

**George Rzevski**, д-р техн. наук, проф., rzevski@gmail.com,

The Open University, Milton Keynes, UK,

**Bjorn Madsen**, директор по международным продажам, bm@multiagenttechnology.com,

Multi-Agent Technology Ltd, London, UK,

**П. О. Скобелев**, д-р техн. наук, проф., petr.skobelev@gmail.com,

**А. В. Царев**, руководитель направления, tsarev@smartsolutions-123.ru,

НПК "Разумные решения"

## Управление цепочками поставок с использованием мультиагентных технологий

*Описывается новый подход к управлению цепочками поставок на основе мультиагентных технологий и онтологий, позволяющий справиться с возрастающей сложностью задач планирования в условиях быстро меняющейся конъюнктуры рынка, колебаний спроса и предложения, различных сбоев и непредвиденных событий в цепях поставок. Предлагается метод виртуального "круглого" стола для поддержки принятия решений при планировании цепочек поставок, а также метод адаптивного динамического планирования расписаний поставок по событиям, основанный на мультиагентной технологии с использованием онтологии. Разработана концепция виртуального "круглого" стола и регламент согласования решений на всех этапах цепи поставок продукции с включением в этот процесс всех заинтересованных участников. Выделены основные компоненты клиент-серверной архитектуры мультиагентной системы управления цепочками поставок. Обосновано решение использовать онтологии для описания концептуальных знаний, необходимых для управления цепочками поставок. Разработанные модели и методы планирования по отдельным заказам и по прогнозу спроса на любой горизонт и с любой детализацией обеспечивают адаптивное динамическое планирование поставок в реальном времени. Проведенные исследования и моделирование показывают, что переход к планированию и управлению в реальном времени позволит повысить прибыль компании за счет более быстрой адаптации к изменяющимся условиям.*

**Ключевые слова:** цепочки поставок, мультиагентная технология, онтология, реальное время, виртуальный "круглый" стол, адаптивность, планирование

### Введение

Управление цепочками поставок (закупки, формирование запасов, перераспределение товара в сети, маршруты доставки, удовлетворение спроса и обеспечение ассортимента) востребовано в широком спектре отраслей (химическая промышленность, автомобилестроение, производство детских игрушек, продуктов питания и т. д.) и среди компаний разного масштаба (от отдельных магазинов до интернациональных корпораций). Планирование работы цепочки поставок на определенный горизонт является ключевым элементом как оперативного управления, так и моделирования различных вариантов стратегического развития сети поставок [1, 2].

Сложность цепочек поставок постоянно растет, любой расчет плана работы сети требует значительных вычислительных ресурсов и занимает много времени [3]. Современные цепочки поставок описываются моделями большой размерности (номенклатура товаров может составлять десятки тысяч, материалов — сотни и тысячи, центров хранения и дистрибуции — десятки и т. д., поэтому обычно в системе > 100 переменных), при этом адекватность "упрощенных" решений часто вызывает сомнения

у пользователей. Кроме того, быстро меняющаяся конъюнктура рынка, колебания спроса и предложения, неточности прогноза спроса, влияние погодных условий на транспортные коммуникации и другие внешние условия, воздействующие на потоки данных в моделях разных частей системы, приводят к неконсистентности создаваемых планов поставок. Дополнительную неопределенность вносят различные сбои в цепях поставок — отказы поставщиков, недоступность данного ресурса в определенный момент времени и т. д. Неустойчивость распространяется по всей цепочке и приводит, например, к хорошо известному "эффекту хлыста", связанному с быстрым накоплением излишних товаров и материалов на складах.

Традиционные централизованные системы управления цепочками поставок перестают справляться с современными задачами планирования. Во многом это связано с тем, что применяемые в них алгоритмы планирования, основанные на методах математического линейного и динамического программирования, дискретной и смешанной оптимизации, плохо поддаются модификации и развитию вслед за развитием бизнеса, появлением новых факторов, которые нужно учитывать [4]. Нередко

используемая на предприятии система оптимизации оказывается непригодна для эксплуатации при внедрении новых бизнес-процессов (например, на предприятии переходят от ежедневного планирования к планированию по часам или вводят небольшой производственный процесс (к примеру, комплектация в точке продажи), который не учитывался при написании оптимизирующего модуля). Поскольку исторически оптимизирующие модули разрабатывались без учета необходимости модификации, их часто приходится переписывать с нуля. Традиционно применяемые методы (например, симплекс-метод) являются централизованными по сути, поэтому их конкретная реализация под определенную постановку задачи получается очень специфической. Кроме того, такие алгоритмы ориентированы на пакетную обработку и полностью строят расписание заново при появлении даже небольших изменений во входных данных (событиях).

Одним из подходов к преодолению указанных проблем является построение распределенных мультиагентных систем, базирующихся на фундаментальных принципах самоорганизации и эволюции, присущих живой природе. В системах, созданных на основе такого подхода, решение достигается за счет сущностей с собственной логикой и целями (агентов), взаимодействующих между собой согласно унифицированным правилам. Агенты поставщиков материалов, производства (фабрик), транспорта (грузовых компаний), центров хранения и переработки, а также утилизации товаров действуют согласованно и координированно, способны к адаптивной обработке событий [5, 6]. Сеть агентов может постоянно расширяться за счет добавления в нее новых членов.

В данной статье рассматривается опыт создания прототипа системы управления, построенной с применением мультиагентных технологий и учитывающей указанные требования.

## **1. Применение мультиагентных технологий в управлении цепочками поставок**

Современные торгово-производственные компании находятся в постоянно меняющихся внешних рыночных условиях, выпускают огромный ассортимент продукции, обладают широкими связями с предприятиями по закупке сырья, транспортными и финансовыми компаниями. При этом ассортимент продукции компании постоянно расширяется и модифицируется, не только отвечая изменяющимся потребностям пользователей, но и формируя эти потребности.

### **1.1. Задачи управления поставками**

В этих условиях одной из важнейших задач управления компанией становится согласованное гибкое планирование производства и продажи продукции, основанное на прогнозах сбыта и складывающейся ситуации в производстве [7]. Если за-

пускается мощная реклама нового продукта на телевидении, фабрики к заданному сроку должны не только произвести данный товар в нужном объеме, но и довести его до оптовых потребителей и в конечном счете до полок в магазинах. Иначе рекламная кампания может оказаться малоэффективной, не достигнет ожидаемых результатов или просто не окупит затрат. В свою очередь, чтобы действовать согласованно, как единый организм со всей компанией и подразделениями по сбыту, фабрики должны заранее позаботиться о получении нужных компонентов для производства этой новой или уже потребляемой рынком продукции, наладке оборудования для запуска нового продукта в серию, доставке продукции в срок, обучении персонала и т. д.

Такая согласованность в действиях предполагает необходимость своевременного выявления и разрешения конфликтов между подразделениями по рекламе, производству и продаже продукции, а также другими подразделениями компании в реальном времени. Действительно, если подразделение по сбыту продукции планирует запуск новых рекламных кампаний, производители и транспорт должны обеспечить к нужному сроку доводку продукции до прилавка в требуемых объемах. Вместе с тем если сбыт неожиданно оказался больше или меньше запланированного, нужна соответствующая корректировка рекламной кампании. Наличие такого рода постоянных конфликтов между подразделениями по производству и продаже продукции, имеющими собственные интересы, предпочтения и ограничения, отражает естественный порядок поддержки принятия и согласования решений в процессе жизнедеятельности любой компании такого рода. В свою очередь, признание положительной роли конфликтов предполагает наличие соответствующих бизнес-процессов и программных средств для поддержки многосторонней активности по их разрешению, в которой стороны взаимодействуют как равные участники, каждый из которых может инициировать согласованные изменения в планах в любой момент времени.

Следует учитывать, что для компании крупного масштаба речь идет о координации деятельности десятков тысяч работников, взаимодействующих с миллионами потребителей, и о значительных финансовых ресурсах. Цена ошибки в принятии решений, например, простая несогласованность или ошибка в планировании на несколько дней, может приводить к значительным финансовым потерям, резкому возрастанию рисков, неудовлетворенности покупателей и ряду других серьезных последствий.

В то же время существующий в настоящее время бизнес-процесс работы рассматриваемых подразделений компаний предусматривает весьма "прямолинейный" и "жесткий" порядок, который, к сожалению, поддерживается существующими средствами автоматизации бизнес-процессов, не позволяющими своевременно выявлять и согласованно разрешать конфликты между подразделениями в ин-

тересах всего предприятия в целом. Например, если фабрика запланировала производство некоторой продукции, то будет ее производить в течение двух недель, даже если это не требуется для потребителей уже в текущий момент.

В связи с этим целью создания рассматриваемой мультиагентной системы управления цепочками поставок является повышение качества и эффективности процессов управления компанией за счет внедрения механизмов гибкого планирования и согласованного взаимодействия всех участников жизненного цикла производства и продажи продукции компании.

### 1.2. Динамическое планирование цепочек поставок

Для решения поставленной задачи разрабатывается автоматизированная система поддержки согласованной деятельности по планированию производства, транспортировки и сбыта продукции, основой которой является динамический планировщик работ на основе мультиагентных технологий. Планировщик реализует новую технологию гибкого планирования и поддержки взаимодействия с исполнителями в основных подразделениях компании для согласования или пересмотра планов.

Функциональные возможности системы помогают менеджерам создавать планы производства и сбыта продукции, управлять процессом планирования работ для достижения наилучших результатов с заданными критериями, предпочтениями и ограничениями, адаптировать планы при возникновении непредвиденных событий, предлагать изменения в планах в расчете на улучшение важных показателей, согласовывать решения при возникновении важных событий, отслеживать результаты работы и контролировать основные показатели этого процесса, а также вырабатывать рекомендации для участников процесса по решению возникающих проблем.

Динамические планировщики, лежащие в основе подхода, способны не только изначально запланировать рассматриваемые процессы производства и сбыта продукции, но и постоянно корректировать эти планы по мере поступления новых событий в реальном масштабе времени [8–11]. При этом события вводятся любым из участников системы в каждом из подразделений, в том числе менеджерами производства или сбыта продукции, в соответствии с их ролями, полномочиями и правами в системе.

Введенные события порождают варианты изменения планов работ, которые оцениваются другими участниками данного процесса с учетом собственных критериев, предпочтений и ограничений, и далее согласовыва-

ются путем переговоров, в ходе которых возможны компромиссы и уступки сторон по выбранным критериям. При этом всем участникам наглядно демонстрируется, какие критерии согласовываются, и где нарушаются ограничения предпочтения. Например, возможно, что рост сбыта продукции одного наименования вынуждает отложить производство продукции другого наименования и т. п.

### 1.3. Принципы организации виртуального "круглого" стола для поддержки принятия решений при планировании цепочек поставок

Фактически, между пользователями основных подразделений предприятия организован постоянно действующий виртуальный "круглый стол" (рис. 1), в котором по определенному регламенту будут согласовываться решения по первоначальному планированию, последующему исполнению, а также изменению планов производства и сбыта продукции с включением в этот процесс всех заинтересованных участников.

Для создания виртуального "круглого стола" использованы мультиагентная технология и технология баз знаний (онтологий). В этом подходе все участники процесса получают своих программных агентов с индивидуальными критериями, расписаниями работ, предпочтениями и ограничениями, способными действовать от лица и по поручению своих владельцев. Агенты пользователей, соответствующие различным подразделениям компании и лицам, принимающим решения, могут взаимодействовать путем обмена сообщениями для выработки согласованных решений и достижения компромиссов в целях формирования сводного плана компании.

Результатом работы системы являются варианты сводного плана производства и сбыта продукции, удовлетворяющие заданным требованиям, сформированным на основе целей, предпочтений и ограничений всех участников процесса.

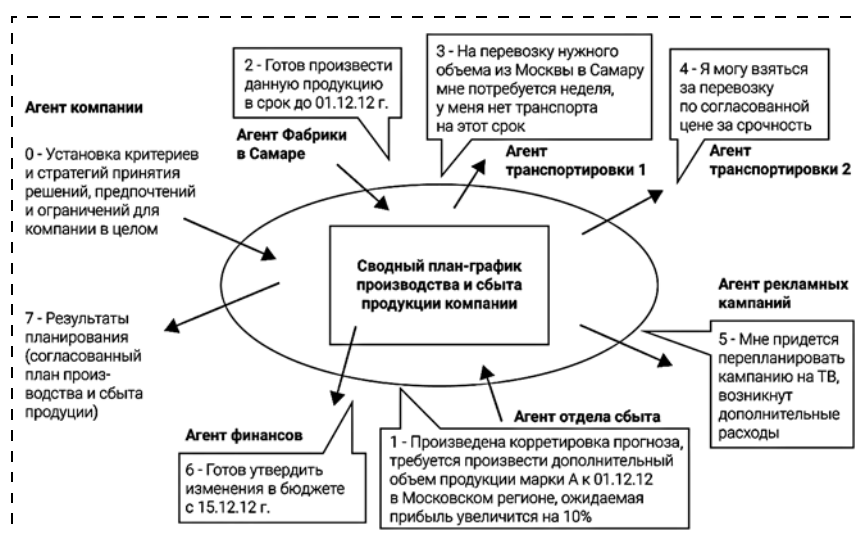


Рис. 1. Упрощенный пример взаимодействий в сети поставок для формирования и согласования планов производства и сбыта продукции

На рис. 1 показана цепочка взаимодействий агентов, вызванная событием ввода менеджером по сбыту задачи дополнительного производства продукции некоторого наименования, обусловленной расхождением между прогнозом и фактом исполнения плана продаж (шаг 1). В ответ на это событие активируется агент одной из фабрик (шаг 2), способных произвести данную продукцию. Фабрика предлагает встречный план производства, который далее согласовывается с транспортными компаниями (шаги 3 и 4). С учетом возникающей задержки требуется пересмотр объемов и сроков рекламной кампании, что частично увеличивает расходы (шаг 5), но с учетом ожидаемой дополнительной прибыли может быть утверждено агентом финансов (шаг 6) или отвергнуто в случае каких-либо других приоритетных расходов на данный период.

Взаимодействуя между собой, агенты различных подразделений могут договориться, какое решение наилучшим образом подходит для текущей ситуации (с учетом заданных предпочтений и ограничений) и сформировать согласованный сводный план производства и сбыта продукции. Если какие-то планы на каком-либо из шагов выходят за рамки важных ограничений, агенты могут вернуться на один или несколько шагов назад и пересмотреть принятые ранее решения, чтобы найти варианты сокращения сроков работ, расходов и т. д. Тогда каждый из агентов обращается к своей ситуации и ищет возможности для уступок, например, по сокращению сроков работ. Из найденных опций агенты коллективно выбирают решения, обладающие наибольшей ценностью как для каждого из участников, так и для компании в целом.

Рассмотренный пример регламента согласования решений является лишь одним из возможных вариантов организации процесса согласования и принятия многокритериальных решений в условиях общих ценностей подразделений компании.

Таким образом, предлагаемый подход основан на моделировании процессов переговоров участни-

ков проекта в соответствии с явно заданными целями, ролями, стратегиями, предпочтениями и ограничениями. При этом агенты, действующие от лица и в интересах своих владельцев, находят решения (возможно, компромиссные) в соответствии с заданными им установками. Если выполнить требуемые установки не удастся, агенты обращаются к своим владельцам с предложениями по их изменению.

В этом случае пользователь системы может воспользоваться специальным редактором логики согласования и принятия решений, открывающим доступ в базу знаний системы, где можно удобно задавать и гибко менять критерии, предпочтения и ограничения, соглашаясь на уступки по самим установкам.

Базы знаний, построенные как семантические сети (рис. 2), содержат классификаторы продукции, описания этапов процессов производства продукции, видов транспортных средств и т. д. В семантической сети выделяются концепты и отношения, к числу концептов могут быть отнесены как объекты, так и процессы, которые, в свою очередь, могут иметь атрибуты и т. д. На рис. 2 прямоугольниками выделены объекты и процессы, а стрелками — отношения различных типов ("Является классом", "Забронирован" и т. п.). Используя данные сведения, а фактически — модель бизнеса компании в части принятия решения по планированию и сбыту продукции, программные агенты могут анализировать ситуацию, планировать требуемые операции, отслеживать их исполнение и т. д.

Важным преимуществом баз знаний о предметной области является тот факт, что знания в значительной степени отделены от программного кода и могут пополняться менеджерами компании без перепрограммирования системы. Агенты, помогающие планировать или согласовывать работы, реализованы как универсальные компоненты для динамического планирования, по возможности не зависящие от особенностей и специфики рассматриваемой предметной области конкретной компании.

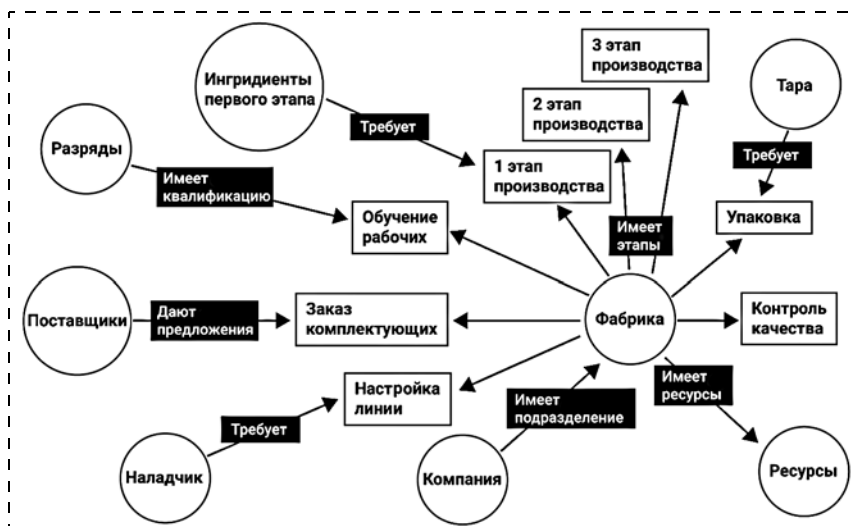


Рис. 2. Упрощенный фрагмент онтологии базы знаний о сети поставок

## 2. Архитектура и функциональные возможности мультиагентной системы управления цепочками поставок

Прототип системы управления цепочками поставок, реализованный в соответствии с изложенными выше принципами, включает следующие подсистемы:

1) мультиагентный модуль планирования, имеющий собственный API (программный интерфейс), который можно встраивать в уже существующие системы и, передавая на вход начальные данные и события, получать на выходе расписание сети или его изменения;

2) web-сервис, принимающий авторизуемые сетевые подключения пользователей, обеспечивающий хранение, фильтрацию и группировку данных, передаваемых между клиентами и модулем планирования, который встроен в него;

3) клиентское web-приложение, которое запускается в окне браузера и подключается к серверу через интернет (рис. 3).

В систему вносится описание сети, включая все фабрики, центры дистрибуции, склады, магазины, каналы доставки, ограничения по пропускной способности, производственные линии, реализуемую продукцию и используемые материалы, формулы расчета стоимости хранения, транспортировки, производства и многие другие параметры, если их нужно учитывать.

Затем в систему поступает информация о текущих остатках различной продукции на складах и прогнозы реализации во всех частях сети. Остатки, прогнозы (или отдельные заказы), цены, стоимости и другие параметры могут меняться в реальном времени, вызывая частичное перепланирование и адаптацию плана действий к изменившимся условиям. План содержит информацию о том, что, где и когда надо закупать, производить, транспортировать, хранить и реализовывать. Запланированные действия распространяются на тот горизонт в будущее, на который известен (задан) прогноз спроса.

Система планирует движение продукции в сети поставок таким образом, чтобы общая прибыль была как можно больше, обеспечивая при этом быструю реакцию на все изменения и, как следствие, постоянное наличие актуального плана действий, ориентированного на извлечение максимума из текущей и предполагаемой в будущем ситуации.

Функциональные возможности системы:

- планирование по отдельным заказам и по прогнозу спроса на любой горизонт и с любой детализацией (минуты, часы, дни, недели);
- учет пропускных способностей каналов и вместимости транспорта (грузовиков);
- учет доступного места для хранения продукции и материалов;
- гибкие модели учета стоимости транспортировки и хранения;
- ситуативный выбор наиболее эффективных каналов доставки (маршрутов в сети);
- планирование многостадийного производства с учетом потребности в материалах, оборудовании;
- учет контрактных обязательств по объемам поставок и производства;
- учет различных цен на продукцию в разных частях сети;
- формирование страховых запасов для управления уровнем сервиса;

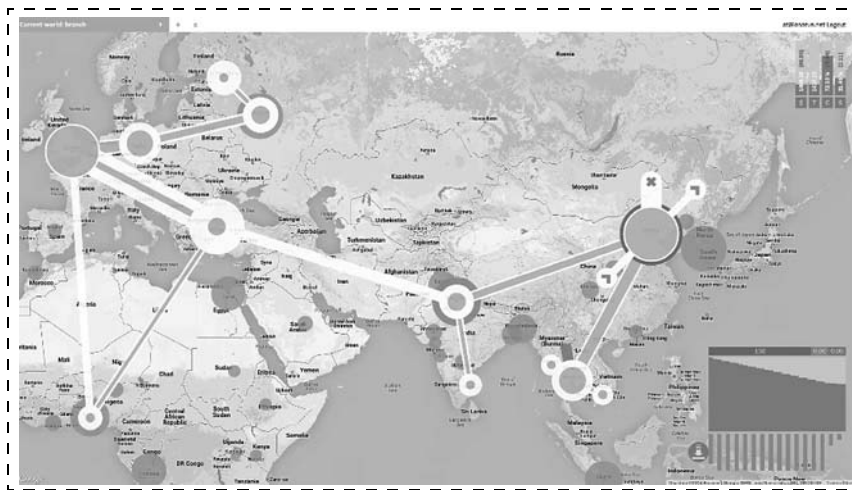


Рис. 3. Общий вид клиентского web-приложения

- управляемое планирование задержек заказов в условиях ограниченных возможностей сети;
- формирование предложений по изменению параметров сети;
- балансировка спектра реализуемой продукции, когда доставить все невозможно;
- консолидация грузов и минимизация стоимости доставки;
- учет графика доступности и рабочего времени отдельных узлов сети;
- учет длительности доставок и производства;
- учет карантина на продукцию.

Пользовательский интерфейс максимально интерактивен и нагляден (рис. 4, см. вторую сторону обложки). Управление сетью выполняется на карте, где видно расположение узлов сети, связывающие их каналы и основные параметры. Размеры узлов и каналов характеризуют их пропускную способность и значение потока продукции через них. Выделяя канал или узел (фабрику, склад, магазин), можно посмотреть детали (график поставок, прогноз спроса, график остатков, упущенные продажи) и поменять настройки (размер склада, канала, текущие остатки, прогноз на конкретный день). Финансовые показатели (прибыль, доход, расходы на доставку, хранение) и другие показатели (загрузка каналов, складов) представлены как для всей сети, так и для отдельных узлов.

Систему можно применять для управления в реальном времени, когда она в автоматическом режиме обрабатывает изменения (события) и показывает, что нужно изменить в работе, чтобы наиболее эффективно сработать в изменившейся ситуации. Например, в таком режиме появление нереализованного товара на складе одного из магазинов (продажи ниже, чем ожидалось), может сразу показать, что надо поменять порядок производства и график закупок материалов.

Кроме того, адаптивный характер обработки изменений позволяет использовать систему для интерактивного моделирования сетей, когда пользователь делает "слепок" текущей ситуации с реальными

остатками и прогнозами спроса и затем вносит изменения в конфигурацию сети (например, ввода новый центр дистрибуции, другие каналы, другую модель производства) или меняет параметры отдельных узлов и каналов. Система немедленно перепланирует потоки продукции под вносимые изменения и показывает прибыль или убыток от этих изменений.

Аналогично, используя "слепок" рабочей сети, можно проверять, как предполагаемые заказы повлияют на работу сети, и увидеть предполагаемую прибыль с учетом реалистичной ситуации.

В различных ситуациях (разные типы бизнеса) решаемые системой задачи могут фокусироваться на формировании графика поставок, на выборе наиболее эффективных каналов из доступных, на балансировке дефицитных ресурсов, на производстве или на других возможностях.

### 3. Экспериментальные исследования методов планирования цепочек поставок

Прототип мультиагентной системы управления цепочками поставок был протестирован на различных синтетических тестах и на реальных данных коммерческих компаний. Было также проведено сравнение с работой оптимизирующего алгоритма, решающего стандартную транспортную задачу.

Рассматривалась стандартная задача снабжения в сети, состоящей из  $M$  источников и  $N$  потребителей. Количество продукта, потребляемого каждым потребителем и поставляемого каждым источником, ограничено. Доставка по каждому из  $M \cdot N$  каналов от источника потребителю имеет свою стоимость, линейно зависящую от размера поставки, такую, при которой доставка остается выгодной (цена реализации  $>$  стоимости). Требуется определить, сколько продукта нужно доставить по каждому каналу, чтобы стоимость доставки его максимально возможного количества была минимальна (доставка в любом случае прибыльна).

Была проведена серия экспериментов, в которой число источников остается постоянным ( $M = 50$ ), а число потребителей  $N$  изменяется от 50 до 300. Стоимости доставки по каналам, ограничения на поставку и потребление назначаются случайно. В каждом эксперименте, применяя симплекс-метод, находят худшее и лучшее решения и замеряется время вычисления.

Затем для каждого набора данных в серии решение находится с помощью разработанного модуля планирования двумя методами. При этом потребности задаются на всех сайтах-потребителях одновременно. Ограничения на поставку задаются в виде текущего значения остатка на складах сайтов-источников.

В первом методе стоимость доставки задается непосредственно в виде линейной функции стоимости доставки по каналу. При этом размер доставки не ограничивается. Во втором методе стоимость дос-

тавки задается в виде закупочной цены между соответствующими источником и потребителем.

Для каждого решения полученная сумма расходов на доставку нормируется относительно диапазона [худшее решение; лучшее решение], т. е. нормированное значение показывает качество решения транспортной задачи соответствующим методом.

Решение с использованием закупочных цен дает среднее качество 93 % (рис. 5). Решение с использованием стоимости канала "источник — потребитель" дает среднее качество 96 % (рис. 6).

Эксперимент показал, что время полного перепланирования с использованием динамического планировщика по сравнению с временем поиска решения симплекс-методом, оптимизированным под транспортную задачу, существенно больше и показывает степенную зависимость от объема входных данных. Такой результат объясняется тем, что модуль при планировании учитывает потребности,

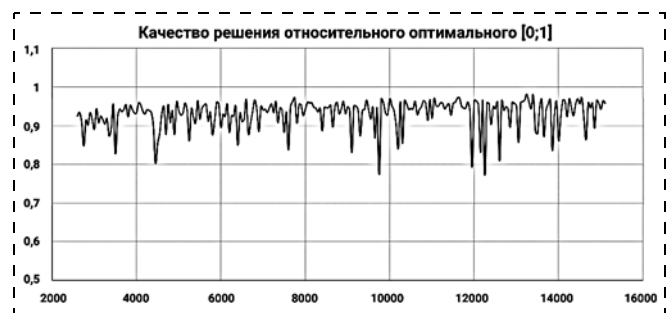


Рис. 5. Качество планирования с использованием закупочных цен

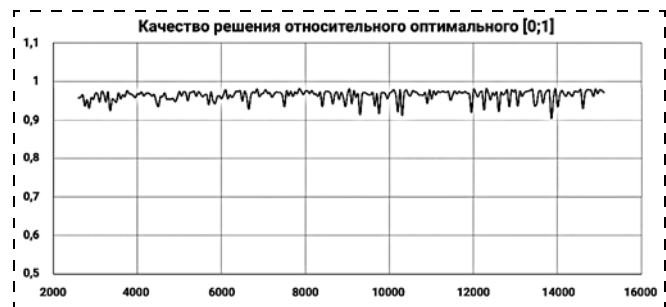


Рис. 6. Качество планирования с использованием стоимости канала "источник — потребитель"

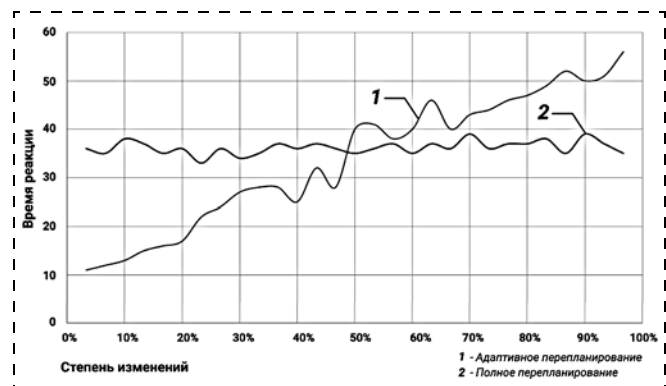


Рис. 7. Сравнение продолжительности адаптивного и полного перепланирования

распределенные по времени, ограничения на объемы доставок и хранения, нелинейные функции стоимости доставки и хранения, многослойные сети доставки, производство и другие особенности, которые исключены из рассмотрения специализированным методом оптимизации.

Более подробное изучение поведения модуля планирования в адаптивных сценариях, когда меняется небольшая часть исходных данных и план не перестраивается полностью, показывает существенное сокращение времени перепланирования по отношению к полной перестройке плана (рис. 7).

### Заключение

Реализованный прототип системы управления цепочками поставок показывает, что применение мультиагентного подхода позволяет строить интерактивные решения с легко расширяемой функциональностью и возможностью сбалансирования конфликтных интересов многих участников [12].

Качество получаемых решений ниже оптимального в простых случаях, но позволяет конкурировать с ними за счет более своевременного перестроения плана и за счет учета большего числа факторов в сложных случаях. Применение мультиагентной тех-

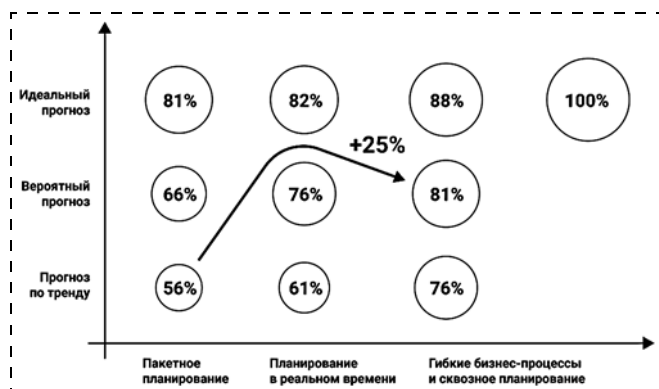


Рис. 8. Прибыль относительно абсолютного недостижимого максимума (отсутствие затрат) при применении разных подходов к прогнозированию, планированию и управлению

нологии более эффективно в ситуациях, когда требуется адаптировать план к небольшим, но важным отклонениям во входных данных, а не обрабатывать полностью новый набор данных.

Проведенные исследования и моделирование показывают, что переход к планированию и управлению в реальном времени может повысить прибыль компании (на примере фактических данных LEGO) на 25 % за счет более быстрой адаптации к изменяющимся условиям (рис. 8).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ.*

### Список литературы

1. Бурков В. Н. и др. Механизмы управления. Управление организацией: планирование, организация, стимулирование, контроль. М.: ЛЕНАНД, 2013. 215 с.
2. Dynamic modeling and control of supply chain systems: A review // Computers & Operations Research. 2008. Vol. 35, Iss. 11. P. 3530—3561.
3. Rzevski G., Skobelev P. Managing Complexity. Southampton, UK, WIT Press, 2014. 202 с.
4. Leung J. Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis // CRC Computer and Information Science Series, London: Chapman and Hall / CRC, 2004. 1216 p.
5. Leitao P., Vrba P. Recent Developments and Future Trends of Industrial Agents // Proc. of 5th Int. Conf. on Holonic and Multi-Agent systems in Manufacturing (HoloMAS 2011), France, Toulouse, 2011. Springer, Berlin. P. 15—28.
6. Yann Chevalerey et al. Issues in Multiagent Resource Allocation // Informatica. 2006. Vol. 30. P. 3—31.
7. Мирошник И. В., Никифоров В. О., Фрадков А. Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. СПб.: Наука, 2000. 549 с.
8. Pinedo M. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems. Springer, 2008. 664 p.
9. Malti Baghel, Shikha Agrawal and Sanjay Silakari. Survey of Metaheuristic Algorithms for Combinatorial Optimization // Int. Journal of Computer Applications. 2012. Vol. 58, N. 19. P. 21—31.
10. Davis R., Burns A. A survey of hard real-time scheduling for multi processor systems // ACM Comput. Surv., 2011. Vol. 43, N. 4, article 35. DOI= 10.1145/1978802.1978814.
11. Barsanti L., Sodan A. Adaptive Job Scheduling Via Predictive Job Resource Allocation // Job Scheduling Strategies for Parallel Processing. Springer: Lecture Notes in Computer Science. 2007. Vol. 4376. P. 115—140.
12. Madsen B., Rzevski G., Skobelev P., Tsarev A. Real-time multi-agent forecasting & replenishment solution for LEGO's branded retail outlets // Proc. of 13th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel / Distributed Computing (SNPD 2012), August 8—10, 2012, Kyoto, Japan. Springer, 2012. P. 451—456.

## Management of Network Supply System Based on Multi-Agent Technology

George A. Rzevski, rzevski@gmail.com,  
The Open University, MK7 6AA, United Kingdom, Buckinghamshire, Milton Keynes, Walton Hall

Bjorn Madsen, bm@multiagenttechnology.com,  
Multi-Agent Technology Ltd, 3 Ashbourne Close, W5 3EF London, United Kingdom

P. O. Skobelev, petr.skobelev@gmail.com,  
Samara State Aerospace University, Samara, 443086, Russian Federation,

A. V. Tsarev, tsarev@smartsolutions-123.ru  
SEC "Smart Solutions" Ltd., Samara, 443013, Russian Federation

Corresponding author: P. O. Skobelev, D. Sc., Professor,  
Samara State Aerospace University, Samara, 443086, Russian Federation,  
e-mail: petr.skobelev@gmail.com

**Problem statement:** Modern supply chains are presented by large-size models. Supply network scheduling requires considerable computing resources and a lot of time. The traditional centralized supply chain management systems cannot handle the increasing complexity of the scheduling tasks in the conditions of fast-changing market situation, fluctuations in supply and demand, various disruptions and unpredictable events. The paper describes a new approach to management of the supply networks based on multi-agent technologies and ontologies. **Methods:** A method of a virtual "round table" is suggested for support of decision-making during supply chain scheduling. Besides, a method of adaptive dynamic supply chain scheduling depending on the events is proposed, which is based on multi-agent technology using ontology. **Results:** A virtual "round table" concept was developed, as well as regulations for coordination of decisions at all the stages of product supplies, and involving all the interested participants in this process. Advantages of the suggested approach are illustrated by an example of multi-criteria decision-making under condition of company department common values. Main components of the client-server architecture for the multi-agent system of the network supply management were singled out. The decision to use ontology for description of the concept knowledge necessary for the chain supply management was substantiated. The developed models and scheduling methods ensure an adaptive dynamic supply scheduling in a real-time mode in accordance with the individual orders and demand forecast for any time-period and with any details. **Practical value:** application of the multi-agent system for the network supply management is most efficient in the situations, when it is necessary to adapt a schedule to small, but important deviations of the input data instead of processing a new set of data. The conducted research and modeling demonstrate that a transfer to a real-time scheduling and management will make it possible to increase the companies' profits due to a quicker adaptation to the changing conditions.

**Keywords:** supply chain, multi-agent technology, ontology, real-time, virtual "roundtable", adaptability, scheduling

For citation:

Rzevski G. A., Madsen B., Skobelev P. O., Tsarev A. V. Management of Network Supply System Based on Multi-Agent Technology, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 7, pp. 497–504.

DOI: 10.17587/mau.16.497-504

#### References

1. Burkov V. N., Novikov D. A., Kondrat'ev V. V. *Mehanizmy upravleniya. Upravlenie organizatsiej: planirovanie, organizatsija, stimulirovanie, kontrol'* (Management mechanisms. Organization management: planning, organization, stimulation, control), Moscow, LENAND, 2013, 215 p. (in Russian).
2. Dynamic modeling and control of supply chain systems: A review, *Computers & Operations Research*, 2008, vol. 35, iss. 11, pp. 3530–3561.
3. Rzevski G., Skobelev P. Managing Complexity, WIT Press, 2014, 202 p.
4. Leung J. Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis, *CRC Computer and Information Science Series*, London, Chapman and Hall/CRC, 2004, 1216 p.
5. Leitao P., Vrba P. Recent Developments and Future Trends of Industrial Agents, *Proc. of 5th Int. Conf. on Holoic and Multi-Agent systems in Manufacturing (HoloMAS 2011)*, France, Toulouse, 2011, Springer, Berlin, pp. 15–28.
6. Chevalyere Y., Dunne P. E., Endriss U., Lang J., Lemaitre M., Maudet N., Padget J., Padget J., Rodriguez-Aguilar J. A., Sousa P. Issues in Multiagent Resource Allocation, *Informatica*, 2006, vol. 30, pp. 3–31.
7. Miroshnik I. V., Nikiforov V. O., Fradkov A. L. *Nelinejnoe i adaptivnoe upravlenie slozhnymi dinameskimi sistemami* (Nonlinear and adaptive management of complex dynamic systems), Saint-Petersburg, Nauka, 2000, 549 p. (in Russian).
8. Pinedo M. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems, Springer, 2008, 664 p.
9. Malti Baghel, Shikha Agrawal and Sanjay Silakari. Survey of Metaheuristic Algorithms for Combinatorial Optimization, *Int. Journal of Computer Applications*, 2012, vol. 58, no. 19, pp. 21–31.
10. Davis R., Burns A. A survey of hard real-time scheduling for multi processor systems, *ACM Comput. Surv.*, 2011, vol. 43, no. 4, article 35. DOI = 10.1145/1978802.1978814.
11. Barsanti L., Sodan A. Adaptive Job Scheduling Via Predictive Job Resource Allocation, Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, Springer, *Lecture Notes in Computer Science*, 2007, vol. 4376, pp. 115–140.
12. Madsen B., Rzevski G., Skobelev P., Tsarev A. Real-time multi-agent forecasting & replenishment solution for LEGOs branded retail outlets, *Proc. of 13th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD 2012)*, August 8–10, 2012, Kyoto, Japan, Springer, 2012, pp. 451–456.

### Издательство «НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала: (499) 269-5397, тел./факс: (499) 269-5510

Технический редактор Е. В. Конова. Корректор Е. В. Комиссарова.

Сдано в набор 29.04.2015. Подписано в печать 16.06х.2015. Формат 60х88 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 8,86. Заказ МН715. Цена договорная.

Журнал зарегистрирован в Комитете Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций  
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-11648 от 21.01.02

Учредитель: Издательство "Новые технологии"

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз".

119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1.