

- ◆ сформировать документацию, удовлетворяющую всем требованиям сертификации ВС;
- ◆ построить правильные отношения между самолетостроителем и поставщиками в условиях рыночной экономики.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. АР МАК Р-4754 – Руководство по процессам сертификации высокоинтегрированных сложных бортовых систем воздушных судов гражданской авиации.
2. АР МАК КТ-178В – Квалификационные требования. Часть 178В. Требования к программному обеспечению бортовой аппаратуры и систем при сертификации авиационной техники.
3. АР МАК КТ-254 – Руководство по гарантии конструирования бортовой электронной аппаратуры.
4. АР МАК Р-4761 – Руководство по методам оценки безопасности систем и бортового оборудования воздушных судов гражданской авиации.
5. АР МАК АП-25 – Авиационные правила Часть 25 – «Нормы летной годности самолетов транспортной категории».

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. С.Н. Казарин.

**Галушкин Виктор Витальевич** – ФУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»; e-mail: victor\_galushkin@2100.gosniias.ru; 125319, г. Москва, ул. Викторенко, 7; тел.: 84956454435; начальник лаборатории.

**Катков Дмитрий Иванович** – e-mail: katkov@2100.gosniias.ru; тел.: 84991579219; начальник сектора.

**Косьянчук Владислав Викторович** – e-mail: kos.vl.v@gmail.com; тел.: 84997590069; начальник кафедры.

**Сельвесюк Николай Иванович** – e-mail: niselvesuk@2100.gosniias.ru; тел.: 84997590069; начальник кафедры.

**Galushkin Viktor Vitalievich** – FGUP «State Research Institute of Aviation Systems»; e-mail: victor\_galushkin@2100.gosniias.ru; 7, Viktorenko street, Moscow, 125319, Russia; phone: +74956454435; head of the laboratory.

**Katkov Dmitry Ivanovich** – e-mail: katkov@2100.gosniias.ru; phone: +74991579219; head of sector.

**Kosyanchuk Vladislav Viktorovich** – e-mail: kos.vl.v@gmail.com; phone: +74956454431; head of department.

**Selvesyuk Nikolay Ivanovich** – e-mail: niselvesuk@2100.gosniias.ru; phone: +74956454431; head of department.

УДК Д-1239, И46

**О.Л. Бухвалов, В.И. Городецкий, О.В. Карсаев, Г.И. Кудрявцев, В.В. Самойлов**

#### **ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЛОГИСТИКА: СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ КОНФЛИКТАМИ**

*Ключевой задачей производственной логистики является стратегическое планирование и оперативное управление исполнением плана с целью своевременной реакции на непредвиденные события, разрешения возможных нарушений плана и расписания его исполнения, выявления и устранения конфликтов по использованию ограниченных ресурсов и т.п. В настоящее время производственная логистика регулируется стандартами таких орга-*

низаций как ISA, MESA и PSLX. Базовой компонентой этих стандартов является распределение задач управления между ERP-, APS- и MES-системами. Однако стандарты, в основном, ориентированы на производства с высоким уровнем автоматизации и надежности, а также со стабильным портфелем заказов. В этих условиях роль человеческого фактора минимальна. Иная ситуация имеет место в случае производств с высокой динамикой заказов. В работе предлагается новая постановка задачи управления для такого производства, описывается разработанная многоагентная система, которая реализует эту постановку задачи, и обобщается опыт ее практического использования для стратегического планирования, прогнозирования и управления конфликтами применительно к инструментальному цеху крупного предприятия.

*Агент; многоагентная система; производственная логистика; стратегическое планирование; прогнозирование; разрешение конфликтов.*

**O.L. Bukhvalov, V.I. Gorodetsky, O.V. Karsaev, G.I. Kudryavtsev, V.V. Samoylov**

### **PRODUCTION LOGISTICS: STRATEGIC PLANNING, PREDICTION AND CONFLICT MANAGEMENT**

*At present time, manufacturing control technology is regulated with standards and models developed by ISA, MESA and PSLX and like. These standards are periodically updated thus reflecting their intentions to smoothly optimize them according to the existing trends in manufacturing organizational and management issues. However these standards, in particular, the distribution of the control functions among ERP-, APS- and MES-systems, are basically oriented to the peculiarities of the reliable and highly automated production having a stable order portfolio. In such productions, the role of the human factor is ignorable. However these standards are not well fit the needs of productions having highly dynamical workflow of orders like tool shops of big plant where the aforementioned dynamics is extremely high. The paper proposes new problem statement of and also new viewpoint on how interaction between the functions of APS- and MES-systems should be organized in order to improve performance of the productions having high dynamics and describes corresponding implemented multi-agent predictive production management system aimed at preventive conflict management that is practically used in a big plant.*

*Agent; multi-agent system; production logistics; strategic planning; prediction, conflict resolution*

**Введение.** Ключевой задачей производственной логистики является стратегическое планирование и оперативное управление исполнением плана с целью своевременной реакции на непредвиденные события, разрешения возможных нарушений плана и расписания его исполнения, выявления и устранения конфликтов по использованию ограниченных ресурсов и т.п. В связи с тем, что крупные современные производства имеют тенденцию к глобализации, процессы производственной логистики унифицируются в рамках международных стандартов.

В настоящее время технология управления производственной логистикой регулируется стандартами таких организаций, как ISA, MESA, PSLX [5, 6, 7]. Эти стандарты периодически пересматриваются, что обусловлено необходимостью учета новых тенденций в организации производств и требований к их управлению. Центральная проблема, которую призваны решать эти стандарты в части производственной логистики – это распределение задач управления по стандартным уровням управления производством. Стандарты предусматривают три таких уровня, а именно: уровень ERP (*Enterprise Resource Planning*), уровень APS (*Advanced Planning and Scheduling*) и уровень MES (*Manufacturing Execution System*).

Распределение задач по уровням управления, которое принято в настоящее время стандартами, ориентировано, главным образом, на среднее производство со стабильным портфелем заказов, высоким уровнем автоматизации и надежности оборудования, в котором роль человеческого фактора минимальна. В таких производствах MES-система ответственна за поддержку принятия решений по выполне-

нию планов и расписаний, которые формируются на уровне APS-системы. Однако для производств, которые имеют дело с выполнением плохо предсказуемого потока заказов, которые обладают высокой динамикой изменения состава заказов, в частности, для мелкосерийных производств такой подход оказывается неудобным. Например, инструментальный цех крупного машиностроительного производства, в штате которого числится 80–90 рабочих, должен планировать параллельное выполнение до 2 000 заказов, включающих в себя суммарно порядка 35 000 операций, на временном горизонте до четырех месяцев. При этом ежедневно в производство принимается около 20–30 новых заказов, не считая срочных работ. Столько же заказов ежедневно сдается заказчику. Очевидно, что в таком производстве расписание выполнения работ будет неустойчивым, что приведет к задержкам в выполнении заказов и как следствие – к снижению значений технико-экономических показателей (ТЭП) производства. Очевидно, что в такой ситуации особую роль приобретает оперативность реакции MES-уровня на события, свидетельствующие об отклонениях от плана и расписания. Однако современными стандартами, а также программными инструментами, предназначенными для поддержки управления производственной логистикой, которые в настоящее время предлагаются на рынке, это предусматривается в ограниченном виде. Существующие системы MES-уровня позволяют менять только локальные планы цехов, не рассматривая проблемы их взаимодействия.

В работе анализируется проблема распределения функций управления между MES- и APS-системами управления для производств с высокой динамикой заказов. В ней описывается новая постановка задачи, основная идея которой состоит в использовании *результатов стратегического планирования*, реализуемого на APS-уровне, в MES-системе и предлагается многоагентный подход к ее реализации. Дается краткая информация об архитектуре программной системы, реализующей предложенную постановку задачи, а также о ее практическом использовании для управления производственной логистикой в условиях высокой динамики заказов и о некоторых результатах ее *практической эксплуатации* на большом машиностроительном предприятии. Опыт показал, что эта система способна справиться с реальной динамикой оперативного перепланирования, а на стратегическом уровне позволяет предсказывать будущие конфликты и проблемы, связанные с использованием ресурсов. Как следствие, она помогает менеджеру заранее принимать меры для предотвращения конфликтов и их негативного влияния на показатели качества работы цеха.

**1. Стратегический анализ и планирование в существующих ERP-, APS- и MES-системах: состояние исследований и разработок.** Современные ERP-, APS- и MES-системы решают задачи управления различных уровней. Что касается непосредственно управления производством, то эти задачи, в соответствии с современными стандартами, распределяются следующим образом:

- 1) ERP-системы предназначены для выполнения функций планирования производственных мощностей в стратегической перспективе;
- 2) APS-системы выполняют функций планирования и составления расписаний и обычно содержат модули планирования мощностей и модули детального планирования на различные временные горизонты;
- 3) MES-системы реализуют функций управления на уровне цехов, как правило, в интересах исполнения планов, разработанных APS-системой.

Вообще говоря, четкое разделение задач между названными классами систем отсутствует. Например, существует две модели MES-систем – MES-11 и с-MES, одно из основных различий которых состоит в том, что с-MES-система делегирует функции составления расписаний какой-либо внешней системе, а система MES-11 выполняет эту задачу сама.

Целью APS-систем является управление в интересах максимизации прибыли предприятия в рыночных условиях с учетом их непредсказуемости путем оптимального планирования ресурсов [6]. Планирование имеет целью согласование имеющихся ресурсов и требований плановых заданий, выявление конфликтов между требованиями и фактическими возможностями производства и поиск путей их устранения. Составление расписаний имеет целью назначение ресурсов на имеющиеся операции и вычисление времен их начала и окончания. Иногда функции APS-системы понимаются как промежуточные между функциями ERP- и MES-систем, т.е. как функции, которые конкретизируют и детализируют задания и планы уровня их представления в ERP-системах для конкретных подразделений [3].

Среди лидеров-производителей APS-систем можно выделить компании Preactor LLC, Ortens, а MES-систем – компании Wonderware, CSM (MES-система DIAMES) и др. [2]. Согласно стандартам PSLX консорциума, который выполняет, в частности, функции разработчика международных стандартов для APS-систем, функции последних разделены на четыре категории в соответствии с жизненным циклом производства. Эти стандарты делятся на стандарты для заказчиков, для поставщиков, для проектирования и для производства. Среди функций, относящихся к производству, особо выделены функции обработки оперативной информации о процессе производства, завершении производства, о выходе из строя отдельных ресурсов и о браке, составления производственного расписания, графика отгрузок, функции составления и контроля расписания обслуживания оборудования, коррекции расписания в исключительных ситуациях [7]. При этом сбор оперативной информации о производстве выносится за рамки APS-системы. На практике поставщиками оперативной информации о производстве для APS-систем выступают MES-системы. Примером может служить MES-решение компании “Broner Metals Solutions” [1].

Как уже отмечалось, на рынке не существует коммерческих инструментов, которые ориентированы на создание приложений для управления производством с высокой динамикой возможных изменений.

**2. Управление производством на основе прогнозирования: постановка задачи.** Анализ принятого распределения задач управления сложным динамичным производством между различными уровнями управления (ERP, APS, MES) показывает, что оно не всегда оптимально. Существующее распределение ориентировано, главным образом, на предприятия со стабильным производством, в котором структура заказов устойчива, где имеется высокий уровень автоматизации, а план и расписание выполнения операций формируется APS-системой. Приведенный ранее пример производства, в котором цех одновременно должен выполнять до 2 000 заказов, сильно отличается от такой модели, поэтому для него стандартная стратегия распределения функций управления не является целесообразной. Кроме этого, имеется еще ряд ограничений и правил, которые существующие системы составления расписаний учесть не в состоянии, а без их учета расписание становится неработоспособным. Приведем некоторые такие примеры.

Для каждой операции обычно определяется нормативная длительность ее исполнения. Однако различные рабочие обладают различными коэффициентами производительности по одним и тем же операциям. Поэтому итоговая длительность выполнения операций в плане может отличаться от регламентных значений в зависимости от их распределения между рабочими. Существует множество жестких и мягких ограничений на выполнение операций, в частности, ограничений:

- ◆ на минимально допустимый разряд рабочего, выполняющего операцию;
- ◆ индивидуальные возможности и способности рабочего, который будет выполнять операцию. Примерами являются уровень точности, с которой рабочий может выполнять те или иные типы операций, качество выполнения операций с деталями тех или иных размеров и другие;

- ♦ порядок назначения однотипных операций, который предусматривает их назначение на одного и того же рабочего и другие.

Обычно для каждого заказа имеется два срока выполнения. Один из них – это срок, предусмотренный контрактом, а второй – это планируемый срок, который учитывает реальные ресурсы цеха и расписание их использования. Важно, что планирование вновь поступившего заказа выполняется на фоне уже имеющейся загрузки персонала и оборудования. Необходимо также обеспечить равномерную и полную загрузку персонала, гарантировать выполнение требований трудового законодательства, отслеживать выполнение требований по технико-экономическим показателям (ТЭП) работы цеха и предприятия в целом и т.д.

Основными критериями, которыми руководствуется начальник цеха (они же являются и критериями стратегического планирования), являются:

- ♦ заданное значение объема товарной продукции, которая должна быть произведена в течение календарного месяца: сумма нормо-часов всех операций, завершаемых в течение календарного месяца;
- ♦ заданный объем валовой продукции, произведенной в течение календарного месяца: сумма нормо-часов всех запланированных операций;
- ♦ удовлетворение заданных сроков выполнения заказов.

Аналогичные показатели устанавливаются для участков, смен и рабочих.

Имеются также и другие требования. В частности, забота о том, чтобы цех имел заказы, обеспечивающие полную загрузку персонала в текущий день, месяц, квартал, и, в конце концов, в течение всего текущего года. Имеется также ряд неопределенностей иного рода, в условиях которых управленческие решения принимаются в режиме реального времени.

Практика реального управления показывает, что в таких условиях главным инструментом управления для начальника цеха может стать *качественное прогнозирование* различных показателей, сравнение их значений с запланированной динамикой роста показателей на разных временных горизонтах. Это может быть реализовано на основе оценки текущего состояния исполнения плана и прогноза их значений на основе стратегического планирования и составления расписания выполнения текущих и планируемых заказов с выявлением потенциальных проблем и, что еще важнее, причин их возникновения. Оценка будущей ситуации должна проводиться на разных временных срезах, и ее цель состоит в том, чтобы выявить проблемы, связанные с использованием ресурсов, которые *могут возникнуть* к концу ближайшего месяца и квартала, а также и в более далекой перспективе, вплоть до календарного года в целом. Эти потенциальные конфликты должны автоматически выявляться системой и доводиться до управляющего персонала с указанием их существа, причин, степени критичности и оценкой последствий. Более того, система управления на уровне цеха должна выдавать рекомендации по разрешению конфликтов, что может быть реализовано на основе оперативного перепланирования и составления расписания в новых условиях.

Еще раз обратим внимание, что в рассматриваемой постановке основными являются две задачи:

- ♦ *прогнозирование технико-экономических показателей* на различные временные горизонты на всех уровнях цеха до отдельного рабочего;
- ♦ *оперативная оценка сроков исполнения* текущих и перспективных заказов (еще не принятых в производство) с учетом текущей ситуации.

И в решении этих задач должно состоять существо стратегического анализа и планирования с обратной связью на оперативный уровень. Визуальные средства отображения результатов выбора решений и их последствий должны при этом играть ведущую роль.



Рис. 1. Архитектура системы стратегического планирования, прогнозирования и упреждающего разрешения конфликтов

**3. Архитектура разработанной системы.** В соответствии с рассмотренной постановкой задачи комплекс требований к системе управления производством с высокой динамикой заказов, построенной с использованием принципов стратегического планирования и прогнозирования, формулируется следующим образом:

- ◆ время расчета стратегического плана и расписания на годовой период должно исчисляться минутами, чтобы прогнозный анализ и выявление конфликтов можно было выполнять несколько раз в сутки;
- ◆ стратегический анализ должен учитывать текущее состояние производства, т.е. фактически работать на оперативных данных;
- ◆ алгоритм стратегического анализа должен выполнять детальное планирование с учетом реальных ресурсных ограничений;
- ◆ план должен строиться на весь горизонт времени, необходимый для выполнения всех имеющихся заказов.

Эти требования являются довольно жесткими и на первый взгляд представляются нереализуемыми. Чтобы сделать ее реализуемой на современной вычислительной базе, следует принять несколько ограничений.

Время реакции на оперативные события должно исчисляться секундами и сводиться к задаче уточнения плана производства на относительно короткий период времени. При этом система стратегического планирования может перестраивать план, начиная с более позднего времени, предполагая, что оперативно внесенные изменения будут выполнены точно. Такое допущение предполагает, что уточнение текущих планов в пределах одного–двух дней не оказывает существенного влияния на изменение расчетных сроков выполнения заказов.

Система стратегического планирования не обязана строить оптимальный план. Достаточно построения *хорошего* допустимого плана. И практика показывает, что он всегда оказывается лучше плана, построенного вручную. Последующее перепланирование все равно приведет к отказу от прежнего плана, даже если бы он был оптимальным.

Этот подход был использован при разработке системы планирования и оперативного управления производством инструментального цеха. Она была построена на основе многоагентной архитектуры. Ее упрощенное представление дано на рис. 1. В ней ключевыми программными сущностями многоагентной компоненты, которые решают задачу *планирования*, являются агенты трех типов – *агенты заказов*, *агенты ресурсов* и *агент цеха*. Они реализуют технологию эвристического планирования и составления расписаний использования производственных ресурсов [4]. В основе этой технологии лежит протокол контрактных сетей CNP (Contract Net Protocol) [8]. Рассмотрим кратко функции перечисленных агентов.

*Агент заказа* содержит знания о параметрах заказа (требуемый срок его исполнения, стоимость и т.п.), о составе операций технологического процесса (ТП) производства сборочных единиц и сборки деталей, а также о структуре плана в терминах частичного порядка на множестве отдельных операций. Кроме того, эти агенты имеют оперативные данные о каждом ТП, которые формируются в процессе расчета расписания выполнения заказа и, возможно, его последующей коррекции. Агент содержит также детальные описания операций ТП, включающие спецификацию требований к ресурсам для каждой из операций. В процессе планирования и выполнения операций он использует оперативные данные о планируемых сроках выполнения операций и о текущем статусе каждой из них. Атрибут, *статус операции*, может принимать одно из четырех значений: *не назначена*, *назначена*, *исполняется*, *выполнена*. Операция считается назначенной, если определены сроки ее выполнения и назначены ресурсы, необходимые для ее реализации, с учетом всех ограничений и требований. Если для операции указаны возможные сроки ее выполнения, но ресурсы еще не назначены, операция имеет статус – *не назначена*.

*Агент ресурса* ставится в соответствие конкретному рабочему. Он обладает знаниями, которые используются при его назначении на операции. В эти данные, в частности, могут включаться: описание их специальностей, разряд, время отпуска, а также список ранее назначенных ему тех или операций, среди которых могут быть как уже выполненные, так и те, которые еще будут выполняться.

*Агент цеха* предназначен для выполнения координации работы всех остальных агентов, участвующих в процессе планирования и составления расписаний. Он управляет работой цеха таким образом, чтобы оптимизировать комплексные показатели качества работы цеха в целом.

Заметим, что эвристический алгоритм планирования и составления расписаний работы цеха описан в работе авторов [9].

Для решения задачи анализа данных стратегического планирования с целью предсказания конфликтов того или иного рода, которые могут появиться в будущем в рамках исполняемого плана, используется группа компонент архитектуры, выполняющие OLAP-анализ плана и его атрибутов. Напомним, что OLAP (On-line Analytical Processing) является инструментом для анализа показателей качества работы системы, с которой собираются данные. В данной конкретной системе OLAP-анализ позволяет вычислять данные о запланированных и реально выполненных или прогнозируемых объемах:

- ◆ товарной/валовой продукции цеха;
- ◆ валовой продукции по участкам сменам и специальностям;
- ◆ валовой продукции по рабочим.

Система способна вычислять значения этих показателей для цеха в целом, для отдельного участка цеха, а также каждой отдельной смены, а также для каждого рабочего за любой выбранный период времени, а именно: за год, месяц, за декаду и за отдельный день. Компонента OLAP-анализа реализована с использованием стандартного OLAP-сервера Mondrain и клиентского web-доступа с использованием компонент J-Pivot.

Функции остальных компонент архитектуры, представленной на рис. 1, легко понять из их названий. Отметим, что база данных оперативной информации и платформа для работы многоагентной системы являются частью MES-системы, установленной в цехе, которая разработана специалистами компании «Разумные Решения» (Самара)

Описанная архитектура реализована программно и в настоящее время находится в опытной эксплуатации с августа 2011 г. Практика показала, что вычислительная эффективность реализованного алгоритма планирования [9] полностью обеспечивает возможность его использования в режиме реального времени. Например, время расчета одного варианта плана на наиболее «тяжелых» реальных данных, когда решается задача параллельного выполнения около 2 000 заказов с суммарным количеством операций до 35 000 на горизонте планирования примерно 4 месяца на процессоре Pentium Dual Core / 2,7 GHz / 3,5 RAM составляет около трех минут. Это полностью обеспечивает возможность многократного перепланирования процесса в течение одного рабочего дня, что бывает необходимо для обработки и учета входных событий, информирующих систему о возникших отклонениях процесса выполнения плана.

Использование этого алгоритма позволило заметно повысить производительность цеха. В частности, рассчитываемые планы показывают возможность увеличения производимых объемов валовой и товарной продукции приблизительно на 5–10 % только лишь за счет более рационального использования ресурсов.

**Заключение: основные результаты и планируемые разработки.** В работе рассмотрена проблема управления производством с высокой динамикой заказов в реальном времени на основе концепции совместного использования принципов стратегического планирования и составления расписаний и прогнозирования на этой основе потенциальных конфликтов с целью их упреждающего разрешения. Кратко описан вариант ее реализации и опыт использования на Ижевском мотозаводе "Аксион Холдинг".

В этой системе результаты стратегического планирования использованы для OLAP-анализа динамики загрузки участков/смен/рабочих на большом временном горизонте, что оказалось весьма востребованным со стороны управляющего персонала. В настоящее время такая поддержка управленческой деятельности стала ежедневным неотъемлемым инструментом для руководства инструментального цеха, которое с ее помощью решает задачи прогнозирования ситуации в интересах текущего управления и одновременного выявления узких мест в будущем. Действительно, текущий вариант стратегического плана используется как основа для быстрой оценки возможности достижения плановых значений различных технико-экономических показателей на заданном временном интервале. Например, оценки объемов валовой и товарной продукции, ожидаемые проценты плановой выработки нормо-часов рабочими или группами рабочих одной специальности, и ряд других. Контроль значений технико-экономических показателей позволяет уже на ранних стадиях выявлять возможные их отклонения от плановых значений и использовать их для принятия обоснованных решений практически в реальном времени. Например, оперативный контроль таких показателей позволяет заранее принимать решение о дополнительном наборе рабочих требуемой квалификации и обеспечить



баланс персонала различной квалификации в соответствии со спецификой предстоящих заказов. Он также дает возможность обоснованно планировать регламентные работы на оборудовании, своевременно обнаруживать недогрузку персонала в связи с недостаточным объемом заказов в те или иные периоды времени и т.п.

Данная разработка имеет большую перспективу в будущем. Дальнейшая работа в этом направлении будет направлена на решение таких задач, как

- ◆ интеграция системы с интерфейсными компонентами и некоторыми средствами стандартных MES- и APS-систем и использование накопленного опыта для упрощения технологии работы с системой обслуживающего персонала от начальника цеха до отдельного рабочего;
- ◆ разработка компоненты APS-уровня, которая позволит координировать планы и расписания работы сразу нескольких цехов, которые вовлечены в процессы исполнения общих заказов;
- ◆ разработка компоненты стратегического OLAP-анализа и визуальных средств отображения его результатов в интересах управления технико-экономических показателей предприятия в целом.

Одно из направлений дальнейших работ состоит в том, чтобы на основании накопленного опыта провести тщательный анализ соответствия существующего бизнес-процесса управления производством на уровне отдельных цехов и разработанной модели его управления. Результаты такого анализа могут быть положены в основу рекомендаций как по целесообразному реинжинирингу бизнес-процесса, реализуемого отдельным цехом предприятия, так и по модификации архитектуры разработанной системы планирования, прогнозирования и управления конфликтами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Broner Metals Solutions Ltd, Integration of MES with Planning & Scheduling Solutions. White Paper, Watford, UK, 2004, <http://www.bronermetals.com>.
2. Panorama Consulting Group LLC, 2011 Guide to ERP Systems and Vendors. An Independent Research Report, <http://panorama-consulting.com>.
3. *Kletti, J. et all* Manufacturing Execution System – MES, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
4. *Kolisch R., Hartmann S.* Heuristic algorithms for the resource-constrained project scheduling problem: classification and computational analysis. Project scheduling: recent models, algorithms and applications, Kluwer Acad. Publ. – Boston, 1999. – P. 147-178.
5. MESA, MESA Model Evolution. White Paper #39, 2011, <http://www.mesa.org>.
6. PSLX Engineering Specification. Guidance. Version 1.0, PSLX Consortium, 2003, <http://www.pslx.org>.
7. PSLX Engineering Specification. APS Agent Model. Version 1.0, PSLX Consortium, 2003, <http://www.pslx.org>.
8. *Smith R.* The contract net protocol: high level communication and control in distributed problem solver // IEEE Transactions on Computers. – 1980. – № 29. – P. 1104-1113.
9. *Бухвалов О.Л., Карсаев О.В., Самойлов В.В.* Использование многоагентного подхода в MES-системах. Принята к публикации в журнале «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН», 2012.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. профессор Б.К. Гранкин.

**Бухвалов Олег Леонидович** – ООО «Интеллектуальные платформы и решения» (Сколково); e-mail: [Oleg\\_b@iias.spb.su](mailto:Oleg_b@iias.spb.su); 163015, г. Архангельск, ул. Холмогорская, 16, кв. 33; тел.: +78123233570; +79643607652; аспирант.

**Городецкий Владимир Иванович** – e-mail: [gor@iias.spb.su](mailto:gor@iias.spb.su); 195349, г. Санкт-Петербург, пр. Сизова, 32, корп. 1, кв. 634; тел.: +78123233570; +78123011019; д.т.н.; профессор.

**Карсаев Олег Владиславович** – e-mail: ok@iias.spb.su; 194291, г. Санкт-Петербург, пр. Просвещения, 41, кв. 192; тел.: +78123233570; +78125973714; генеральный директор.

**Самойлов Владимир Владимирович** – e-mail: samovl@iias.spb.su; 197341, г. Санкт-Петербург, Аллея Поликарпова, 3, кв. 754; тел.: +78123233570; +78123930228; главный архитектор.

**Кудрявцев Геннадий Иванович** – Ижевский мотозавод «Аксион Холдинг»; e-mail: dep115@general.udm.ru; 426000, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. М. Горького, 90; тел.: 83412783074; генеральный директор.

**Bukhvalov Oleg Leonidovich** – Company "Intelligent platform and solutions" (Skolkovo); e-mail: Oleg\_b@iias.spb.su; 16, Xolmogorskaya street, ap. 33, Arxangel'sk, 163015, Russia; phones: +78123233570; +79643607652; postgraduate student.

**Gorodetsky Vladimir Ivanovich** – e-mail: gor@iias.spb.su; 32, Sizova street, build. 1, ap. 634, St.-Petersburg, 195349, Russia; phones: +78123233570; +78123011019; dr. of eng. sc.; professor.

**Karsaev Oleg Vkadislavovich** – e-mail: ok@iias.spb.su; 41, pr. Prosvessheniya, ap. 192, St.-Petersburg, 194291, Russia; phones: +78123233570; +78125973714; general director.

**Samoylov Vladimir Vladimirovich** – e-mail: samovl@iias.spb.su; 3, Polikarpov av., ap. 754, St.-Petersburg, 197341, Russia; phones: +78123233570; +78123930228; main architect.

**Koudriavtsev Gennady Ivanovich** – Izhevsky motozavod "Axion Holding"; e-mail: dep115@general.udm.ru; 90, M. Gor'kogo street, Izhevsk; 426000, Udmurt Republic, Russia; phone: 83412783074; general director.