

УДК 004.896

СИТУАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ И МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: КОЛЛЕКТИВНЫЙ ПОИСК СОГЛАСОВАННЫХ РЕШЕНИЙ В ДИАЛОГЕ

П.О. Скобелев

Научно-производственная компания «Разумные решения» (Группа компаний «Генезис знаний»)
skobelev@kg.ru

Аннотация

Предлагаются принципы создания интеллектуальных систем нового поколения для ситуационного управления ресурсами предприятий в реальном времени на основе формирующейся теории интерсубъективного управления. Предложен мультиагентный подход к построению рассматриваемых систем, связанный с переходом к автономному циклу управления ресурсами, включающему реакцию на события, распределение и планирование ресурсов, оптимизацию решения (при наличии времени), согласование с пользователями, мониторинг и контроль выполнения построенного плана, а также перепланирование при расхождении плана и факта – циклу, присущему любым живым организмам. Ключевой особенностью подхода становится возможность поддержания диалога для достижения системой консенсуса лиц, принимающих решения. Предлагаются направления дальнейших исследований и разработок рассматриваемых систем.

Ключевые слова: теория интерсубъективного управления, онтологии, мультиагентные технологии, принятие решений, консенсус, реальное время.

Введение

Вызовы глобальной экономики, связанные с растущей конкуренцией, повышением сложности решаемых задач, априорной неопределенностью и высокой динамикой изменений спроса и предложения, заставляют предприятия искать новые подходы к повышению продуктивности и эффективности использования своих ресурсов: кадровых, финансовых, знаний, материальных и других [1].

По мнению величайшего ученого современности, физика и космолога, проф. Стивена Хоукинга, построившего термодинамику поведения «черных дыр», новый 21 век будет «веком сложности», сменяющим «век физики» и «век биологии»¹, в том числе, можно предположить, и в сфере управления проектами, производством, транспортом и т.д.

В век сложности «простые» директивные подходы «программно-целевого управления» будут все больше заменяться на более гибкое и эффективное «ситуационное управление», приобретающее новый смысл в современной науке, в контексте работы [2], основой которого становится командная работа, построенная на взаимопонимании и согласии (консенсусе) лиц, принимающих решения, в режиме реального времени. Ситуационное управление при этом отрицает формальное механическое следование созданным ранее «повторяющимся» правилам без какого-либо анализа сути ситуации и, наоборот, предполагает детальный разбор всех особенностей ситуации и коллективную выработку, возможно, новых правил, причем в диалоге всех заинтересованных участников, для принятия решений по контексту ситуации. Простой пример может пояснить важную разницу: при планировании возвратов высокоскоростных поездов класса «Сапсан» к расписанию при возникновении непредвиденных событий диспетчерам требуется опираться на простое правило «Всегда пропускать «Сапсан»

¹ Stephen Hawkins says the 21st century will be the century of complexity - blogsscientificamerican.com

вперед в случае конфликтов с другими пассажирскими или грузовыми поездами». В то же время сложность задачи составления и коррекции расписаний столь велика, что в определенных условиях диспетчер, действуя по этому формальному правилу, может просто не просчитать последствий своего решения, и задержанный грузовой поезд самого нижнего приоритета быстро создаст огромную пробку других поездов и затормозит движение сразу нескольких других «Сапсанов», интересы которых не были учтены.

Иными словами, упрощающая подходы к управлению «бюрократия» простых правил, отлично работавшая в условиях «простого» 20-го века, имеет все меньше шансов быть успешной в пришедший 21-ый век сложности, где «все оказывается связанным со всем».

Именно поэтому, как отмечается в [3], причиной многих проблем современного менеджмента является продолжающееся использование принципов идеальной бюрократии, создающей многоуровневую иерархию власти (вертикаль власти), ставящей на вершину пирамиды и многократно абсолютизирующей роль «менеджера-организатора», далеко не всегда понимающего предмет деятельности и возможный путь к результату, стремящуюся к централизованному «закрытому» принятию решений на самом верху и игнорирующую контекст каждой ситуации, персональные качества исполнителей и ряд других важных деталей.

Решение этой проблемы для повышения продуктивности и эффективности современных предприятий видится, наоборот, в переходе от традиционных централизованных, монолитных, иерархических структур к открытым, распределенным, сетевым организациям, исповедующим в своей повседневной работе истинный предпринимательский, исследовательский и созидательный дух (а не следование повторяющимся рутинным правилам); организованным для командной работы (а не для принятия всех решений одним «начальником» на верху пирамиды), требующей взаимопонимания, и для этого использующим знания, конкурирующие мнения и убеждение (аргументацию), как основной действующий инструмент выработки решений (но не приказы сверху-вниз), уважение к чужому мнению (а не их игнорирование), переговоры равных сторон, не регламентированные уставом (против насаждаемых не к месту бизнес-процессов), а также ориентации на ничем в принципе не ограниченную оплату по конечному результату.

Однако для реализации такого подхода на практике и переходе к более эффективному управлению предприятиям нужны интеллектуальные системы нового класса, принципиально отличающиеся от традиционных пакетных систем. Системы могут работать в реальном времени и реагировать на события, изменять планы работ сотрудников, оптимизировать эти планы (пока есть время) и постоянно взаимодействовать со всеми заинтересованными участниками для выработки и согласования принимаемых решений, после чего вести мониторинг и контролировать выполнение плана, а при его расхождении с реальностью – проактивно инициировать перепланирование, т.е. обеспечивать автономность работы системы (почти как биологического организма), находящейся в режиме сопряженной работы («ко-пилота») с сотрудниками организации.

В основе такого процесса управления предприятием оказывается коммуникация, направленная на выработку согласованных решений. Действительно, при таком подходе пользователь становится неотделимой частью системы, он уже совсем не наблюдатель, а участник – лицо, принимающее решение, который постоянно вовлечен в действие.

Кроме того и сама система управления должна быть построена на основе коммуникации – что на практике может быть реализовано на основе мультиагентных технологий, в которых решение любой сложной проблемы ищется в ходе диалога (коммуникации) между агентами, отстаивающими свои эгоистические интересы, но способными идти на взаимные уступки. В разработанных нами в последнее время интеллектуальных системах планирования коммуникационная составляющая оказывается много важнее самого процесса планирования. Новое

поколение разрабатываемых систем получает возможность обращаться к пользователю и другим системам с вопросами, запросами на услуги и уточнениями к поставленным ранее задачам в части их ограничений и предпочтений, и даже выступать со встречными предложениями, если не может выполнить поставленную задачу, а также преодолеть поставленные ограничения.

Таким образом, если сами агенты оказываются построенными на основе жесткой логики и четких алгоритмов, близких формальным моделям автоматов с памятью и набором состояний, то работа системы в целом на деле оказывается построенной на основе взаимодействий и переговоров (диалогов) между ними, управляемых по событиям (по Аристотелю и по Платону – в терминах работы [4]). Главный результат – построение слаженного, согласованно действующего «организма» предприятия, работающего на конечную цель в консенсусе мнений всех участников.

Как будет показано ниже, такой способ решения сложных задач оказывается приемлем для широкого диапазона применений. В целом же настоящая работа конкретизирует положения работ [2-4] для создания интеллектуальных систем управления ресурсами в реальном времени на основе мультиагентных технологий.

1 Новая теория управления – на пути к ситуационному управлению

Кризис современного менеджмента, во многом до сих пор базирующегося на ключевых идеях идеальной бюрократии М. Вебера, наиболее отчетливо проявляет себя в условиях, когда окружающий мир становится все более неопределенным, неустойчивым и быстроизменяющимся [3]. В цитируемой работе показывается, что причина такой ситуации – стремление менеджеров к сохранению иерархии власти и игнорирование личных качеств сотрудников, превращающее их в рядовые «винтики», что неприемлемо при организации любой инновационной деятельности, предпринимательской, исследовательской или созидательной.

Факт, что основные резервы для повышения эффективности деятельности любой организации следует искать не в совершенствовании устаревшей по своей сути бюрократии, а в более полном использовании интеллектуальных и волевых ресурсов людей, постепенно осознанных пионерами бизнеса. Например, одна из секций Московского международного форума «Открытые инновации-2012» была впервые целиком посвящена развитию интрепренерства, поскольку «многие современные компании, ориентированные на успех и достижение долгосрочных результатов, начинают развивать внутрикорпоративную культуру интрепренерства, стимулирующую проявление в обычной ежедневной деятельности предпринимательского духа, интеграцию предпринимательских возможностей личности и ресурсов предприятия» [5].

Такой подход предполагает стимулирование и поощрение новых идей, снятие ограничений на сферы деятельности подразделений и их сотрудников (ломка барьеров), признание роли знаний в управлении проектами, лояльность к пробам и ошибкам, даже неудачам, работу в команде, ориентацию на результат, развитие систем вознаграждения за труд. И это, конечно, требует поддержки со стороны высшего руководства.

На практике реализация такого подхода вынужденным образом ломает существующие бюрократические стереотипы в менеджменте компаний и приводит к появлению принципиально новых сетевых форм организации предприятий, основанных на принципах организационной демократии [6]. Примером можно считать холонические предприятия, развивающие идеи Артура Кестлера [7], основой которых становится многоярусная сеть бизнес-единиц, самоорганизующихся для решения поставленных задач на основе ресурсных центров. Наиболее характерные свойства подобной предприятий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики традиционных и холонических предприятий

Традиционные предприятия	Холонические предприятия
Централизация функций	Децентрализация функций
Иерархическая структура, жесткие связи	Сетевая структура, переменные связи
Закрытость к среде	Открытость к среде
Объем знаний, используемых в принятии решений, строго фиксирован, решения принимаются по формальным правилам бизнес-процессов	Объем знаний не фиксирован, приоритет - приобретению новых знаний, решения принимаются не формально, а по существу ситуации
Назначение сотрудников: плановый подход, все ресурсы распределены заранее	Назначение сотрудников: рыночный подход, ресурсы распределяются по мере необходимости и потребности
Распределение ресурсов: статическое, на основе штатного расписания, статуса и должностных инструкций	Распределение ресурсов: динамическое, на основе знаний и опыта, компетенций, конкуренции и кооперации
Выдача команд «сверху вниз» по жесткой иерархии	Переговоры «равный с равным», круг не ограничен (каждый с каждым), необходимые участники выбираются по ситуации
Пакетное жесткое планирование, следование регламентам и инструкциям	Гибкое планирование, поиск компромиссов, принятие решений по ситуации в реальном времени
Полная определенность	Полная неопределенность
Коммуникации регламентированы	Коммуникации не регламентированы
Тотальный внешний контроль	Внутренняя мотивация
Постоянная месячная оплата	Переменная (сдельная или почасовая) оплата

В результате таких преобразований в управлении предприятиями на смену традиционным менеджерам приходят талантливые лидеры (акторы), формирующие междисциплинарные команды, в которых «приказы» заменяются на дискурсные обсуждения, связанные с выработкой солидарных решений без принуждения, и главным догматом становится глубокое познание предмета, исследовательская и созидательная деятельность, достижение взаимопонимания и работа на конечный результат.

Общая упрощенная схема ситуационного управления, которая должна осуществляться в подобных организациях, представлена ниже:

- 1) любой из членов организации обнаруживает проблему и фиксирует ситуацию, в которой проблема себя проявляет (пришел новый заказ, сломался станок и т.д.);
- 2) обязанность члена организации – описать ситуацию, сформулировать проблему и «вбросить» ее на «общий стол» для начала обсуждения путем ввода соответствующего события;
- 3) на событие, связанное с появлением проблемы, отзываются любые члены организации (нет ограничений в регламенте), понимающие проблему или знающие подходы к ее решению, готовые подключиться к решению (и заранее еще никому не ясно, какие силы потребуются);
- 4) активно ищутся любые знания, документы и материалы, примеры решения подобных проблем, релевантные теме;

- 5) доброволец (лидер-актор), готовый взять на себя решение задачи (их может быть несколько), делает «шаг вперед» и выступает организатором (модератором) команды, предлагая начать решать проблему, в ходе чего начинает формироваться команда;
- 6) любой из подключающихся в любой момент времени членов команды (сразу или по запросу) может дать свое предложение (сделать свой ход), как начать решать задачу, добавить или уточнить условия решения задачи, ограничения или предпочтения, пригласить новых членов за общий стол переговоров, если у них есть требуемые компетенции;
- 7) в ответ другие члены команды дают собственные предложения, которые могут быть как конкурирующими, так и дополняющими другие (кооперативными);
- 8) если обнаружено противоречие – ищется точка принятия решений, которое повлекло данный конфликт, осуществляется возврат на несколько шагов назад, делаются взаимные уступки по критериям и принимается новое решение в интересах организации в целом, после чего поиск решения вновь продолжается;
- 9) в результате на «общем столе» постепенно уточняется суть проблемной ситуации, которая обрастает деталями, и далее начинает формироваться решение задачи – выраженное, например, в виде эскиза конструкции объекта или наметка плана действий и т.д.;
- 10) одновременно может развиваться несколько подобных процессов, направленных на поиск альтернативных решений проблемы или поиск решения при различных начальных условиях и т.д.;
- 11) когда проблема решена (построен план действий) и нет более предложений по улучшению решения – процесс поиска и согласований решений останавливается и начинается процесс его реализации.

Рассмотрим, как должна строиться и функционировать типовая интеллектуальная система предлагаемого класса *Smart Solutions* для ситуационного управления ресурсами предприятий.

2 Структура и функции типовой системы *Smart Solutions*

Для решения рассмотренных выше задач любой организации (компании) предлагается следующая общая структура модулей типовой базовой системы управления ресурсами предприятия, представленная на рисунке 1.

Рассмотрим функции каждого модуля и его использование в системе.

Распознавание образов – распознает типовые ситуации, возникающие в ходе поступления событий, например новых заявок («паттернов» событий) и вырабатывает прогноз и рекомендации по распределению ресурсов предприятия и планированию, с учетом предыстории. Данный модуль позволяет включить в контур работы системы автоматическое обучение и использовать результаты обучения системы для улучшения качества и эффективности планирования.

Например, данный модуль может распознать факт, что некоторая заявка поступает в систему с определенной периодичностью, что позволит заранее забронировать определенные ресурсы для ее выполнения. В случае же, если в ожидаемое время заявка не поступила, система может сгенерировать соответствующее предупреждение менеджеру уточнить ситуацию с клиентом и освободить предварительно зарезервированные под заявку ресурсы.

В этом модуле может применяться технология кластеризации, являющаяся одним из подходов в области извлечения знаний (data mining), связанных с обнаружением знаний в потоках данных. Кластерный анализ позволяет обнаруживать в данных о заявках скрытые закономерности, которые практически невозможно найти другим способом, и представить их в удобной форме, помогающей принимать наилучшие решения.

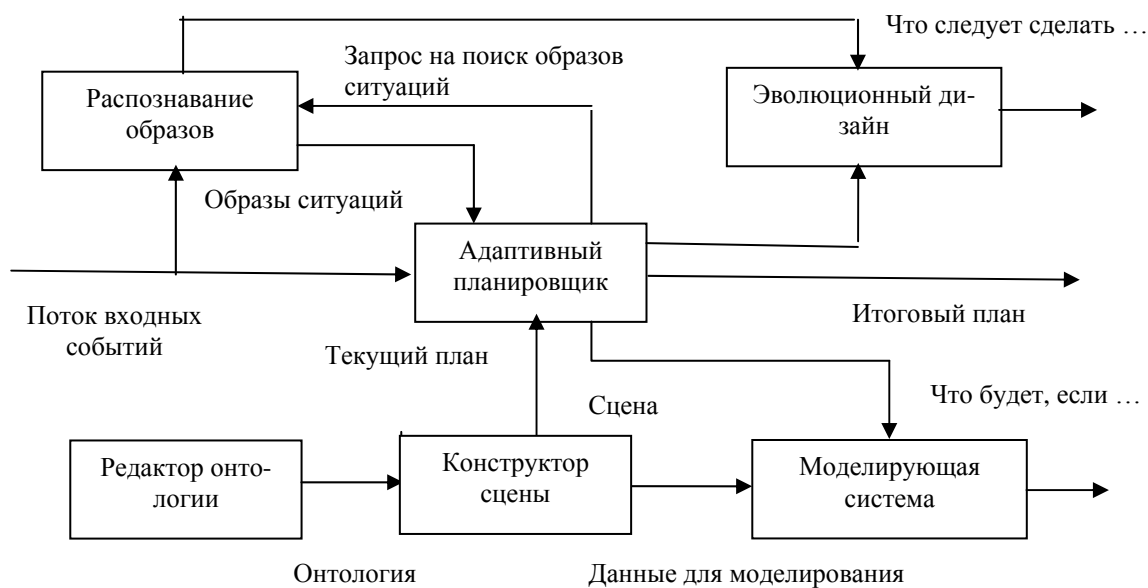


Рисунок 1 – Общая структура базовой системы

Адаптивный планировщик – обрабатывает поток входящих событий: поступлений заявок, ввода новых ресурсов, выхода из строя ресурсов и т.п. В результате обработки событий формируется близкий к оптимальному план (если есть время) или хотя бы допустимый план распределения и работы ресурсов, а также, по мере необходимости, осуществляется динамическое изменение плана по событиям, происходящим в реальном времени. Планировщик одного подразделения организации может взаимодействовать с планировщиками других подразделений, передавая им те или иные события и согласовывая принимаемые решения.

Таким образом, для обеспечения масштабируемости и производительности предлагаемой системы один планировщик может превращаться в целую сеть взаимодействующих планировщиков, при этом функционирующих на отдельных серверах.

Конструктор сцены – позволяет редактировать начальную конфигурацию сети и определить все параметры ресурсов компании. При этом необходимо вручную или автоматически импортировать данные из различных источников (существующих баз данных, файлов Excel и т.д.). Основывается на общей базе знаний (онтологии), описывающей деятельность компании и расширяющейся при развитии бизнеса с использованием редактора онтологии.

Редактор онтологии – позволяет ввести и изменять общую онтологию компании, описывающую модель знаний предметной области, которая затем применяется в конструкторе сцены для описания конфигурации бизнеса предприятия. Онтология содержит базовые понятия и отношения между ними, представляемые в форме семантической сети. Онтологии изначально возникли как удобные средства представления знаний для создания интернет-систем нового поколения (Semantic Web), но в последнее время все чаще применяются в различных системах моделирования и поддержки принятия решений [8].

Онтология компании при решении задач распределения ресурсов может содержать:

- описание классов объектов и отношений компании, включая типы заказов, классы ресурсов и т.д.;
- описание классов отношений (ресурс зарезервирован для заявки, заявка выполняется ресурсом и др.);
- описание классов операций бизнес-процесса компании, описывающих жизненный цикл заявки;

- описание классов атрибутов объектов и отношений.

Онтология позволяет отделить знания предметной области компании от текста программ, что также создает основу для дальнейшего развития системы и наращивания ее функций без перепрограммирования.

Моделирующая система – программный модуль, позволяющий осуществлять моделирование ситуаций по принципу «Что, если?». В любой момент текущее состояние компании и план работы на ближайший период времени могут быть выгружены в эту систему, чтобы затем промоделировать, что произойдет в случае того или иного события (например, заключения крупного договора с новым клиентом или субподрядчиком, расширением парка ресурсов, продажи или изменения параметров части ресурсов и т.п.).

Эволюционный дизайн – модуль, вырабатывающий предложения по улучшению конфигурации сети в части увеличения или уменьшения определенного числа ресурсов, изменению географии ресурсов и т.д.

Следует отметить, что все указанные компоненты могут поставляться заказчику в любой конфигурации с учетом его приоритетов и растущих потребностей, в зависимости от специфики решаемых задач.

Рассмотрим более подробно центральный модуль системы по адаптивному планированию и его основные компоненты (рисунок 2):

- Исполняющая система* (Run Time Multi-Agent Execution System) – подсистема, обеспечивающая асинхронное выполнение программ агентов при переходе из одного состояния в другое (диспетчер агентов) и передачу сообщений между агентами, при котором агент получает «квант» времени на обработку событий и далее возвращает управление диспетчеру для продвижения следующих агентов, т.е. агенты работают как сопрограммы. Частью этой системы является также Инспектор агентов (Agent Inspector) и Журнал переговоров агентов (Agent Log), показывающий все сообщения между ними.
- Очередь событий* (Event Queue) – подсистема, обеспечивающая накопление событий, приходящих из внешнего мира, и их последовательную обработку. Поскольку система является управляемой событиями, при каждом событии сохраняется метка времени его поступления, а также есть возможность регулировать порядок поступления событий в систему на обработку, когда следующее событие поступает после завершения обработки предыдущего или, не ожидая этого сигнала, в первую очередь выбираются приоритетные события и т.п.
- Мир агентов ПВ-сети / Виртуальный рынок* (Virtual World of RDN - Virtual Market) – место работы агентов сети потребностей и возможностей (ПВ-сети [9]), в котором запускаются и исполняются экземпляры классов агентов. Под управлением исполняющей системы агенты могут создаваться и уничтожаться в мире, существовать в мире, принимать и передавать сообщения, обращаться в сцену для чтения информации, записывать информацию в сцену, подписываться на события и получать уведомления и т.д.
- Сцена мира* (Scene of the World) – основная структура данных, которая содержит формализованную модель ситуации во внешнем мире, которая может уточняться через онтологию. Сцена мира корректируется событиями (в том числе, пользователем), чтобы обеспечить адекватность системы в восприятии ситуации в окружающем мире. Сцена содержит первоначальное описание ситуации, которое далее постепенно трансформируется в решение проблемы с учетом поступающих событий, и, в результате, содержит, например, новый план действий для пользователя (водителя грузовика, мастера и рабочего и т.д.).
- Конструктор онтологий, моделей и сцен* (Ontology Editor) – позволяет вручную корректировать начальную сцену или вносить в нее изменения в ходе работы.

- **Онтологии (Ontology)** – структуры данных, представляющие собой модели знаний предметной области, используемые для построения моделей начальных ситуаций или их корректировки. Имеются базовые онтологии, которые могут дополняться специализированными для предметной области понятиями и отношениями и далее – специальными расширениями для каждого отдельного предприятия.
- **Библиотеки планирования (Basic Virtual Market & Domain-Specific Extensions)** – содержат базовые и специализированные компоненты, обеспечивающие работу классов агентов ПВ-сети и их переговоры на виртуальном рынке (например, выявление конфликтов, определение зон перекрытия, расчет сдвигов и т.п.), доступ к сцене, содержащей формализованную модель ситуации, а также эластичную обработку критериев, предпочтений и ограничений агентов, расчеты микроэкономики и поддержки счетов агентов и другие функции.
- **База данных (Data base)** – позволяет сохранять исходные и промежуточные сцены, а также сцены с результатом решения проблемы.
- **Специализированные компоненты и интеграция с третьими системами (3rd Party & Integration Components)** – компоненты, которые позволяют выполнять дополнительные функции для предметной области (например, расчет расстояний по карте для грузовиков и т.п.).

Данная структура оказывается типовой для многих приложений в области управления ресурсами в реальном времени.

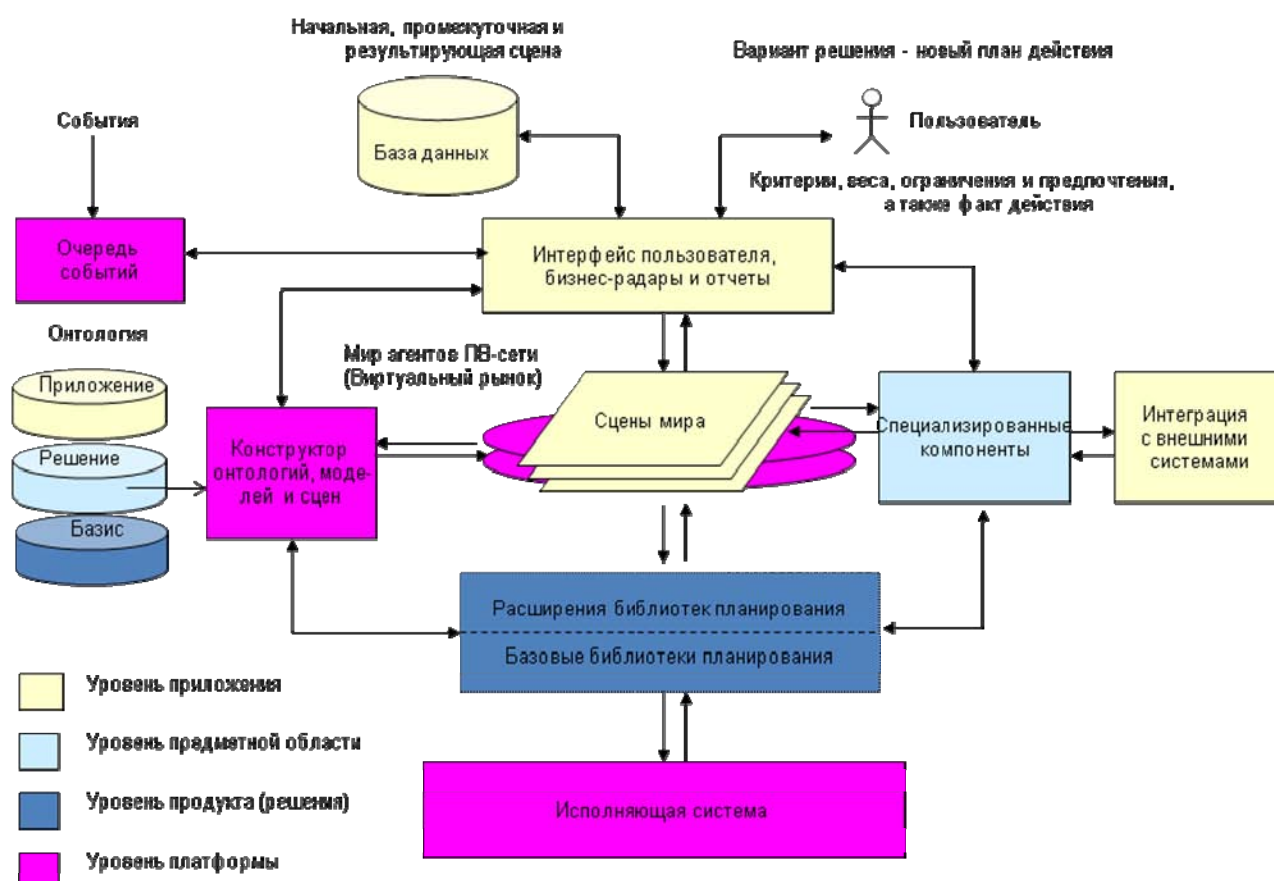
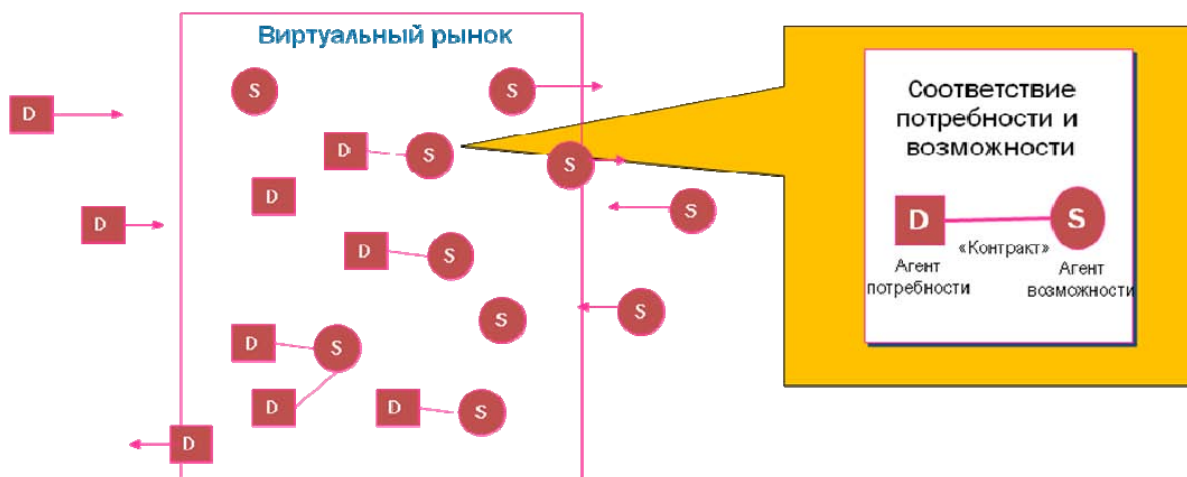


Рисунок 2 – Структура модуля адаптивного планирования (цветом выделены уровни системы)

3 Физические основы математической модели ПВ-сети

В основе работы предлагаемой системы лежит концепция сети агентов потребностей и возможностей (ПВ-сети), функционирующих на виртуальном рынке системы (рисунок 3) [9, 10].

Даная концепция позволяет проектировать мультиагентную систему как набор конфликтных по определению агентов «планировщиков-оптимизаторов» со своими целями и задачами, критериями, предпочтениями и ограничениями для принятия решений, но которые при этом могут кооперировать и конкурировать при принятии решений в интересах объединяющего их общего целого (участка, цеха, предприятия). Важнейшей особенностью этой концепции является возможность пересмотра агентами своих ранее принятых решений при обнаружении конфликта между ними и выработка согласованного решения путем переговоров, в ходе которых агенты имеют эластичность по своим критериям и делают уступки той стороне (агенту), которая наиболее ухудшает результат и приносит наибольшие «страдания» системе в целом.



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

Рисунок 3 – Виртуальный рынок ПВ-сети системы

В ПВ-сети агенты могут получать и применять *роли потребностей (заказов) и возможностей (ресурсов)*. Роль потребности несет в себе знание «идеала» (будущего), а роль возможности – знание «реальности» (настоящего и прошлого). Так, каждый агент «грузовик» знает наверняка, каков был его маршрут, где сейчас он находится, каким грузом он загружен и каков дальнейший план действий и т.д. Получая предложения от разных грузовиков (возможностей), заказ (потребность) может решить, какой из них ему лучше всего подходит. Но, с другой стороны, и сам грузовик может породить новую «потребность», специфицируя какие именно заказы ему нужны в текущий момент времени, чтобы быть полностью загруженным, глядя на пустые слоты в его расписании.

В результате ПВ-сеть может быть образована программными агентами потребностей и возможностей, постоянно стремящимися найти друг друга, разорвать существующие и установить новые связи, которые более выгодны системе. Например, для компании грузовых перевозок модель ПВ-сети может включать агентов клиента и заказа, грузовика и груза, маршрута поездки, магазина и склада, водителя и т.д. При этом заказ постоянно ищет себе луч-

ший грузовик, а грузовик встречно – заказ, но также маршрут и водителя и т.п. Сложность модели ПВ-сети и точность моделирования реальной транспортной сети увеличиваются как с ростом числа программных агентов, представляющих интересы различных физических и абстрактных сущностей, необходимых для работы каждой сети, так и с ростом типов и вариантов взаимодействий между агентами разных типов.

При этом основой взаимодействия всех указанных агентов становится общий виртуальный мир агентов, представляющий в данном случае виртуальный рынок, на котором агенты могут покупать или продавать свои сервисы, исходя из экономической целесообразности. Правила принятия решений агентами при этом определяются моделью микроэкономики ПВ-сети, определяющей стоимости таких сервисов, систему штрафов и бонусов, как агенты делают прибыль, какие налоги и при каких действиях должны платить и т.п. Все это призвано дать агентам возможность накапливать виртуальные деньги, играющие роль энергии в системе, и использовать их для формирования новых или поддержания существующих связей. При этом принятие решений несколькими агентами и установление связей между ними для решения задач, непрерывно возникающих при поступлении каждого нового события, вызывает изменение условий функционирования других агентов и тем самым определяет процесс *самоорганизации* системы, приводящей к перестройке расписания в ответ на событие.

Знания, на основе которых агенты принимают решения, как уже указывалось выше, отделены от программного кода и хранятся в онтологии системы, что обеспечивается с помощью специального конструктора онтологий, моделей и сцен. Конкретная ситуация, складывающаяся с ресурсами, описывается в виде сцены, связывающей конкретные экземпляры объектов (название компании клиента, имя водителя грузовика, номер транспортного средства и т.п.). Типовые конфигурации могут сохраняться в виде моделей (например, цеха - размещение станков и рабочих).

Постоянная активность всех агентов сети, причем как со стороны потребностей, так и возможностей, вызывает *многосторонние переговоры* на виртуальном рынке, идущие квазипараллельно. При этом особенностью подхода является тот факт, что каждый агент рассматривается как машина состояний, возвращающая управление диспетчеру после каждого такта переговоров. Каждый агент постоянно старается добиться своей цели и для этого вступает в отношения (связи) с другими агентами (заказ бронируется на грузовик, грузовик – на водителя и т.д.), которые могут пересматриваться агентами в результате выявления и разрешения конфликтов под действием приходящих извне или генерируемых внутри системы событий.

При этом конфликты, порождаемые событиями (например, отказ грузовика), могут решаться агентами заказов и ресурсов путем переговоров и взаимных уступок, направленных на достижение приемлемых для всех *компромиссов*. Компромисс достигается тогда, когда один агент уступает свое место другому, причем с ухудшением своего положения, что сопровождается выигрышем для всей системы или второго агента и соответствующим образом компенсируется из запаса виртуальных денег. Разрешение конфликта может вызывать целую цепочку операций перепланирования (включая переход заказов на другой ресурс, сдвигку заказов вправо или влево по шкале времени на ресурсе, обмен заказами между ресурсами и т.д.), глубина которой может быть ограничена допустимым временем ответа или другими факторами. В то же время, если имеется запас времени, решение о выделении ресурса или сформированное расписание использования ресурса может подвергаться непрерывной, в том числе, и классической оптимизации, или, в общем случае, балансировке интересов всех участников, поскольку, как уже было отмечено выше, каждый заказ или ресурс может иметь собственную специфическую систему критериев, предпочтений и ограничений.

Так, при поступлении нового заказа в систему создается его агент, который от лица этого заказа вступает в контакт с агентами ресурсов для поиска лучшего своего размещения. Если

наиболее подходящие ресурсы уже заняты, они могут начать предлагать размещенным на них ранее заказам поискать себе новые размещения. Этот процесс, как цепная реакция, может захватывать все новые заказы и ресурсы, формируя расходящуюся волну изменений.

Если же вдруг, по каким-то причинам, выбранный грузовик позже становится недоступен (поломка, авария и т.д.), то его агент должен найти все заказы, которые сейчас планируются на размещение в этом грузовике, и сообщить им о недоступности ресурса. Эти заказы активизируются и начинают искать себе другие грузовики, что позволяет оперативно, гибко и надежно перепланировать маршруты поездок. Результат считается достигнутым и система завершает свою работу в том случае, когда ни у одного агента нет больше возможностей улучшить свое состояние.

Таким образом, решение задачи при данном подходе формируется *эволюционным образом*, в ходе отработки каждого нового события, и потому является необратимым (для обратимости необходимо воспроизведение условий, при которых решение принималось). При этом формирующееся расписание рассматривается не как «статическая» структура данных, полученная в результате однократного применения некоторого монолитного алгоритма, имеющая жестко фиксированные связи, а как неустойчивое динамическое равновесие (или «устойчивое неравновесие»), получаемое и поддерживаемое путем взаимодействия двух противоположных сущностей «потребностей» и «возможностей», играющих роли взаимосопряженных понятий «инь» и «янь».

Следует отметить, что чем выше удовлетворенность потребностью или возможностью, тем сильнее связи между элементами расписания (порядок в системе), и тем труднее его будет изменить в будущем. И, наоборот, чем менее удовлетворены агенты своими состояниями, и чем активнее они продолжают искать альтернативные варианты, тем ближе система к состоянию хаоса, но и тем гибче может перестраиваться расписание. При этом даже самый небольшой заказ, при определенных условиях, может повлечь за собой кардинальную структурную перестройку всего расписания, когда малые изменения на входе системы породят непредсказуемо большие изменения на выходе. Такие процессы самоорганизации, близкие по своей природе процессам нелинейной термодинамики [11-12], должны позволять наблюдать в системе и ряд других феноменов сложных динамических систем, такие как «порядок и хаос», «осцилляции», «катастрофы» и т.п.

Разработанный подход интегрирует многие современные идеи оптимального планирования, реализуемого в мета-эвристиках, создавая среду конкурирующих и кооперирующих алгоритмов (агентов). Так, агенты могут запоминать и избегать плохих решений за счет использования своей памяти, информировать друг друга о промежуточных опциях, при близости опций принимать решения случайно, прекращать поиск при наличии ограничений по времени принятию решений и т.д.

При этом за счет представления задачи в форме, близкой к естественной, логика принятия решений системы становится более прозрачной как для программистов, так и для операторов, что позволяет встраивать большее число эвристик без увеличения сложности кода и уменьшает общее время разработки системы, а также делает результаты системы доступными для понимания пользователем.

4 Онтологии и мультиагентный подход к разработке системы

4.1 Мультиагентный подход к созданию системы

Применение мультиагентных технологий для перехода к поддержке принятия решений по управлению ресурсами в реальном времени позволяет адаптивно перераспределять ресур-

сы при появлении в ходе работ новых задач или других непредвиденных событий, которые не могут быть спланированы заранее, а также в ходе коммуникации между сотрудниками.

Адаптивность означает, что при обнаружении каких-либо изменений (новый проект, отпуск исполнителя, новые задачи, изменение сроков и др.) график работ не перестраивается полностью, а изменения вносятся «точно», только на тех операциях плана, который затрагивают эти изменения с возможной подвижкой или переброской операций на другого исполнителя.

Принципы работы мультиагентной подсистемы адаптивного планирования кратко могут быть сформулированы следующим образом [9]:

- для каждой задачи и исполнителя создается свой программный агент, получающий требования, предпочтения и ограничения на планирование, у которого имеется индивидуальное расписание;
- агент начинает планирование путем поиска необходимых ему ресурсов в сцене, которая описывает текущую ситуацию в подразделении, а именно, какой сотрудник какие задачи исполняет на текущий горизонт плана;
- если подходящие ресурсы (исполнители) заняты, фиксируется конфликт и начинаются переговоры по его разрешению путем сдвига и освобождения временных слотов;
- в ходе переговоров возможны варианты: новая задача уйдет на менее подходящий ресурс (исполнителя), предыдущая задача уйдет или сдвинется;
- даже после решения своей задачи и построения плана каждый агент не останавливается и продолжает пытаться улучшить свое положение.

Такой подход отличает предлагаемую систему от существующих систем управления ресурсами, в которых задачи и ресурсы считаются известными заранее и не меняются в ходе планирования или исполнения [13-14].

Ключевая логика системы реализуется агентами (для примера управления проектами), которые функционируют от имени заказов, проектов, задач, подразделений, продукции, сотрудников, программных компонентов, документов и т.д. (таблица. 2).

Основные направления переговоров между агентами представлены на рисунке 4.

При возникновении любых событий план считается построенным или скорректированным, когда система достигла согласованного состояния и ни один из агентов не может улучшить его или время для получения результата истекло.

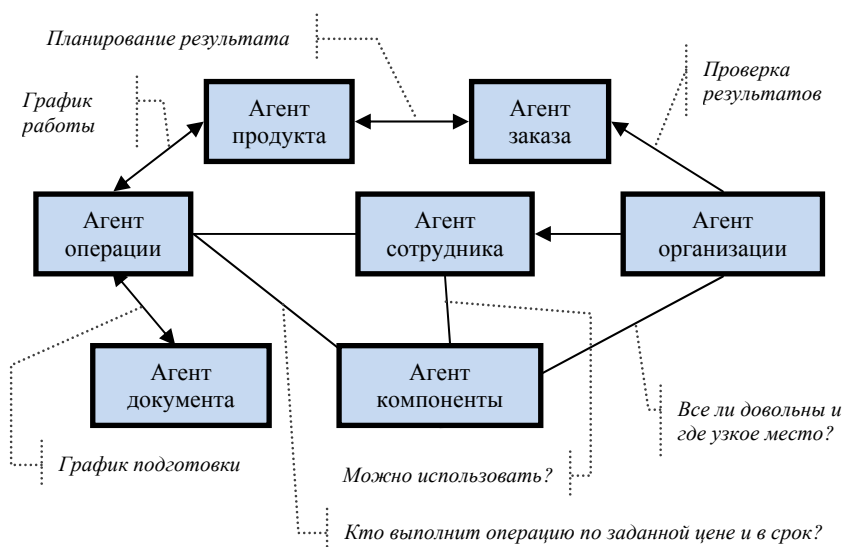


Рисунок 4 – Основные классы агентов и протоколов взаимодействия

Таблица 2 – Основные классы агентов системы

Имя агента	Описание агента	Атрибуты
Заказ по теме	Заказ ищет наилучшие возможности для реализации в рамках существующих или новых бизнес-центров (центров проектов, имеющих целью прибыль - БЦ) и центров знаний (ресурсных центров, имеющих целью получение знаний - ЦЗ), интересов и компетенций исполнителей	Содержание, стоимость, срок и другие
Проект	Пытается организовать и выполнить проект с учетом заданных критериев, предпочтений и ограничений, технологических и бизнес процессов, наличия исполнителей	Онтологический описатель содержания проекта, состава исполнителей, принадлежности к БЦ, бюджета и сроков проекта, результатов
Организация (в целом БЦ или ЦЗ, команда по проекту)	Пытается достигнуть и улучшить результат для группы в целом по заданным критериям, наблюдает за ситуацией, меняет стратегию выбранным агентам, усиливает или смягчает ограничения и предпочтения для выявления и разрешения «узких мест», фиксирует получение результата.	Тип организации, состав организации, критерии и стратегии действий, ожидаемые результаты и текущие показатели
Сотрудник	Хочет быть занят максимально по профилю и получать бонусы за качество, производительность и т.д. Пытается усовершенствовать свои компетенции для достижения более высокого уровня квалификации и оплаты труда.	Организации, к которым принадлежит, профиль компетенций, план работы, текущая задача, уровень квалификации, зарплата, авторство документов или программ и др.
Программная компонента или документ	Хочет быть максимально использована в проектах, при необходимости - быть доработана. Учитывает связь с другими компонентами, документами, тестами и др.	Назначение, применение, онтологический дескриптор, автор, использование в проектах, связь с другими компонентами, стоимость.
Технологический или бизнес процесс	Хочет быть выполнен наилучшим образом как цепочка из отдельных операций (задач), необходимых для выполнения заказов по проектам.	Состав изделия, перечень операций и граф связи между ними, критерии исполнения, сроки и стоимость.
Операция	Ведет поиск наилучших работников, документов и компонент, с учетом предпочтений и ограничений проекта и связи с другими операциями.	Компетенция и квалификация исполнителя, продолжительность, связь с проектом и другими операциями
Результат (продукт)	Пытается создаваться в результате выполнения проекта из готовых или новых компонент	Характеристики результата (продукта)
Другие концепты ПВ-сети	Заказчики и партнеры, мероприятия, лидеры и т.д.	Предполагается дополнять по мере развития системы

4.2 Онтология и сцена предприятия

Онтология предприятия позволяет дать спецификацию концептов и отношений предметной области управления проектами для конкретных предприятий, которые используются рассмотренными выше агентами [15].

Фрагмент онтологии предприятия, включающей концепты «задача», «проект», «исполнитель» и некоторые другие, дан на рисунке 5.

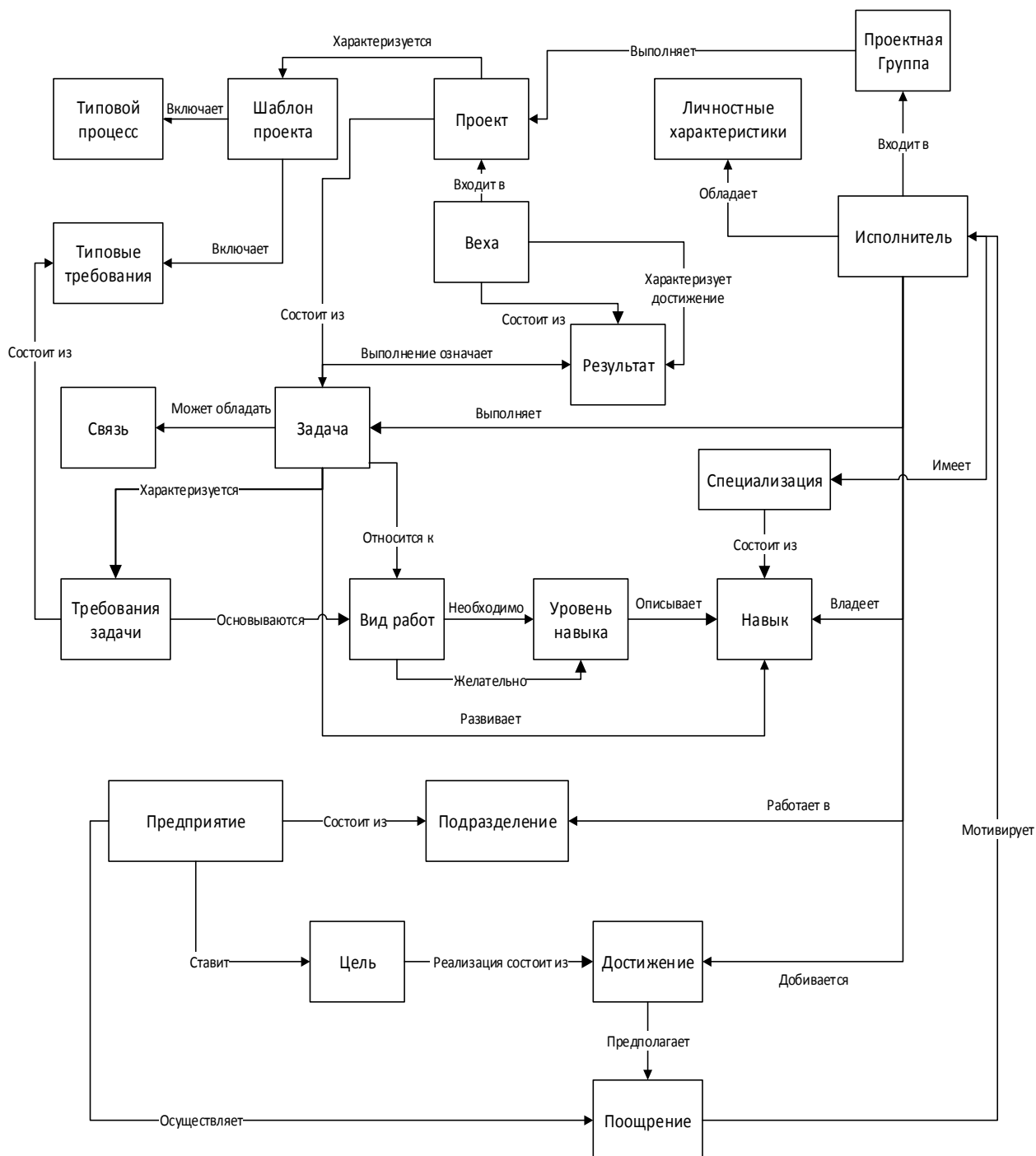


Рисунок 5 – Фрагмент онтологии предприятия для управления проектами

Онтология позволяет построить формализованную модель ситуации на реальном предприятии, называемую «сценой» (рисунок 6).

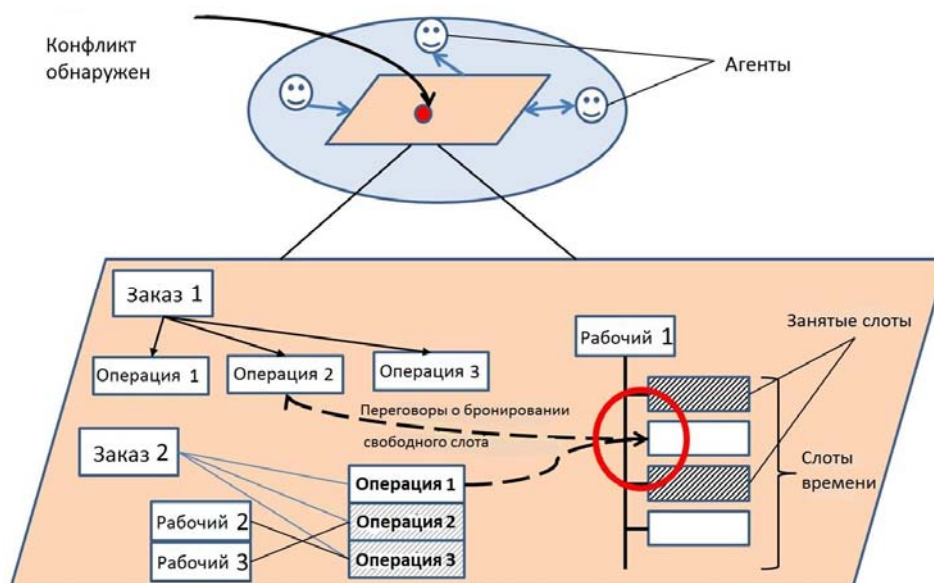


Рисунок 6 – Представление сцены предприятия

На рисунке 6 показано, что в сцене имеется описание всех заказов (пример Заказ 1), исполнителей (в данном случае, Рабочие), операций (Операция 1 и др.), временные слоты и некоторые другие объекты.

4.3 Архитектура и компоненты системы

Система построена по принципу трехзвенной архитектуры «интерфейс пользователя – бизнес-логика планирования – база данных», каждое звено которой может быть расположено на отдельном компьютере.

Центральным компонентом системы является сервер приложений, который осуществляет адаптивное планирование по событиям и взаимодействие всех подсистем, производит обработку данных и обеспечивает разграничение прав доступа пользователей в системе.

В создаваемых системах может быть предусмотрено несколько основных специализированных автоматизированных рабочих мест (АРМ): руководителя компании и исполнителей проектов, диспетчеров и водителей, мастеров и рабочих – все они устроены по одному принципу. Каждый АРМ представляет собой клиентское приложение, например для Microsoft Windows, позволяющее пользователю в интерактивном режиме взаимодействовать с системой и членами команды.

АРМы руководителей всех уровней предназначены для управления заказами, проектами и задачами, включая распределение задач, планирование работ, мониторинг и контроль результатов, корректировку планов и некоторые другие сервисные функции.

АРМы исполнителей предоставляют пользователям на местах возможность выбирать задачи и создавать новые, просматривать список назначенных им задач и выражать степень их предпочтения, отмечать прогресс выполнения, давать собственные оценки времени работы по задачам, встраивать новые задачи, делить и объединять задачи и ряд других.

Подсистема адаптивного планирования работает непрерывно на серверной стороне и может использовать любую реляционную базу данных.

Основными компонентами планирования являются: агент-диспетчер, сервис обмена сообщениями, сервис поддержки жизненного цикла агентов, сервисы создания и удаления агентов, поддержка протокола коммуникации между агентами и поддержка сцены плана.

Подсистема интеграции позволяет системе взаимодействовать с другими информационными системами предприятия в частности, в настоящее время выполнена интеграция с СУБД Oracle, PTC Windchill и Microsoft Office Project, 1С и ряд других.

В процессе обработки данных в системе возникают различные события, которые обрабатываются подсистемой планирования в реальном времени, включая изменение параметров проекта, появление новой задачи, изменение параметров задач (плановые сроки выполнения и др.), изменение состояния ресурсов (появление нового ресурса, изменение доступности ресурса, изменение параметров навыков сотрудника), факт исполнения задачи (отметка фактов выполнения, указание предпочтений пользователей) и некоторые другие.

Данный список продолжает развиваться и пополняться, отражая степень адаптивности к неопределенности и изменчивости предприятия.

5 Работа пользователя с системой

Предлагаемый подход во многом изменяет привычные представления о работе пользователя с системой (запустил программу – получил результат).

Здесь разрабатываемые системы никогда не останавливаются и постоянно продолжают работать, даже когда решение найдено и нет возможности улучшить результаты. Смысл этого процесса – не только ожидание нового события, чтобы постоянно держать план в актуальном состоянии, но и возможность проактивного улучшения полученного решения, путем попыток вытягивания его из локальных оптимумов с разных сторон, силами разных агентов.

При этом в начальный момент пользователь может загрузить из базы данных или сам сконструировать новую сцену с описанием проблемы и запустить процесс поиска решения. При этом он может указать для системы желаемые критерии, ограничения и предпочтения, включая/выключая критерии или регулируя значимость отдельных критериев изменяемыми весами. В результате работы система порождает план, который строится в ходе переговоров агентов, выявляющих и разрешающих конфликты.

Полученный план может не понравиться пользователю, и тогда пользователь может вручную интерактивно изменить и переназначить заказы на ресурсы, что может немедленно вызвать процесс перераспределения других заказов по ресурсам; но пользователь может заморозить части расписания, которые кажутся ему построенными правильным образом. Кроме того, пользователь может изменить критерии построения решения – и теперь система «распустит» соответствующие связи и начнет с начала – не факт, что решение будет лучше и потому пользователю следует запомнить полученное ранее решение, прежде чем начать играть с системой. Любое, даже самое малое изменение в плане может, при определенных условиях, запускать лавинообразную автокаталитическую реакцию и приводить к кардинально большим изменениям на выходе, как описано выше.

В разрабатываемом сейчас гомеостатическом подходе веса могут изменяться самой системой по результату планирования, т.е. система получает способность саморегулироваться.

Если построенный план устраивает пользователя, он может его принять к исполнению и тогда система перейдет в режим мониторинга исполнения намеченного плана. При подходе времени очередной операции система спросит пользователя, готов ли он к выполнению требуемого действия, или следует перепланировать задачу. Постоянное «откладывание» задачи может наталкиваться на новые следующие задачи, образовывать конфликты и приводить к перераспределению задач между исполнителями.

При этом в любой момент времени пользователь может ввести новое событие в систему, связанное с появлением нового заказа, задержкой выполнения существующего, недоступностью ресурса, что вызовет перестройку плана и его новое согласование с исполнителями.

В результате обеспечивается согласованная работа сотрудников предприятия, фактически переходящих к работе в режиме консенсуса.

6 Дальнейшее развитие: концепция виртуального «круглого стола» для согласования коллективных решений

Развитие предлагаемого в [3] интерсубъективного подхода приводит к следующей концептуальной модели предприятия, которая может быть названа виртуальным «круглым столом» для решения проблемных ситуаций.

Виртуальный «круглый стол» представляет собой определенный регламент (дисциплину) согласованного принятия решений специалистами–актерами (лицами, принимающими решения) различных подразделений, собранными для разрешения междисциплинарных проблемных ситуаций на постоянной или временной основе, как в примере в разделе 2 (рисунок 7).

В центре такой модели является уже рассмотренная выше *сцена мира* – базовое формализованное описание контекста ситуации, но теперь разделяемое всеми актерами. Важнейшим требованием является то, что данное описание в ходе работы может расширяться новыми понятиями и отношениями, что может быть реализовано с применением онтологий.

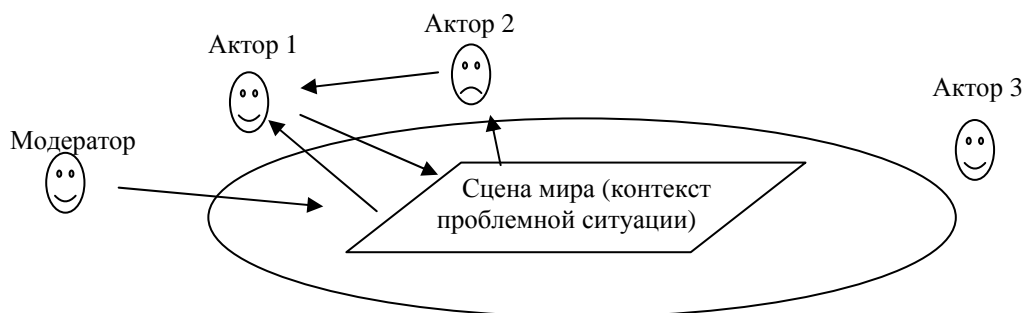


Рисунок 7 – Виртуальный «круглый стол» специалистов для разрешения проблемной ситуации

Модератор виртуального «круглого стола» отвечает за общую работу и выбор технологии решения проблемной ситуации, например, участники получают право принимать решения «по кругу».

В развитие рассмотренного выше подхода к решению проблемной ситуации *каждый актер* считывает исходную информацию о задаче и контексте, переводит ее в систему собственных субъективных представлений, решает поставленную задачу в своем мире, на основе своей базы знаний, но при заданных предпочтениях и ограничениях, и далее возвращает и встраивает полученный результат в контекст сцены.

Полученное решение принимается другими актерами и тогда процесс продолжается по кругу и управление передается следующему актору, либо возникает конфликт-противоречие между целями, предпочтениями и ограничениями акторов. В этом случае процесс останавливается, и начинаются прямые переговоры между актерами, направленные на разрешение конфликта путем взаимных уступок. После разрешения локального конфликта «движение» продолжается – до выявления нового конфликта и его разрешения. В конечном счете, на виртуальном круглом столе образуется решение поставленной задачи, согласованное со всеми актерами, которое записывается модератором как результат.

Актеры могут быть как удовлетворены своим результатом, так и оставаться недовольными, что заставляет их искать встречные предложения.

За каждым актором, в свою очередь, может стоять свой «круглый стол» других специалистов, которые помогают ему принимать решения, т.е. общая архитектура предприятия приобретает *вложенно-рекурсивный принцип* построения (принцип русской «матрешки»). Команды могут формироваться как снизу, в порядке собственной инициативы, так и по приглашению, но в идеале каждый раз - по контексту ситуации.

Рассмотрим примеры возможной работы такой концептуальной модели для различных предприятий и совершенно различных задач.

Пример 1: Проектирование нового сложного изделия. Пусть требуется решить задачу проектирования нового автомобиля для покупателей среднего класса. В этом случае за виртуальным «круглым столом» должны собраться следующие акторы: главный конструктор двигателей, главный технолог, главный дизайнер, главный финансист и ряд других специалистов по разработке автомобилей. Пусть известны и заданы основные требования к параметрам нового автомобиля: габаритные размеры и технико-ходовые качества, максимальная цена и предельный объем возможных инвестиций и т.д.

В этой ситуации начать решать задачу может главный конструктор двигателей, который вбросит на «круглый стол» свою уже готовую лучшую конструкцию двигателя. Эта конструкция активизирует главного технолога, который увидит, что на производство данного двигателя потребуется новое технологическое оборудование и предложит лучшее в мире оборудование одной из фирм. При этом существенно возрастет стоимость проекта, о чем немедленно сообщит агент финансиста, который покажет, насколько именно превышен уровень возможных инвестиций. Данный сигнал остановит процесс и вызовет необходимость пересмотра решений – в результате либо более дешевая технологическая линия будет найдена, либо придется выбрать другой двигатель, который может быть собран на существующем оборудовании. Далее процесс проектирования будет продолжаться, пока все участники не отработают свои лучшие пожелания, с учетом действующих ограничений, и новый автомобиль не будет проработан во всех деталях.

Можно по аналогии представить себе подобный процесс, связанный с разработкой новых месторождений нефти (нефтяники, бурильщики, строители и другие специалисты) и другими приложениями.

Пример 2: Управление ресурсами предприятия в реальном времени. Пусть имеется крупное предприятие теплоэнергетики, которое располагает несколькими электрическими и тепловыми станциями, а также сетью тепловых магистралей, и дает энергию, обогревает город и обеспечивает его горячее водоснабжение. За «круглым столом» такого предприятия, в числе основных акторов, должны присутствовать не только специалисты по теплоэнергетике, но и трейдеры, продающие энергию, снабженцы, приобретающие газ или уголь для выработки тепла, экологи и т.д.

Предположим, что прогноз трейдеров показывает резкое увеличение потребности в электроэнергии на ближайшие дни, что потребует выработки дополнительной электроэнергии. Специалисты от различных станций могут предложить свои варианты ввода дополнительных турбин в работу, каждый из которых имеет свою стоимость, но какие-то из них еще требуют большего времени, а некоторые должны отправиться в плановый ремонт. Если предлагается наиболее экономичный вариант с турбинами, работающими на газе, то тут же может оказаться, что предприятие уже выработало свой резерв поставок от Газпрома и новый дополнительный забор газа приведет к большим штрафам, о чем сообщит специалист по снабжению. Потребуется вернуться за наш «круглый стол» и выбрать вариант с угольными станциями. Но тогда может активироваться эколог, который, видя плотную облачность в ближайшие дни, сообщит о том, что неблагоприятная метеорологическая обстановка и запуск угольных станций приведет к запредельной концентрации вредных веществ в атмосфере и

крупным экологическим штрафам. В результате будет принято решение отложить на некоторое время плановый ремонт наиболее эффективной турбины, запуск которой не потребует больших новых поставок газа, что позволит трейдерам продать больше энергии и даст дополнительную прибыль предприятию.

Пример 3: Распознавание образов нештатных ситуаций в потоке телеметрии. Представим себе работу команды специалистов ЦУП, ведущих наблюдение за работой Международной космической станции. Виртуальный «круглый стол» ЦУП формируют специалисты по каждой из подсистем станции, военные, специалисты по связи и другие.

Предположим, что специалист по одной из подсистем замечает незначительное изменение параметров в потоке телеметрии, пока в пределах нормы. Тем не менее, данный сигнал может активировать специалистов, отвечающих за те подсистемы, которые зависят от данной подсистемы, или, наоборот, обеспечивают ее работу. Для работы этих специалистов потребуется более детальный сбор данных с борта станции, что, при наличии ограничений по памяти бортового компьютера, потребует изменить план опроса датчиков и записи телеметрии, а также план последующей ее передачи на Землю, т.к. станция не всегда видна. Таким образом, более детальное погружение в анализ вызовет согласованное изменение планов других подразделений и специалистов. Полученная телеметрия может показать, что также изменились незначительно параметры одной из обеспечивающих систем, например, начала садиться одна из батарей, что, в свою очередь, должно привести к пересмотру возможной программы научных экспериментов и внеплановой замены батареи со следующим кораблем. В более сложном случае, даже незначительные изменения других признаков, но связанные между собой, могут свидетельствовать о приближающихся серьезных нарушениях работоспособности станции, что аналогичным образом требует моделирования ситуации и проигрывания всех последствий. Наконец, могло быть установлено, что отклонение данных телеметрии вызвано случайными помехами и не представляет угрозы для станции.

При этом каждый актер может входить в несколько постоянно или временно действующих команд («виртуальных столов»), показывающих основные решаемые задачи и контуры управленческих решений предприятия в каждый момент времени.

В результате, в любой такой системе должен реализовываться главный принцип самоорганизации Г. Куппера: локальные взаимодействия порождают глобальные структуры, которые, в свою очередь, влияют на породившие их элементы и локальные взаимодействия [12]; что именно, и только это, позволяет создавать эффективные организации, демонстрирующие устойчивое стабильное развитие на многие годы.

7 Переход к распределенным интеллектуальным системам управления ресурсами предприятий («системы систем»): адаптивная многоуровневая p2p сеть планировщиков

Предлагаемый подход может быть реализован как интеллектуальная распределенная система, которая создается из интеллектуальных подсистем управления отдельными подразделениями, например, типовыми цехами крупного машиностроительного предприятия с начальной ориентацией на возможность адаптивного построения и корректировки планов по событиям, поступающим в реальном времени, например, от пользователей или из существующих систем управления предприятиями, с датчиков линий автоматического производства, планшетов мастеров или сенсорных экранов рабочих, что может сразу вызывать перераспределение и пересогласование ресурсов в реальном времени.

Рассмотрим пример применения для машиностроительных предприятий, для которых переход к принятию решений в реальном времени обеспечивает повышение эффективности

использования ресурсов цехов путем сокращения и устранения их простоев или дефицита, в частности, дорогостоящих станков с ЧПУ или остродефицитных кадров высококвалифицированных рабочих.

Согласованность решений интеллектуальных систем управления цехами при этом может быть обеспечена за счет разработки многоуровневой адаптивной p2p сети указанных систем (рисунок 8), от англ. «peer-to-peer», означающего взаимодействие между этими системами по принципу «равный с равным» и «каждый с каждым», в отличие от принятых доминирующих отношений «ведущий-ведомый» в каскадной (водопадной) модели бизнес-процессов управления предприятиями.

Такой подход позволяет строить принципиально новые сложные «системы систем» холонического типа (завод как сеть цехов, цех – как сеть участков и т.д.) – автономных, но согласованно действующих, как единый организм, на основе принципов самоорганизации и эволюции, обеспечивающие более высокую открытость, гибкость, производительность, масштабируемость, надежность и живучесть.

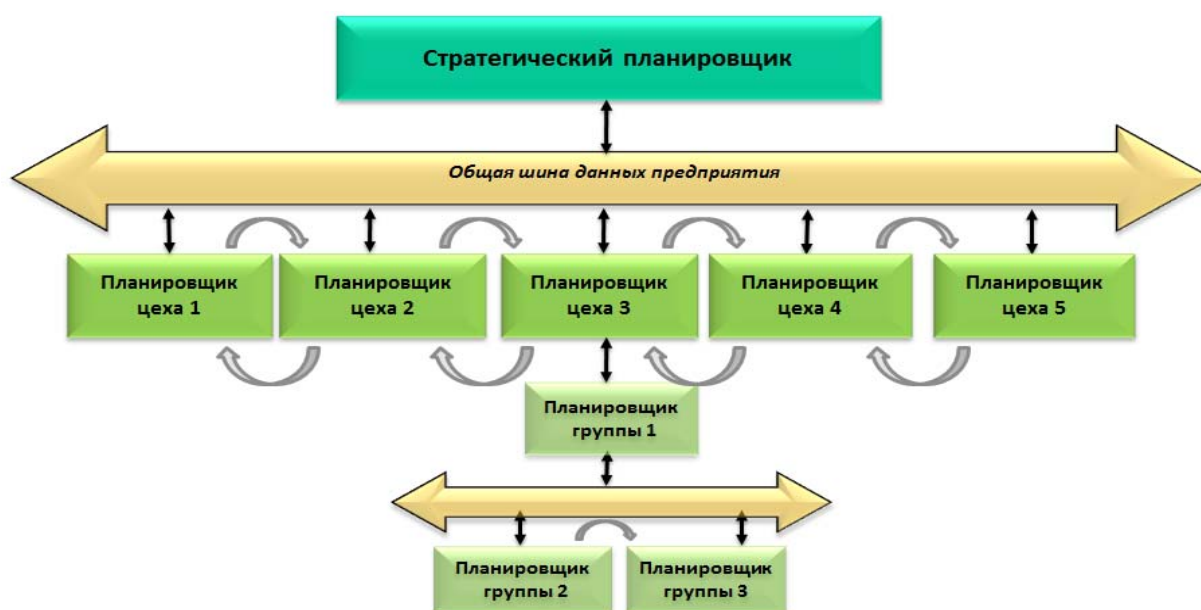


Рисунок 8 – Архитектура распределенной сетевцентрической интеллектуальной системы управления ресурсами, построенной в виде адаптивной p2p сети планировщиков реального времени

Такая архитектура реализует основной принцип сетевцентрического подхода (“Solve problems as local as possible and as global as required”), поскольку любая проблема решается в ней так локально, как это только возможно (читай в одном планировщике), и так глобально, как это требует проблема – если не удастся решить проблему в одной из систем – начинается «волна» - цепная реакция взаимодействий с другими системами.

Предлагаемая распределенная интеллектуальная система для управления ресурсами в реальном времени будет построена с применением холонической архитектуры как многоярусная адаптивная p2p сеть интеллектуальных систем управления цехами, включающая как систему стратегического планирования по предприятию в целом на большой горизонт планирования (1-2 года), так и системы оперативного управления, которые призваны обеспечить согласованное принятие решений на всех уровнях управления предприятия и быструю, адаптивную реакцию на непредвиденные события на более короткий горизонт (2-3 месяца).

В такой системе стратегический планировщик, построив первую грубую версию плана, «сбросит» ее вниз на согласование оперативным планировщикам цехов, которые, спланиро-

вав свою работу автономно, начнут переговоры по горизонтали для согласования своих оперативных планов. Успешно созданные «внизу» планы будут доведены до стратегического планировщика за исключением тех планов, где цехам не удалось договориться и требуется выделение дополнительных ресурсов (например, разрешение на вторую смену в одном из цехов на один из месяцев). Получив такое разрешение, конфликтные цеха смогут перепланировать свою работу и прийти к соглашению.

Хорошо известна типичная ситуация из реальной жизни крупного предприятия, когда план работ еще не успели построить и распечатать, а он уже устарел (пришел новый заказ, задержалась оплата уже принятого заказа, появилась новая задача, рабочий ушел в отпуск и т.д.). Предлагаемая система будет решать эту проблему постоянно «устаревающих планов», адаптируя связанную сеть операций на общем поле ресурсов предприятия через их рассмотренные выше вертикальные и горизонтальные взаимодействия, регламенты которых будут разработаны в ходе проекта.

В результате, в предлагаемой системе может быть показано взаимодействие мультиагентных систем, показывающее ко-эволюцию самоорганизующихся систем, фактически, взаимодействие «роя с роем» по сравнению с обычным «агент-агент» взаимодействием.

Создание такого рода новых интеллектуальных систем для перехода к реальному времени при производстве и сбыте продукции машиностроительных предприятий, позволяющих работать в условиях неопределенности и высокой динамики изменений, когда ни число заказов, ни число ресурсов наперед не известно, достигнуто впервые в мире – замещая устаревшие в этом отношении компоненты таких традиционных ERP систем (Enterprise Resource Planning), как хорошо известные на рынке SAP, Manugistics, i2, i-Log и других, ориентированных на классические устаревшие «пакетные» формы работы.

Разрабатываемые системы могут при этом использоваться как полностью автономно, так и интегрироваться с существующими системами автоматизации управления предприятиями, что существенно расширяет рынок сбыта для конечного продукта.

Предлагаемая многоярусная структура распределенной сети взаимодействующих интеллектуальных систем [16] для управления организациями позволит на практике реализовать холонический подход к управлению машиностроительными предприятиями, создав такую архитектуру, которая полностью отображается в структуру самого предприятия.

Данный подход обеспечивает такие важные преимущества разрабатываемой системы, как повышение качества и эффективности решений по планированию ресурсов, открытость к поэтапному подключению планов новых подразделений, высокая оперативность, гибкость и производительность, надежность и живучесть, масштабируемость и интегрированность общей системы управления ресурсами, сокращает расходы на владение и сопровождение такой системой, а также уменьшает риски ее внедрения.

Примеры применений разработанного подхода для решения сложных задач в интересах РКК «Энергия», ОАО «РЖД», крупных машиностроительных и транспортных предприятий приведены в [17-19].

Один из ярких новых проектов, подтверждающих актуальность, новизну и значимость подхода – выигранный IP (комплексный проект) ARUM в Европейской ФП7 программе «Smart Factory» в команде с Айрбас, EADS и ведущими Европейскими университетами (Манчестер, Кельн, Прага и др.), специализирующимися на мультиагентных технологиях².

В этом проекте изложенный подход развивается в направлении создания сетевых систем для управления машиностроительными предприятиями в сочетании с расширением онтологий «на лету» в условиях, когда новое изделие еще ставится на поток и часто

² Информация по проекту ARUM есть на официальном сайте: www.arum-project.eu, а также на сайте EADS: http://www.eads.com/eads/int/en/news/press.20121105_eads_arum.html

возможны задержки поставок, неверная документация, недостаточные умения и опыт мастеров и рабочих – на этом этапе работа в режиме консенсуса приобретает особую актуальность и значимость.

В ходе проекта предполагается апробация и опытная эксплуатация разработанной системы как на одном из заводов *Airbus* в Гамбурге (Германия) и в компании по производству пищевого оборудования для самолетов *MGS* (подразделение *Jacobuchi*) в Италии, так и на одной из судовой верфей Германии.

Заключение

В настоящей работе предлагаются принципы создания интеллектуальных систем для ситуационного управления ресурсами предприятий в реальном времени на основе формирующейся теории интересубъективного управления [3].

Предложен мультиагентный подход к построению рассматриваемых систем, связанный с переходом к автономному циклу управления ресурсами, включающему реакцию на события, распределение и планирование ресурсов, оптимизацию решения (при наличии времени), согласование с пользователями, мониторинг и контроль выполнения построенного плана, а также перепланирование при расхождении плана и факта – циклу, присущему любым живым организмам.

Направления дальнейших исследований и разработок будут связаны с развитием принципов достижения консенсуса в ситуационном управлении, созданием сетевых систем для поддержки механизмов принятия и согласования решений на основе развития логики и протоколов взаимодействия для виртуального «круглого стола», использование онтологий, обучение на основе опыта, а также переход к высокопроизводительным вычислениям в облачных приложениях.

Благодарности

Выражаю признательность членам Редколлегии и коллегам, высказавшим замечания и давшим рекомендации по улучшению данной статьи.

Список источников

- [1] *Портер, М.М.* Международная конкуренция / М.М. Портер. - М.: Междунар. отношения, 1993.
- [2] *Виттих, В.А.* Ситуационное управление с позиций постнеклассической науки / В.А. Виттих // *Онтология проектирования*. – 2012. - № 2. – С. 7-15.
- [3] *Виттих, В.А.* Введение в теорию интересубъективного управления / В.А. Виттих – Самара: СамНЦ РАН, 2013. – 64 с.
- [4] *Виттих, В.А.* Принятие решений на основе консенсуса с применением мультиагентных технологий / В.А. Виттих, Т.В. Моисеева, П.О. Скобелев // *Онтология проектирования*. – 2013. - №2.
- [5] Московский международный форум инновационного развития «Открытые инновации 2012» <http://2012.forinnovations.org/ru/> - актуально на 22.06.2013 г.
- [6] *Клок, К.* Конец менеджмента и становление организационной демократии / К. Клок, Дж. Голдсмит. – СПб.: Питер, 2004.
- [7] *Koestler, A.* The Ghost in the Machine / A. Koestler. – London: Arcana books. – 1989.
- [8] *Смирнов, С.В.* Онтологии как смысловые модели / С.В. Смирнов // *Онтология проектирования*. – 2013. - №2.
- [9] *Виттих, В.А.* Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах / В.А. Виттих, П.О. Скобелев // *Автоматика и телемеханика*. – 2003. - №1. – С. 177-185.

- [10] **Виттих, В.А.** Метод сопряженных взаимодействий для управления ресурсами в реальном времени / В.А. Виттих, П.О. Скобелев // Автометрия. – 2009. - № 2. – С. 78-87.
- [11] **Николис, Г.** Самоорганизация в неравновесных системах: от диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. / Г. Николис, И. Пригожин – М.: Мир, 1979. – 512 с.
- [12] **Küppers, G.** Self-organization – The Emergence of Order. From local interactions to global structures / G. Küppers – <http://www.unibielefeld.de/iwt/sein/paper>
- [13] Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis / Edited by J. Y-T. Leung. - Chapman & Hall - CRC Computer and Information Science Series. – 2004.
- [14] **Stefan, V.** Meta-heuristics: The state of the Art / V. Stefan // Local Search for Planning and Scheduling. Edited by A. Nareyek // ECAI 2000 Workshop (Germany, August 21, 2000). - Springer-Verlag, Germany, 2001.
- [15] **Скобелев, П.О.** Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени / П.О.Скобелев // Онтология проектирования. – 2012. - № 1. – С. 6-38.
- [16] **Скобелев, П.О.** Сетевцентрический подход к созданию больших мультиагентных систем для адаптивного управления ресурсами в реальном времени / П.О. Скобелев П.О., А.В. Царев // Материалы международной научно-практической мультиконференции «Управление большими системами». Т.3. - М., 2011. – С. 263-267.
- [17] **Скобелев, П.О.** Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем / П.О. Скобелев // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2010. - №12. – С. 33-46.
- [18] **Skobelev, P.** Multi-Agent Systems for Real Time Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling: Industrial Application / P. Skobelev // 10-th Intern. Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems(HoloMAS 2011). France, Toulouse.2011. Springer. – P. 5-14.
- [19] **Скобелев, П.О.** Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития / П.О. Скобелев // Приложение к журналу «Информационные технологии». – 2013. - №1. – С. 1–32.



Скобелев Петр Олегович, 1960 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва в 1983 г., д.т.н. (2003). Ведущий научный сотрудник Института проблем управления сложными системами РАН, профессор кафедры «Инженерия знаний» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, учредитель, президент и генеральный конструктор Группы компаний «Генезис знаний». В списке научных трудов более 100 статей, 7 учебных пособий, 3 патента по мультиагентным системам для решения сложных задач в области логистики, понимания текстов, извлечения знаний и др.

Skobelev Petr Olegovich (b. 1960) graduated from the Korolyov Aerospace Institute (Kuibyshev-city) in 1983, D. Sc. Eng. (2003). Lead scientist at Institute for the Control of Complex Systems of the Russian Academy of Sciences, holding a part-time position of professor at Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics Knowledge Engineering sub-department, owner, president and chief constructor of Knowledge Genesis Group of companies. He is co-author of more than 100 publications, 3 patents, 7 textbooks in multi-agent systems for solving complex problems the domain of real time logistics, text understanding, data mining and other.