработная плата на данное число с начала месяца и плановая до конца месяца.
- *Ваше ближайшее задание* – показывает детали предлагаемой операции и запрашивает параметры ее выполнения для согласования со всеми другими участниками, что означает участие в процессе принятия решений, как и любой последующий ввод непредвиденного события, влияющего на планы.
- *Мои результаты* – показывает прогресс по выполнению заданий, отсутствие брака, рост производительности труда и другие показатели.

Система предоставляет возможность задать для каждого рабочего профиль, опыт и квалификацию, включая в будущем индивидуальную траекторию приобретения новых знаний и умений. Задания, выполняемые в цехе, при этом будут планироваться на каждого рабочего с учетом информации о компетенциях, а также указанных ресурсов времени.

Если в цехе нет больше работы, система может связаться с другим цехом и поискать там дополнительные задания, чтобы эффективно использовать время рабочего и не допустить простоя, а также помочь коллегам из соседнего цеха.

При поступлении нового задания система спросит рабочего, подходит ли ему задание и готов ли он выполнить его в срок, все ли необходимые инструменты имеются и какое время потребуется для выполнения, уточняя при этом известные средние нормы по предприятию. Если срок окажется слишком велик, система может сообщить об этом мастеру, который получит уведомление, и одновременно запросить других рабочих со сходной квалификацией о возможности и желании выполнить задание, тем самым стимулируя конкуренцию между рабочими за заказы. Чем больше работ окажется в плане каждого рабочего, тем больше будет его конкретная оплата за день и за месяц, которую также можно сразу видеть на терминале как «план» и «факт» по оплате.

Рабочий, приступая к работе, делает отметку на терминале рабочего. По факту успешного завершения работы вводится соответствующий сигнал-событие, свидетельствующий о том, что результат доступен для контроля качества и передачи следующему работнику по цепочке, причем работа может завершиться как раньше, так и позже, что может премироваться или штрафоваться.

Мое фото для электронной доски почта	АСУ «Аксин-холдинг – Ижевский мотозавод» Мультиагентная система управления предприятием	
Очередь моих событий (пришли новые!)	Мой текущий план: 10.00 Работа 1 14.00 Работа 2 16.00 Работа 3	Мои результаты (показатели)
История моей работы	Ваше ближайшее задание: Работа 1: Сборка изделия А. Желаемое начало: 10 часов 00 минут Завершение: 13 часов 45 минут Сумма оплаты (в случае успеха): 2350 руб. Приступить?	Дать предложения
Текущая оплата: 42 560 руб. Ожидаемая премия по результатам: 4 800 руб. Штрафы: 230 руб. Ожидаемая оплата работ до конца месяца: 23 000 руб.	Справка к работе: Имеется документация. Похожие работы выполнялись в нашем цехе за 3 часа 15 минут. Желаете пересмотреть сроки выполнения? Требуется помощь опытного коллеги?	Вести события
ПОМОЩЬ	Еще возможности	

Рисунок 3 - Вид разрабатываемого экрана интеллектуального терминала рабочего

По завершению задания рабочему предлагается самостоятельно оценить качество своей работы, что также будет оцениваться коллегами, использующими результаты его работы, давая важную информацию мастеру и показывая рабочему сводную оценку. А система, в свою очередь, использует информацию для сбора сведений о трудоемкости работы, чтобы учитывать ее для следующего планирования заказа, фиксировать рост производительности труда или выделять наиболее трудоемкие операции.

Кроме того, для каждого рабочего в системе отображается бизнес-радар, который показывает процент выполнения плана, объем отклонений от плана, качество выполнения работ и процент выпуска брака в сравнении со средним по цеху у других рабочих, рост производительности труда, зафиксированные причины проблемных ситуаций и т.д.

Руководители также смогут видеть показатели и корректировать премиальный фонд, проводить воспитательные беседы, принудительно раздавать рабочим «неинтересные работы».

4 Заключение

Для успешного внедрения предлагаемого подхода требуется создание нового поколения интеллектуальных систем управления ресурсами в реальном времени, использующих более

гибкие и эффективные подходы, методы и средства распределения, планирования и оптимизации ресурсов, а также информационно-коммуникационного он-лайн взаимодействия с пользователями, поскольку каждый мастер и рабочий в определенные моменты времени становится полноправным, а иногда и критически важным участником процесса управления предприятием, когда от работы каждого зависит результат работы всего предприятия.

Переход к управлению ресурсами в реальном времени позволяет своевременно обнаруживать «узкие места» и устранять возможные простои, избыток или дефицит ресурсов путем адаптивного перепланирования заказов и ресурсов, что улучшает качество обслуживания клиентов, сокращает расходы, уменьшает сроки работ и минимизирует риски.

Реализация предложенной системы позволит перейти к успешному управлению предприятиями в реальном времени, что обеспечит существенное повышение эффективности использования уже имеющихся производственных ресурсов.

Список литературы

- [1] И.Ю. Тюрин, А.С. Вылегжанин, М.В. Андреев, Э.В. Кольбова, П.О. Скобелев, Я.Ю. Шепилов. Результаты внедрения и перспективы развития мультиагентной системы для оперативного управления инструментальным цехом ОАО «ИЖЕВСКИЙ МОТОЗАВОД – АКЦИОН ХОЛДИНГ» // Труды XIV Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 22-25 июня 2012г. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2012. – С. 735-740.
- [2] Андреев М.В., Иващенко А.В., Кривенко С.А. Мультиагентная система распределения производственных ресурсов в тяжелом машиностроении. // Программные продукты и системы. 2010. № 3. – С. 56-62.
- [3] Городецкий В.И., Иващенко А.В., Карсаев О.В., Скобелев П.О., Юсупов Р.М., Царев А.В. Мультиагентные технологии для оперативного управления ресурсами в реальном времени // Третья мультиагентная конференция по проблемам управления. 12-14 октября 2010 г. СПб, 2010. – С. 226-230.
- [4] Скобелев П.О., Иващенко А.В., Андреев А.В., Бабанин И.О. Мультиагентные технологии для управления распределением производственных ресурсов в реальном времени. // Вычислительные технологии в естественных науках. Перспективные компьютерные системы: устройства, методы и концепции: Труды семинара. Таруса, 24 марта 2011. М.: ИКИ РАН, 2011. – С. 110-122.
- [5] Андреев М.В., Бабанин И.О., Вылегжанин А.С., Иващенко А.В., Кольбова Э.В., Скобелев П.О. Мультиагентная система управления инструментальным цехом. // Труды XIII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара. 2011. С.451-459.
- [6] Андреев М.В., Иващенко А.В., Симонова Е.В., Скобелев П.О., Царев А.В. Автоматизация адаптивного управления производством на промышленном предприятии // Учебное пособие. Самара. 2009. – 184 с.
- [7] 19. А.В. Шишов, А.С. Вылегжанин, Д.В. Павлова, О.И. Храмова, Я.Ю. Шепилов. Разработка и внедрение АСУ «Кузнецов» с применением сетцентрического подхода и мультиагентных технологий // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ 2014), 16 – 19 июня 2014 г., Москва. – М.: ИПУ РАН, 2014. – в печати.
- [8] P.O. Skobelev. Multi-Agent Systems for Real Time Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling: Industrial Application. – Proc. of 10-th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems (HoloMAS 2011). – Springer Verlag, France, Toulouse, 2011. – P. 5-14.
- [9] Petr Skobelev. Bio-Inspired Multi-Agent Technology for Industrial Applications, Multi-Agent Systems - Modeling, Control, Programming, Simulations and Applications, / Editors: Faisal Alkhateeb, Eslam Al Maghayreh and Iyad Abu Doush (Ed.), InTech, Austria, 2011. Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/bio-inspired-multi-agent-technology-for-industrial-applications>.
- [10] В.Ф. Шпилевой, П.О. Скобелев, Е.В. Симонова, А.В. Царев, С.С. Кожевников, Э.В. Кольбова, И.В. Майоров, Я.Ю. Шепилов. Разработка мультиагентной системы «Smart Factory» для оперативного управления ресурсами в режиме реального времени // Информационно-управляющие системы. – 2013. №6(67). – С. 91-98.
- [11] V. Shpilevoy, A. Shishov, P. Skobelev, E. Kolbova, D. Kazanskaia, Ya. Shepilov, A. Tsarev. Multi-agent system “Smart Factory” for real-time workshop management in aircraft jet engines production // Proceed-

ings of the 11th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems (IMS'13), May 22-24, 2013, São Paulo, Brazil. 2013. – P. 65-70.

- [12] Alexey Goryachev, Sergey Kozhevnikov, Elina Kolbova, Oleg Kuznetsov, Elena Simonova, Petr Skobelev, Alexander Tsarev, Yaroslav Shepilov. «Smart Factory»: Intelligent System for Workshop Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling in Real Time. – Proceedings of the 2012 International Conference on Manufacturing (Manufacturing 2012), November 14-15, 2012, Macau, China. – Advanced Materials Research, vol. 630 (2013), P. 508-513, Trans Tech Publications, Switzerland.