

Самарский университет

Самарский государственный технический университет

Жиляев Алексей Александрович

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ПОСТРОЕНИЯ «ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ» ПРОЦЕССОВ
УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЙ
И МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 05.13.01 – «Системный анализ, управление
и обработка информации (промышленность)»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук,
Скобелев Петр Олегович

Самара – 2021 год

Актуальность

- ▶ Понятие «цифрового двойника» активно входит в науки об управлении и обработки данных благодаря конвергенции кибер-физических систем и компьютерных моделей объектов.
- ▶ Первые ЦД были посвящены техническим объектам, но в последнее время начали создаваться ЦД процессов управления предприятиями, включающие процессы распределения, планирования и контроля использования ресурсов.
- ▶ Цифровой двойник (ЦД) процессов управления предприятия (далее «ЦД предприятия») – интеллектуальная кибер-физическая система (ИКФС), обеспечивающая:
 - планирование и моделирование работы предприятия;
 - синхронизацию по событиям реального времени;
 - автономную работу параллельно с реальным объектом.
- ▶ Однако, с ростом сложности и размерности задач планирования и моделирования, решение которых критически важно для создания ЦД предприятий, применение известных классических и эмпирических моделей, методов и средств становится затруднительным:
 - управление ресурсами предприятия ведется в реальном времени;
 - необходимо учитывать все больше требований предметной области бизнеса предприятия;
 - процесс разработки таких систем весьма сложный, длительный и дорогой.
- ▶ В этой связи становится актуальной задача разработки методов и средств, позволяющих создавать ЦД предприятий "на потоке", т.е. делать это быстрее и дешевле.
- ▶ Решение поставленной задачи призвано повысить эффективность использования ресурсов, а также уменьшить трудоемкость, стоимость и сроки создания систем управления ресурсами.

Цели и задачи исследования

Цель исследования: разработка методов и средств построения «цифровых двойников» процессов управления предприятиями на основе онтологий и мультиагентных технологий для повышения оперативности управления ресурсами и сокращения трудоемкости, стоимости и сроков создания «цифровых двойников» предприятий.

Задачи исследования:

- ▶ Выполнить системный анализ особенностей задачи управления производственными ресурсами, которые должны учитываться при создании ЦД предприятий.
- ▶ Разработать базовую онтологию управления ресурсами и методику построения онтологических моделей ЦД предприятий, позволяющую учитывать особенности предметной области предприятия при планировании его деятельности.
- ▶ Модифицировать базовые классы агентов ПВ-сети и протоколы их взаимодействия для решения задачи поиска баланса интересов (консенсуса) агентов при возникновении событий рассогласования состояния ЦД и реального предприятия.
- ▶ Разработать комплекс инструментальных средств для автоматизации процесса создания программных компонент ЦД предприятий на основе онтологий и мультиагентных технологий.
- ▶ Провести апробацию разработанных методов и средств построения ЦД в задачах управления ресурсами различных предприятий.

Научная новизна

- ▶ Предложена методика построения ЦД предприятий в виде ИКФС, синхронизируемых с реальным предприятием по событиям в реальном времени, позволяющая повысить оперативность управления и сократить сроки создания ЦД.
- ▶ Разработана базовая онтология управления ресурсами для создания онтологических моделей предприятий, позволяющих настраивать ЦД на специфику производственного предприятия без перепрограммирования.
- ▶ Модернизирована модель ПВ-сети за счет введения новых классов онтологически-настраиваемых агентов и методов (протоколов) их взаимодействия для автоматизации процессов создания ЦД предприятий.
- ▶ Разработаны инструментальные средства построения ЦД предприятий позволяющие создавать и развивать ЦД пользователями-непрограммистами.
- ▶ На основе разработанного инструментального комплекса впервые созданы прикладные ЦД для различных предприятий.

Практическая значимость

Результаты работы позволяют:

- ▶ решить сложные задачи управления ресурсами предприятий, в частности задачи управления сборкой самолетов и электромобилей, бурением скважин, целевым применением группировки космических аппаратов и выращиванием посевов сельскохозяйственных культур;
- ▶ снизить трудоемкость, стоимость и сроки разработки и эксплуатации ЦД предприятий;
- ▶ обеспечить открытость создаваемых ЦД процессов управления предприятиями за счет расширения предметных онтологий и модификации онтологических моделей предприятий;
- ▶ повысить оперативность, гибкость и эффективность управления ресурсами, а также снизить риск возникновения ошибок, связанных с человеческим фактором;
- ▶ повысить коэффициент использования программных компонент при разработке новых ЦД процессов управления предприятиями.

Положения, выносимые на защиту

- ▶ Методика построения ЦД процессов управления предприятиями в виде ИКФС управления ресурсами, синхронизируемых по событиям.
- ▶ Базовая онтология управления ресурсами ЦД для построения онтологических моделей предприятия.
- ▶ Унифицированная МАС, расширенная новыми классами агентов и протоколами их взаимодействия в ЦД, обеспечивающая настройку на предметную область посредством загрузки онтологической модели предприятия.
- ▶ Комплекс инструментальных средств для автоматизации процесса создания программных компонент ЦД предприятий.
- ▶ Прототипы ЦД предприятий для:
 - управления целевым применением группировки космических аппаратов ДЗЗ,
 - управления агрегатно-сборочным производством самолетов;
 - управления машиностроительным предприятием по сборке электромобилей;
 - управления бурением нефтяных скважин;
 - управления выращиванием посевов сельскохозяйственных культур.

Соответствие паспорту специальности

05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации»

В области формализации и постановки задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решения и обработки информации:

- проведение анализа особенностей задачи управления производственными ресурсами, которые должны учитываться при создании ЦД предприятий;
- разработка базовой и прикладных онтологий управления ресурсами ЦД;

В области разработки методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации:

- разработка методики построения онтологической модели предприятия для решения задач управления ресурсами;
- разработка новых классов агентов и протоколов их взаимодействия ПВ-сети, обеспечивающих решение задачи построения консенсуса агентов и их настройки на предметную область посредством онтологической модели предприятия;

В области разработки проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических объектов:

- разработка комплекса инструментальных средств для автоматизации процесса создания ЦД предприятий на основе онтологий и мультиагентных технологий;
- разработка прототипов ЦД управления ресурсами для различных предприятий.

Апробация работы

Участие в конференциях

- ▶ XVI, XVIII, XIX Международные конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара (2014, 2016, 2017)
- ▶ International Conference on Complex Systems in Business, Administration, Science and Engineering, New Forest, UK (2015);
- ▶ VII, VIII, X всероссийская мультikonференция по проблемам управления, Санкт-Петербург, Геленджик (2014, 2015, 2017);
- ▶ International Symposium «Intelligent Systems», Moscow (2016);
- ▶ X, XII International Conference on Agents and Artificial Intelligence, Portugal, Malta (2018, 2020);

Основные публикации

- ▶ По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ, из них 5 публикаций в журналах, рекомендованных ВАК, 6 публикаций в изданиях, индексируемых в Scopus, 9 работ в трудах международных и всероссийских конференций;
- ▶ Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

Реализация результатов работы

В прикладных научных исследованиях:

- ▶ Проект Минобрнауки РФ 14.578.21.0230 «Разработка интеллектуальной сервис-ориентированной платформы и технологии динамического планирования задач на малых космических аппаратах для предоставления услуг по запросу пользователей в реальном времени»
- ▶ Проект Минобрнауки РФ 05.604.21.0224 «Разработка принципов построения и моделей, методов и средств функционирования интеллектуальной кибер-физической системы для управления сельскохозяйственным предприятием точного земледелия на основе цифрового двойника растений»

При проектировании и разработке ЦД:

- ▶ управления сборкой самолета МС-21 в ПАО «Иркут» (Иркутск)
- ▶ управления сборкой грузовых электромобилей для ООО «ТРА» (СПб)
- ▶ управления группировкой КА ДЗЗ для АО "ВНИИЭМ" (Москва)
- ▶ управления бурением нефтяных скважин для ООО «Газпромнефть-Ямал»;
- ▶ управления выращиванием посевов с/х культ ур для АО "Рассвет" (Ростовская область).

В учебном процессе:

- ▶ Самарского университета в курсе «Современные технологии навигации и управления в космосе» для подготовки магистров по направлению 24.04.01.

Цифровой двойник предприятия

- ЦД предприятий (Digital Twin): путь от цифровых теней – до «Умных ЦД», включая Adaptive, Smart и Cognitive Digital Twins на основе традиционных мат. моделей, нейронных сетей и машинного обучения.
- В настоящей работе ЦД строится как автономная ИКФС на основе онтологий и мультиагентных технологий, которая минимизирует рассогласование планов реального и виртуального предприятий:

$$S_{twin} = \{s_i\},$$

$$s_i = \{model_i, plan_i, kpi_i\}$$

$$D(S_{real}^{(k)}, S_{twin}^{(k)}) \rightarrow 0$$

$$S_{twin}^{(k+1)} = F(S_{twin}^{(k)}, Event^{(k)})$$

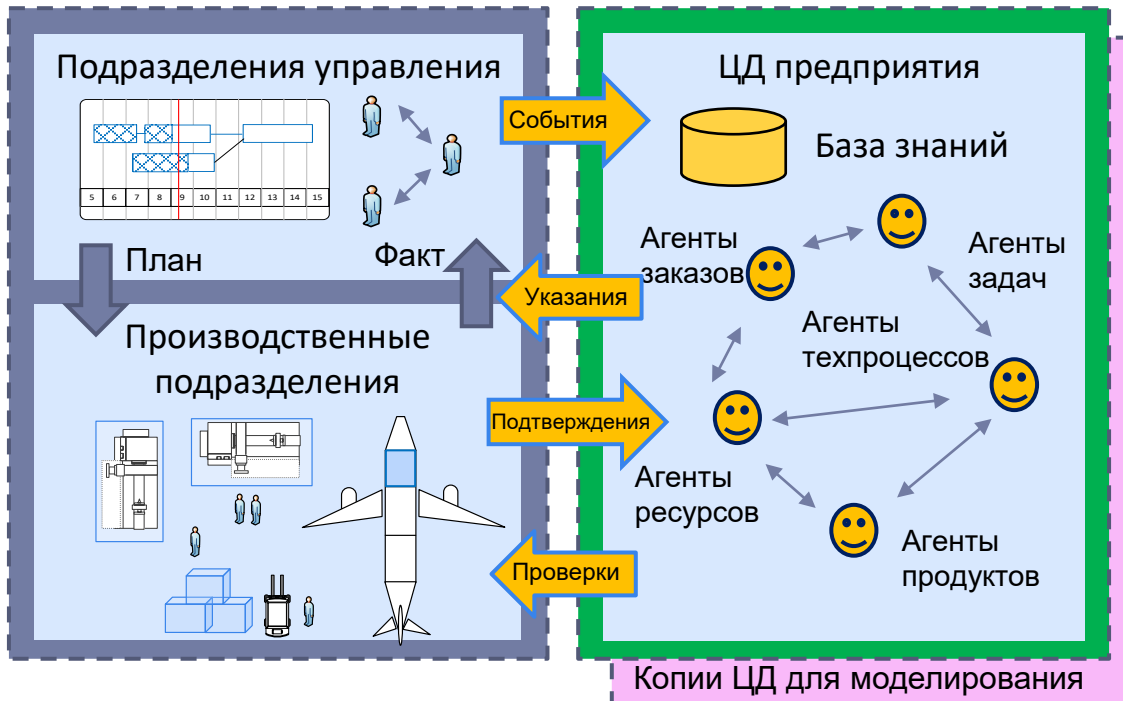
S_{twin} - состояние ЦД

S_{real} - состояние предприятия

s_i - состояние i -го объекта
производственного процесса

D – степень различия состояний;

F – функция, перестраивающая
состояние в ответ на событие $Event$.



Функции ЦД предприятия:

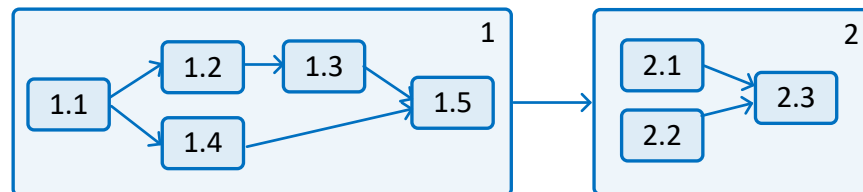
- Описывает организацию предприятия (отделы);
- Задаёт бизнес-процессы или технологические процессы;
- Ведёт реестр описаний классов задач каждого процесса;
- Специфицирует продукцию и ресурсы для исполнения каждой задачи;
- Строит планы работы предприятия до уровня каждого сотрудника и контролирует их исполнение;
- Позволяет моделировать варианты действий (клоны);
- Оценивает эффективность действий предприятия.

Уточнение постановки задачи ЦД управления ресурсами предприятия

1. Известно множество заказов, для которых указаны: а) момент поступления б) директивный срок завершения в) технологический или бизнес процесс (ТП/БП) выполнения, в виде многоуровневой иерархически заданной последовательности задач.

2. Для каждой задачи ТП/БП указаны:

- ▶ продолжительность или объем;
- ▶ требования к ресурсам;
- ▶ зависимости от других задач.



3. Задано множество ресурсов с указанием их характеристик, графика доступности и производительности.

4. Вводится событие: а) новый заказ б) новый ресурс в) ресурс недоступен г) заказ отозван.

5. Требуется выполнить адаптивный пересчет порядка и моментов начала и окончания задач, распределив необходимые для их выполнения ресурсы в соответствии с критериями:

- ▶ минимизация задержки выполнения заказов;
- ▶ повышение загрузки ресурсов;
- ▶ уменьшение времени хранения изделий и материалов и других, состав которых может меняться.

Можно было бы классифицировать данную задачу как близкую известной задаче RCPSP для построения расписания выполнения работ проекта (*Resource-Constrained Project Scheduling Problem*). Но здесь заказы поступают в реальном времени и требуется адаптивный пересчет расписаний, вместо одного критерия центра есть множество индивидуальных критериев, предпочтений и ограничений участников процесса, а также планирование новых задач сочетается с контролем их исполнения.

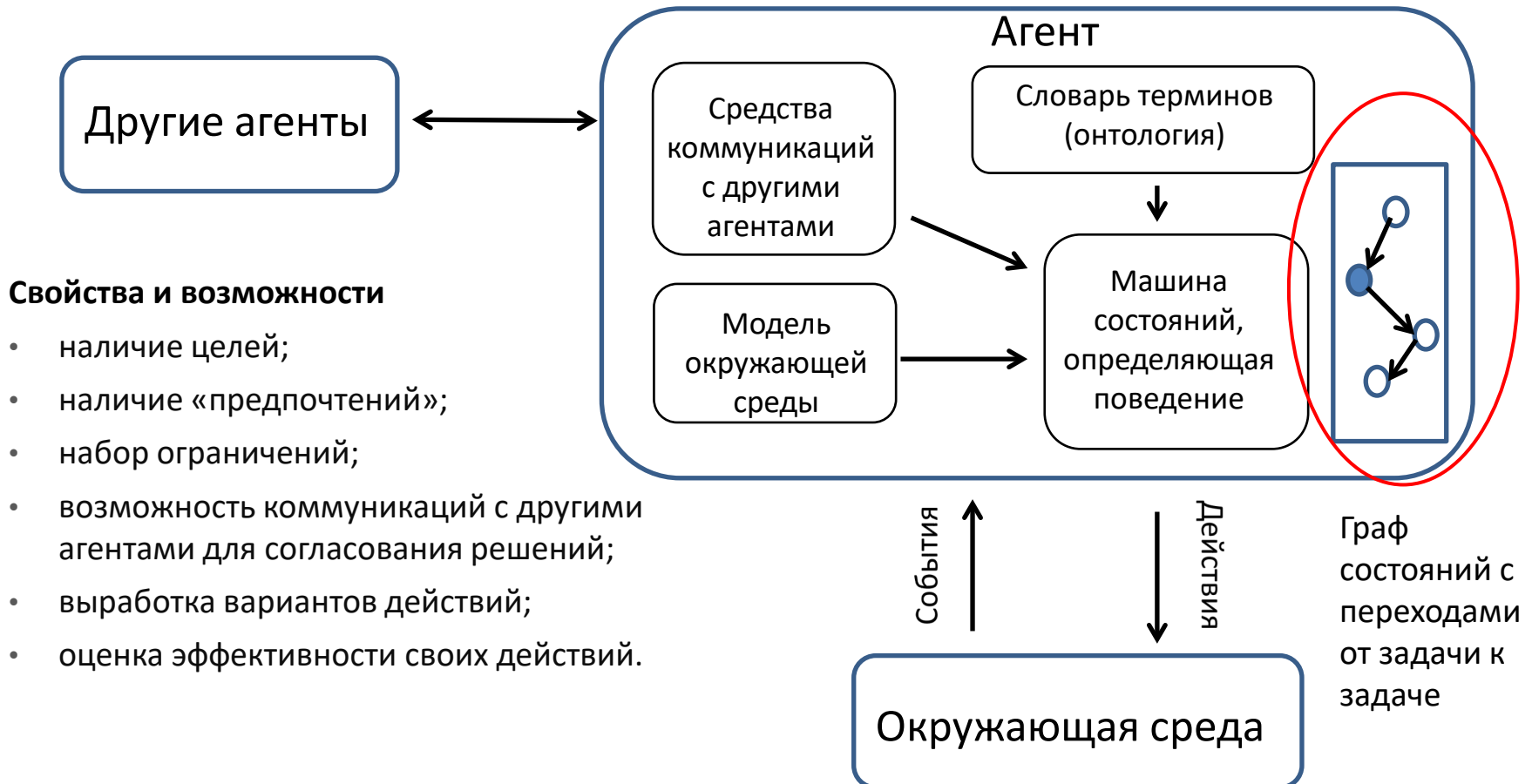
Выбор технологий для создания ЦД предприятий

Классическая оптимизация		Нейронные сети		База знаний и МАС	
Преимущества	Недостатки	Преимущества	Недостатки	Преимущества	Недостатки
Достижение глобального оптимума по одной целевой функции	Ориентация на интересы центра – не подходит для учета и поиска баланса интересов (консенсуса)	Подходит для решения узких задач распознавания образов	Требует долгого обучения и полной выборки массивов обучающих данных	Решает сложные задачи управления ресурсами путем разбора конфликтов	Высокая сложность и трудоемкость разработки начального решения
Один хорошо изученный метод (алгоритм) для решения любых задач планирования и оптимизации ресурсов	Высокая вычислительная сложность комбинаторного перебора вариантов	Дает устойчивое решение при наличии ошибок в данных, помех и шумов	При изменении ситуации во внешней среде надо начинать обучение заново, трудно определить наступление этого момента	Возможность развития и учета индивидуальных особенностей заказов и ресурсов	При изменении ситуации во внешнем мире требует коррекции базы знаний и/или изменения состава агентов
Возможность купить готовый программный продукт на рынке	Невозможность работы по событиям в адаптивном режиме, что требуется для синхронизации реального и цифрового предприятия	Возможность купить готовый программный продукт на рынке	Не работает в адаптивном режиме по событиям	Может работать в адаптивном режиме для быстрого ответа на событие и синхронизации с реальным предприятием	Усложнение диалога с пользователем (проактивность, встречные предложения и т.д.)
Легко встраиваются в существующие бизнес-процессы	Большая трудность настройки на решение практических задач	Позволяет использовать накопленные исторические данные предприятия	Трудность настройки на решение практических задач	Учет семантики предметной области предприятия в базе знаний	Трудности внедрения за счет смены бизнес-процессов и регламентов

ВЫВОД: Технологии баз знаний и мультиагентных систем наиболее подходят для создания ЦД предприятий

Мультиагентные технологии для создания ЦД

- ▶ **Мультиагентная система (серед. 80-х)** – это сообщество автономных программных объектов (агентов), совместно решающих общую задачу через взаимодействия (М. Вулдридж, Г. Ржевский, В. Городецкий и др.)
- ▶ **Самарская школа МАС (1999)** – базируется на концепции ПВ-сети и виртуального рынка (Виттих-Скобелев-2003, Клейменова-2014, Лахин и Майоров-2017, Лада-2019), взаимодействия строятся через аукционно-подобные методы конкуренции и кооперации, но онтологии использовались только для матчинга агентов.



Построение онтологической модели предприятия

Постановка задачи

- Провести системный анализ требований, предъявляемых к решению задач управления ресурсам предприятия и выделить базовые понятия и отношения онтологии «Управление ресурсами»
- Разработать подход, позволяющий строить прикладные онтологии для групп однотипных предприятий
- Развить подход до уровня онто-спецификаций каждой задачи для настройки агентов предприятия.
- Модифицировать базовые классы агентов ПВ-сети таким образом, чтобы онтологическая модель могла использоваться для порождения классов и экземпляров агентов под заданное предприятие.

Результаты анализа задач управления ресурсами предприятия

1. Выделены типы понятий и отношений построения ЦД предприятий

Обл. определения	Отношение	Область значений
Заказ	Требует создания	Производимый продукт
Задача	Является частью	Групповая задача
	Следует за	Задача
	Использует	Ресурс / требование к ресурсу
	Производит	Производимый продукт
	Потребляет	Потребляемый продукт
Ресурс	Доступен	График доступности
Обеспечивающий ресурс	Входит в	Группа ресурсов
	Соединен с	Обеспечивающий ресурс / группа ресурсов
	Требует обслуживания	Правило обслуживания
	Требует переналадки	Правило переналадки

2. Выделены базовые типы задач

Атомарная	Продолжительность фиксирована
	Продолжительность зависит от состава и характеристик используемых ресурсов и/или объема выпускаемого продукта
Групповая	Продолжительность «покрывает» интервалы выполнения дочерних задач (атомарных или групповых)
Гамак	Выполняется строго между моментами времени окончания задач предшественников и началом задач-последователей

3. Выявлены базовые типы ресурсов

Преобразуемый	Тратится при выполнении задачи, может быть восполнен согласно графику поставок
Обеспечивающий	Становится доступными для повторного использования в прежнем количестве сразу после завершения задач, на которые был выделен

Методика создания онтологической модели предприятия

- ▶ Для описания объекта управления задается набор онтологий: $O = \langle C, R, \Phi \rangle$, где:
 - C – множество понятий;
 - R – множество атрибутов и отношений (n -местных предикатов);
 - Φ – множество функций семантической обработки интерпретации, заданных на множестве R .

1. Выделяется базовая онтология управления ресурсами O_{plan}

$$\begin{aligned}C_{plan} &= \{Order, Product, Task, Resource\} \\R_{plan} &= \{create, consume, produce, partof, follow, connected, require, stored, consist\ of\} \\&\forall_x \exists_y (Order(x) \rightarrow Product(y) \wedge create(x, y)) \\&\forall_x \exists_y (ProducedProduct(x) \rightarrow Product(x) \wedge Task(y) \wedge produce(y, x)) \\&\forall_x \exists_y (GroupTask(x) \leftrightarrow Task(x) \wedge Task(y) \wedge partof(y, x)) \\&\forall_{x,y} (require(x, y) \rightarrow Task(x) \wedge Resource(y))\end{aligned}$$

2. Базовая онтология расширяется онтологией предметной области предприятия: $O_{domain} \supseteq O_{plan}$

$$\begin{aligned}\forall_x (Resource(x) \rightarrow Equipment(x) \vee Tool(x) \vee Employee(x)) \\ \forall_{x,y} (hasCompetence(x, y) \rightarrow Employee(x) \wedge Competence(y))\end{aligned}$$

3. На основе предметной онтологии строится онтологическая модель ЦД предприятия: $M = \{O_{domain}(O_{plan}), I\}$

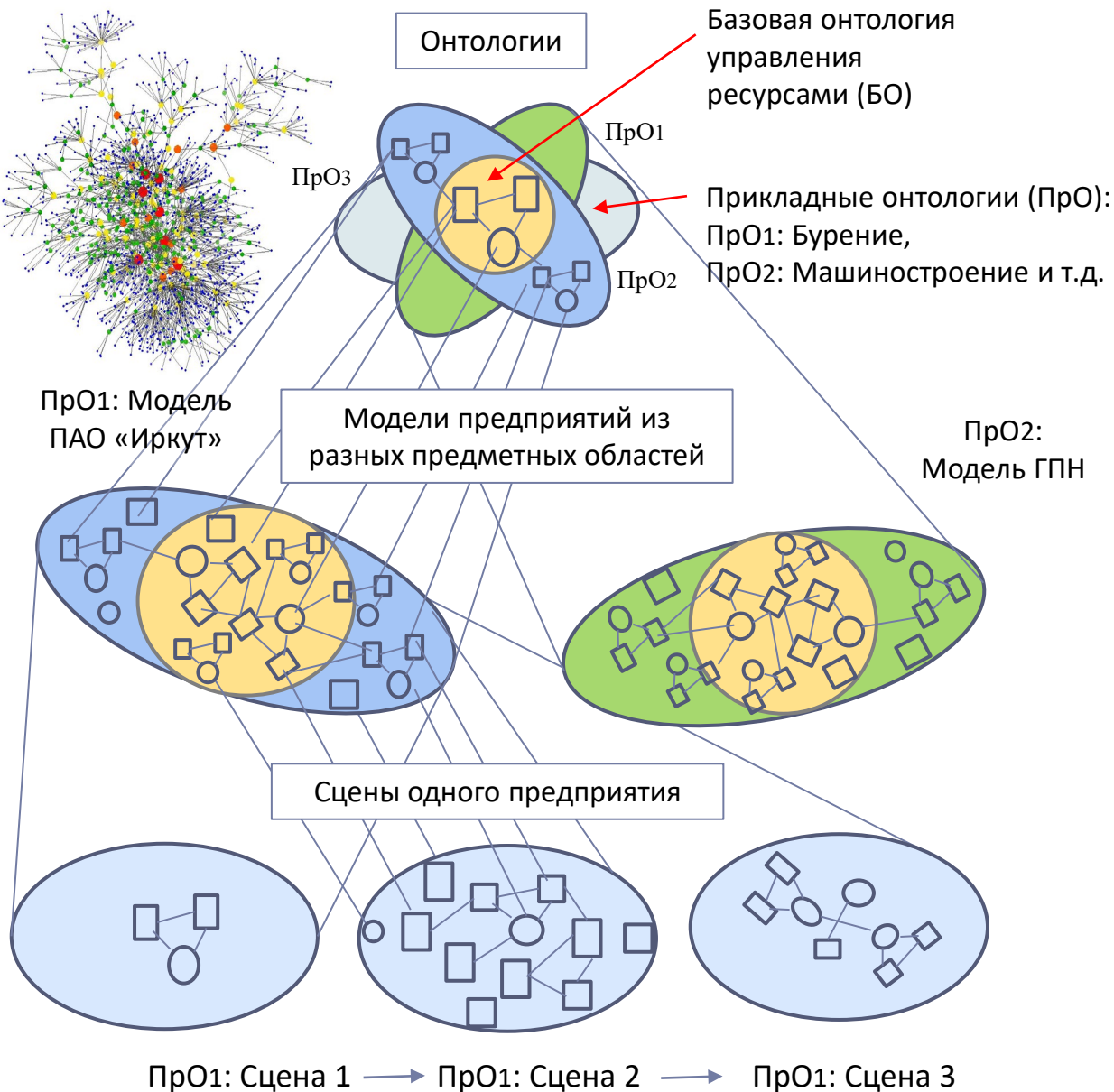
$$\begin{array}{ll}p_1 \in Process & partof(o_1, p_1) \\ \{o_1, o_2\} \subset Operation & partof(o_2, p_1) \\ pr_1 \in Profession & follow(o_2, o_1) \\ comp_1 \in Competence & \end{array}$$

$$require(o_1, x) \rightarrow Employee(x) \wedge hasProfession(x, pr_1) \wedge hasCompetence(x, comp_1)$$

4. Строится сцена предприятия S , которая содержит значения атрибутов всех экземпляров I для заданного момента времени t :

$$S = M(t)$$

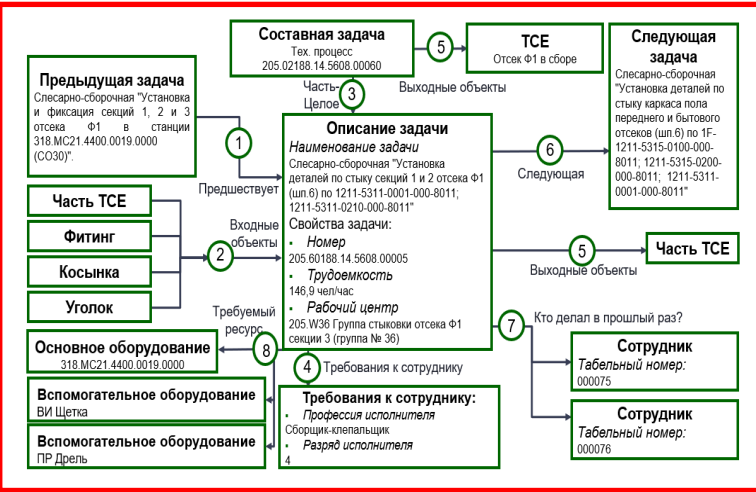
Онтологии – онтомодели предприятий – сцены



- ▶ **Базовая онтология «Управление ресурсами»** – формализованная модель знаний предметной области процессов управления
- ▶ **Прикладная онтология** – онтология предметной области предприятия на основе базовой онтологии управления
- ▶ **Онтологическая модель предприятия** – спецификация ресурсного состава предприятия на основе онтологий управления и предметной области
- ▶ **Сцена предприятия** – состояние объектов и процессов предприятия в заданный момент времени

Примеры базовой и прикладных онтологий

Пример сборочной операции в «Иркут»



Онтология управления ресурсами

Прикладная онтология

Машиностроение



Бурение



На основе прикладных онтологий строятся онтологические модели предприятий соответствующих отраслей

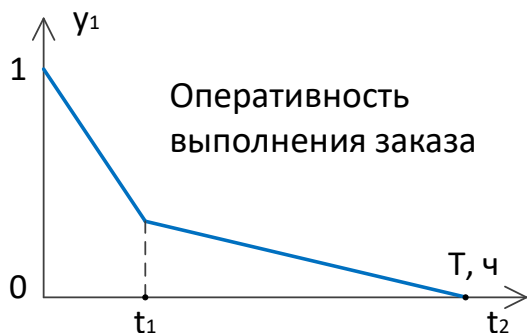
Базовые классы агентов ЦД для управления ресурсами предприятия

Тип	Цели и предпочтения	Ограничения
Агент заказа	<p>Быть выполненным с минимальной задержкой (c) и стоимостью (p):</p> $Y_i = w_1 \left(1 - \frac{c}{c_{кр}}\right) + w_2 \left(1 - \frac{p}{p_{кр}}\right)$	Сроки, объем, предельная стоимость
<p>Агент задачи:</p> <ul style="list-style-type: none"> • групповой • атомарной 	<p>Быть выполненным на подходящем ресурсе в указанные сроки за минимальное время ($\tau_i = finish_i - start_i$):</p> $Y_i = \begin{cases} 1, & \tau_i < \tau_{опт} \\ \frac{\tau_i - \tau_{кр}}{\tau_{опт} - \tau_{кр}}, & \text{иначе} \end{cases}$	Характеристики требуемых ресурсов и продуктов, сроки начала и окончания, взаимосвязи с другими задачами
Агент ресурса	<p>Быть максимально загруженным, минимизировать простои и переналадки:</p> $Y_i = \begin{cases} 0, & u_i < u_{кр} \\ \frac{u_i - u_{кр}}{u_{опт} - u_{кр}}, & \text{иначе} \end{cases}, \text{ где } u_i - \text{утилизация ресурса } i$	Календарь работы, интервалы недоступности, правила обслуживания и переналадки, производительность
Агент продукта	<p>Обеспечить свое хранение, минимизировать время между производством и потреблением (e):</p> $Y_i = 1 - \frac{e_i}{e_{кр}}$	Требования по хранению, время поставки или производства, время потребления
Агент системы (предприятия в целом)	Выявление «узких мест» в расписании, управление активностью агентов системы, взаимодействие с внешними системами	Время, отводимое на планирование, глубина цепочек перестановок в расписании

Функции удовлетворенности и бонусов агентов

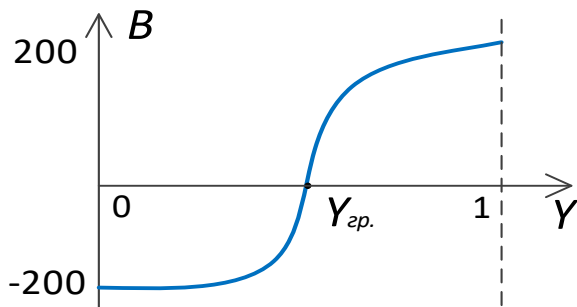
Функции удовлетворенности

$$Y_i = \sum_{j=1}^M w_{ij} y_{ij}, \quad 0 \leq w_{ij} \leq 1$$
$$\sum_{j=1}^M w_{ij} = 1 \quad \forall i$$



Функция бонусов и штрафов

$B_i(Y_i)$



Удовлетворенность агента

- ▶ В основе работы системы лежит «виртуальный рынок», на котором агенты заказов могут покупать услуги ресурсов.
- ▶ При этом состояние агента характеризуется степенью удовлетворенности (свертка по критериям) и наличием финансовых ресурсов для улучшения удовлетворенности.
- ▶ Чем ближе состояние к требуемому идеалу, тем выше показатель удовлетворенности агента и тем больше система премирует агента.
- ▶ Виртуальные деньги при этом играют роль «энергии» для установки и перестройки связей.

Бонусы и штрафы агента

- ▶ При входе в систему агент получает сумму по тарифу на счет для приобретения услуг ресурсов.
- ▶ Бюджет расходуется агентом на поиск решения и дальнейшую перестройку расписания для улучшения уровня удовлетворенности.

Решение конфликтов

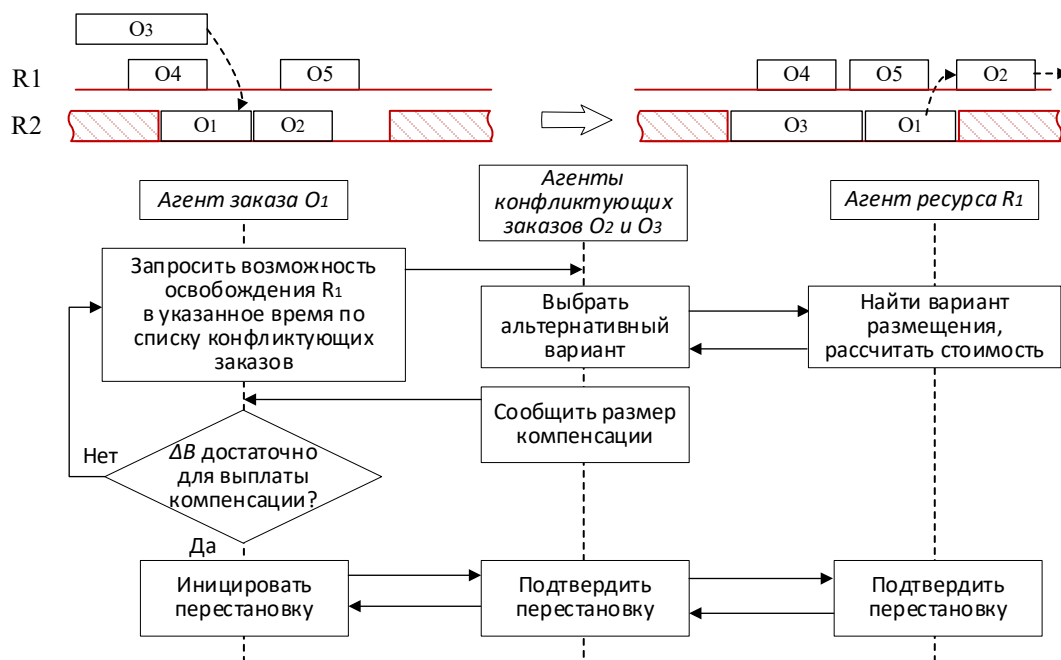
- ▶ В случае конфликта один агент может предложить другому компенсацию за уступку своего места в плане.
- ▶ Второй агент уйдет из конфликта и освободит свое место если только сумма ухудшений будет меньше чем сумма улучшений для системы в целом.

Метод принятия решений агентами при разборе конфликтов и поисках консенсуса

- Цепочка перестановок считается успешной, если агент активного заказа a_k может компенсировать потери всем конфликтующим агентам $\{a_i \mid i \neq k, plan'_k \cap plan_i \neq \emptyset\}$ за счет достигаемого прироста ΔB_k
- Процесс перестройки завершается по условию достижения «конкурентного равновесия» (консенсуса):

$$\Delta B_k \geq \sum_{i \neq k}^n \Delta B_i$$

$$\Delta B_k + \sum_{i \neq k}^n \Delta B_i < 0 \quad \forall_k$$



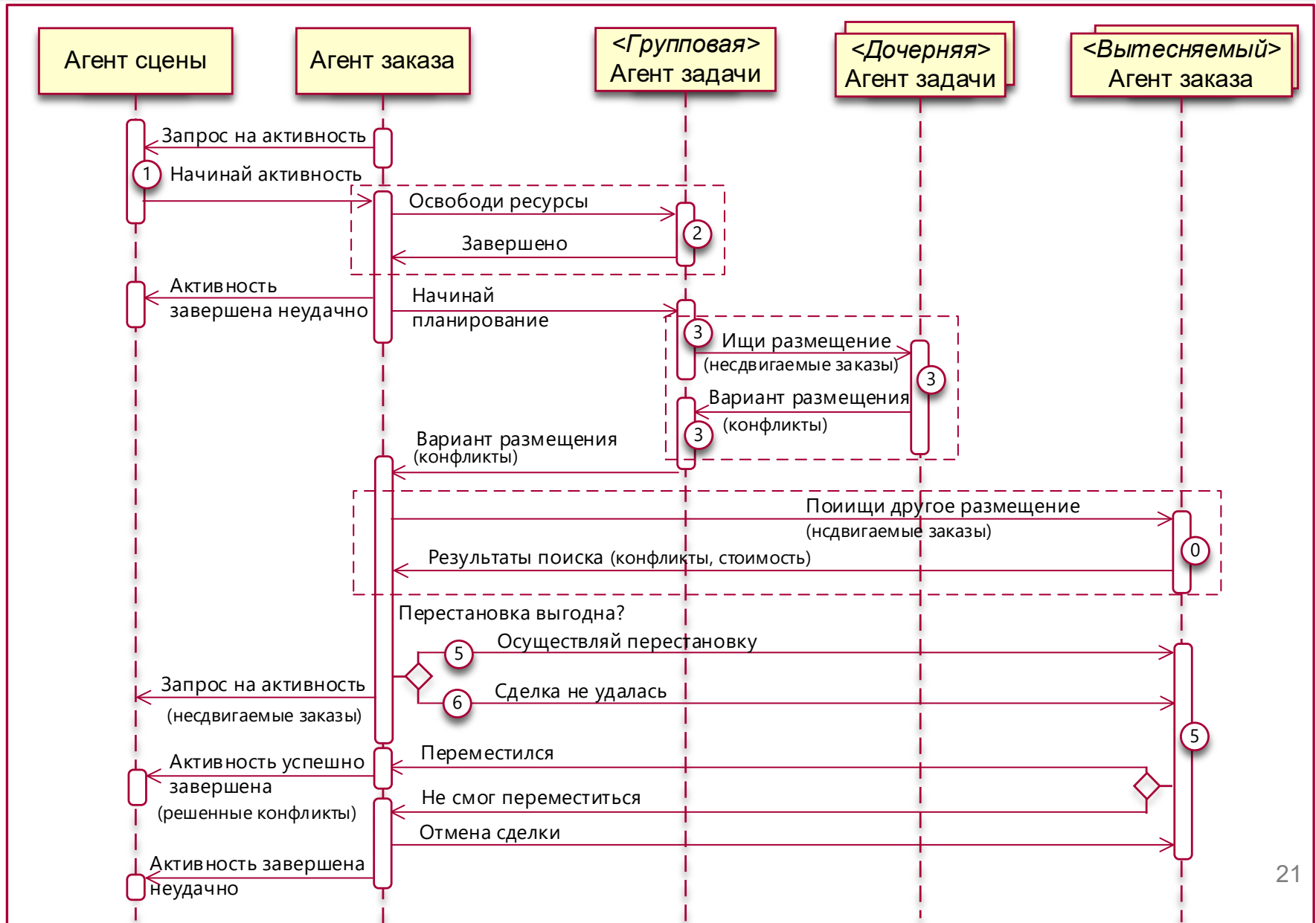
Типы базовых операций:

- размещение задачи на свободном участке:
 $\Delta B_{task} + \Delta B_{resource} > 0;$
- обмен задачами $task_1 \leftrightarrow task_2$ между ресурсами $resource_1 \leftrightarrow resource_2$:
 $\Delta B_{task_1} + \Delta B_{task_2} + \Delta B_{resource_1} + \Delta B_{resource_2} > 0;$
- вытеснение менее выгодных задач из расписания:
 $\Delta B_{task_1} + \Delta B_{task_2} + \Delta B_{resource} > 0;$
- перестановка (сдвиг) задач при наличии конфликтов:
 $\sum_{t \in \{tasks\}} \Delta B_t + \sum_{r \in \{resources\}} \Delta B_r > 0.$

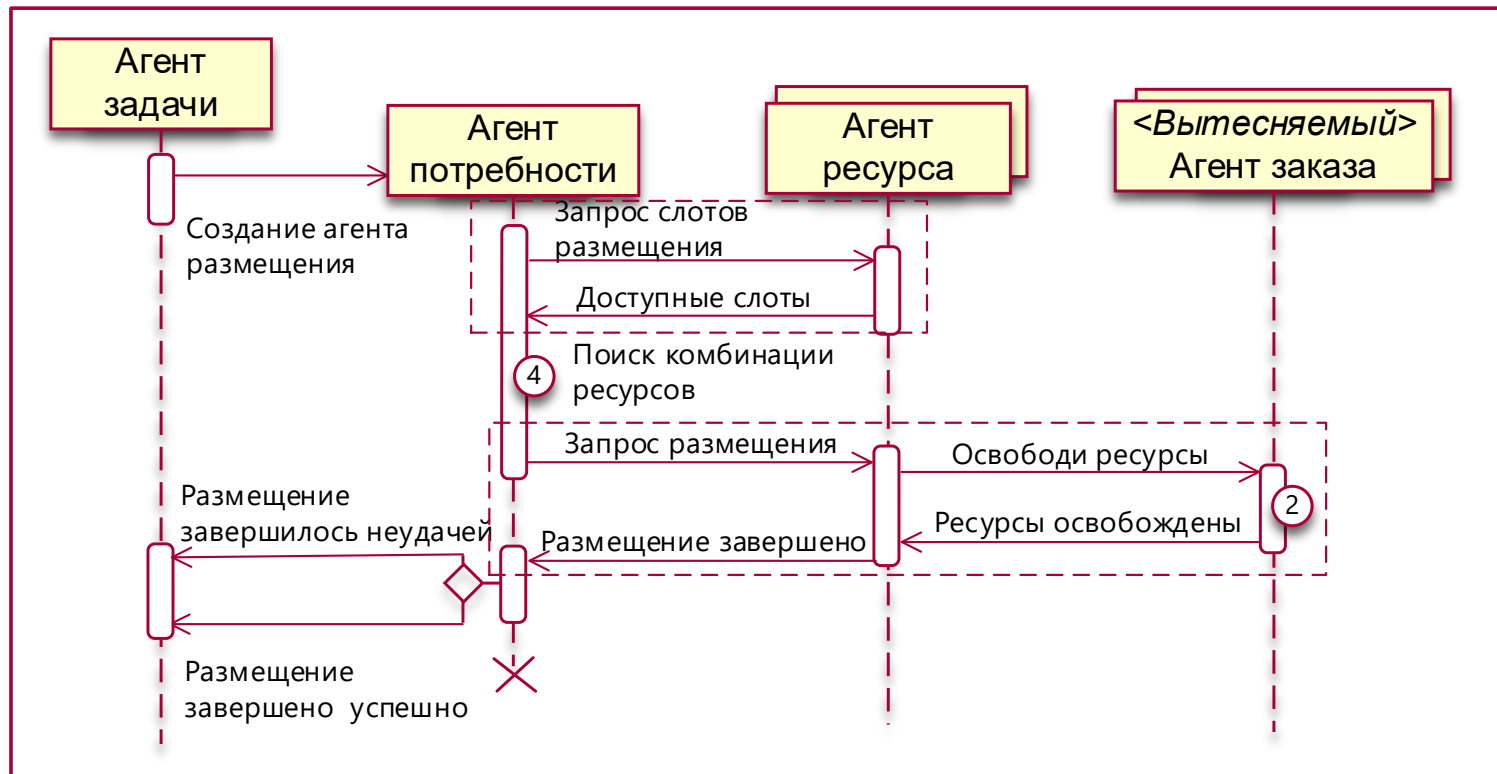
Онтологии для агентов позволяют:

- Сократить перебор вариантов через разбор конфликтов по отношениям Про (семантике);
- Автоматически настраивать агентов на онтологическую модель предприятия и сократить сложность и стоимость разработки ЦД.

Модификация протоколов переговоров в ПВ-сетях (1/2)



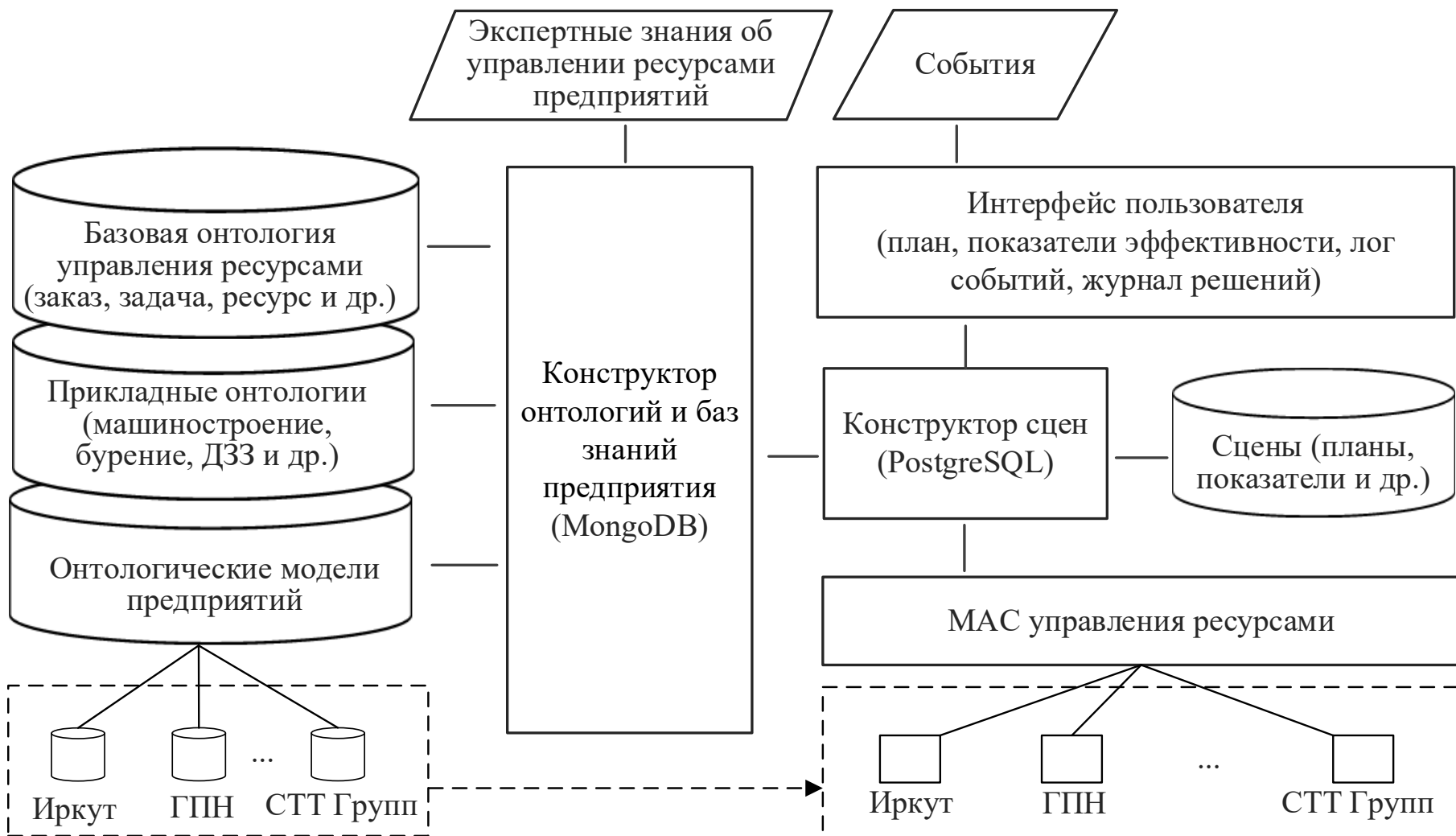
Модификация протоколов переговоров в ПВ-сетях (2/2)



Основные новые модификации:

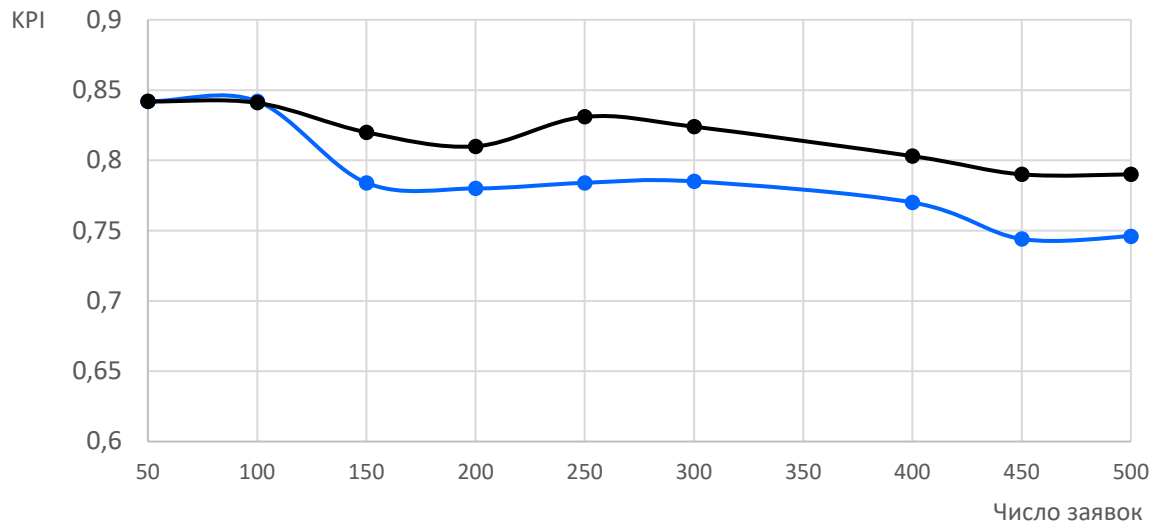
- ▶ Состав агентов ПВ-сети расширен унифицированными агентами групповой и атомарной задачи.
- ▶ Метод сопряженных взаимодействий расширен процедурами подбора комбинаций ресурсов и материалов на основе заданных в онтологии требований.
- ▶ Каждый агент заданного класса создает агента экземпляра и настраивается через зачитывание спецификации из базы знаний, построенной на основе прикладной онтологии.
- ▶ У каждого экземпляра агента введена своя функция удовлетворенности и бонуса-штрафов.

Структура комплекса для построения ЦД предприятий

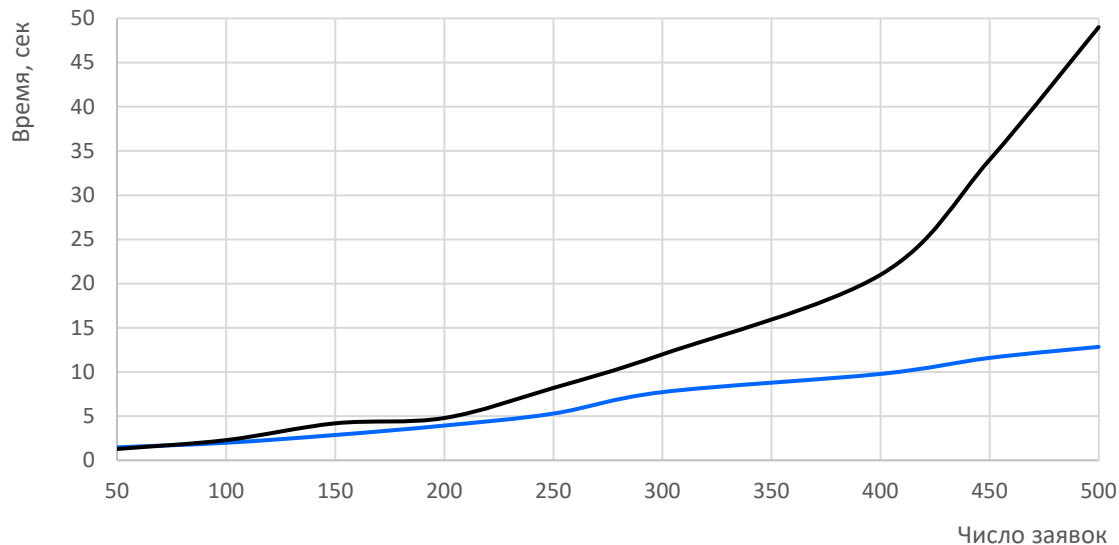


Исследование эффективности метода планирования

Сравнение качества построенного решения



Сравнение времени поиска решения



Постановка эксперимента:

1. Оценка метода проводилась на задаче планирования группировки КА ДЗЗ.
2. Ресурсы: 3 КА, 7 ППИ.
3. Число заявок на съемку увеличивалось с 50 до 500 с шагом в 50.
4. Результаты показали что при небольшой потере качества метод позволяет:
 - ускорить поиск решения;
 - обрабатывать большее число заявок;
 - обрабатывать заявки по событиям.

— МАТ
— Комбинаторный метод

Применения комплекса инструментальных средств (1/3)

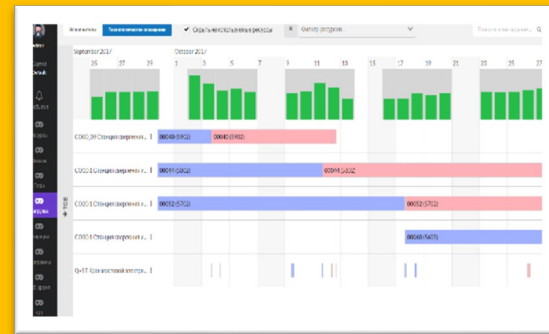
Управление агрегатно-сборочным производством самолета МС-21

Дано: заказы, ДСЕ агрегатов самолета и сроки их поступления, технологические процессы изготовления, данные о доступности рабочих и оборудования

Критерии:

- ▶ минимизация задержки выполнения заказов;
- ▶ минимизация количества используемых ресурсов:

База знаний: учет умений и навыков рабочих, хранения произведенных сборочных единиц в буферах-накопителях, изменения количества одновременно работающих специалистов, возможности брака в процессе изготовления и др.



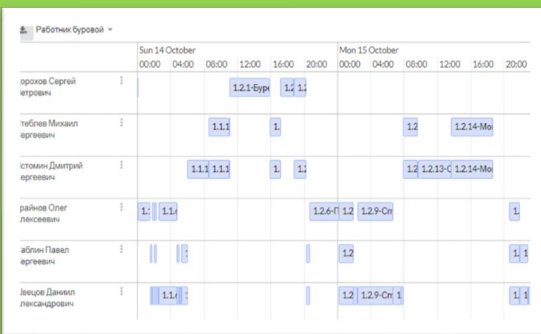
1

Управление сборкой грузовых электромобилей

Дано: заказы, структура электромобилей, автобусов и мотоциклов, технологические процессы изготовления, данные о работе роботов, сроки поступления необходимых компонентов.

Критерии:

- ▶ минимизация задержки выполнения заказов;
- ▶ минимизация количества используемых ресурсов:



База знаний: конфигурация производственных линий, альтернативные наборы ресурсов с разной производительностью, учет режимов работы роботов-сборщиков, доставка деталей по DHL.

2

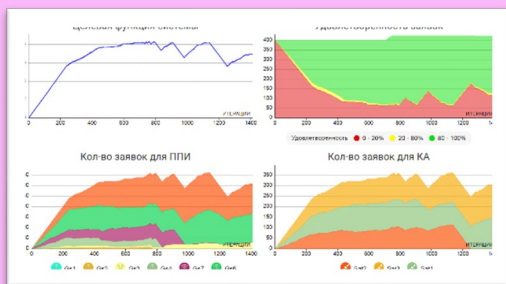
Применение комплекса инструментальных средств (2/3)

Управление целевым применением группировки КА ДЗЗ

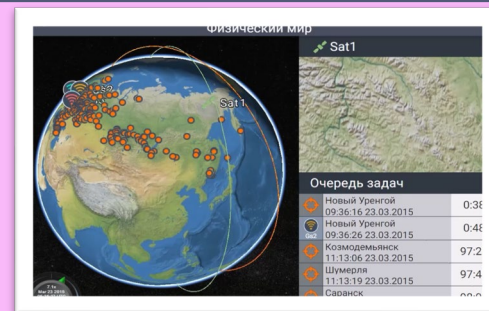
3

Дано: группировка КА, сеть наземных станций, заявки на съемку.

Критерии: максимальная оперативность, максимальное разрешение снимков, максимальная производительность группировки КА



База знаний: учет баллистики, моделирование работы спутниковой группировки, событийность: поступление новых заявок, выход из строя КА и станций, изменение параметров оборудования



Цифровой двойник посевов сельскохозяйственных культур

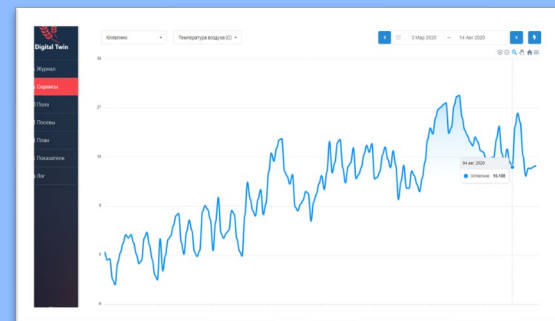
4

Дано: описания стадий развития культуры, особенности сортов, правила развития растения.

Критерии: максимальная адаптивность к изменениям погоды

Определить: сроки и прогнозируемые показатели развития сельскохозяйственных культур при изменяющихся условиях внешней среды

База знаний: зависимость длительности задач (стадий) и показателей продукта (урожая) от параметров окружающей среды



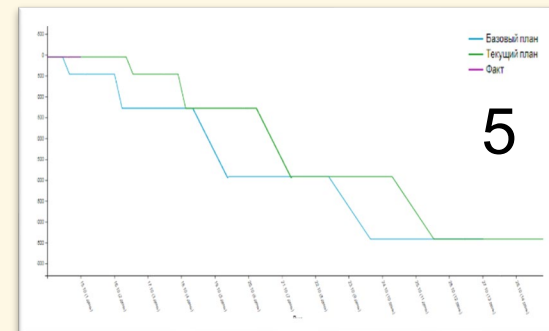
Применение комплекса инструментальных средств (3/3)

Управление бурением нефтяных скважин

Дано: характеристики скважин, оборудование и материалы, шаблон технологического процесса бурения

Критерии: оперативность

База знаний: изменение состава операций исходя их характеристик скважины, накопление и учет «лучших практик».



Оценка эффекта от разработанного комплекса средств

Прикладная задача	Размер базовой онтологии	Размер онтологии ПрО	Размер онтомоделей предприятия	Количество агентов	Время на доработку ЦД (человек/месяц)	
					БЗ	МАС
Сборка самолетов	61	152	925	> 350	3	3.5
Сборка грузовиков		89	382	> 520	1	2
Бурение скважин		85	441	> 5000	2	3
Цифровой двойник растений		42	236	> 100	1	1
Группировка КА ДЗЗ		112	304	> 450	1	4

Основные результаты

- ▶ Предложена методика построения ЦД процессов управления предприятиями в виде ИКФС на основе онтологий и мультиагентных технологий.
- ▶ Выполнен системный анализ сложных задач управления производственными ресурсами, формализована и построена базовая онтология управления ресурсами для построения прикладных онтологий и онтологических моделей ЦД, позволяющих настраивать ЦД на специфику предприятий.
- ▶ Формализована постановка задачи поиска баланс интересов (консенсуса) программных агентов ЦД предприятия для оперативной и гибкой реакции на события, нарушающие планы, в реальном времени.
- ▶ Модифицирована модель ПВ-сети предприятия: введены новые классы онтологически-настраиваемых неоднородных агентов и протоколы их взаимодействия, позволяющие применять создаваемые онтологические модели предприятий и расширять состав учитываемых при планировании факторов предметной области в ходе разработки и применения ЦД предприятий.
- ▶ Разработан комплекс инструментальных средств для автоматизации процесса создания программных компонент ЦД предприятий на основе онтологий и мультиагентных технологий.
- ▶ Созданы ЦД предприятий для ряда практических задач управления ресурсами предприятий в различных предметных областях.
- ▶ Показано существенное (в 3 – 4 раза) сокращение сроков и стоимости разработки ЦД предприятий, получаемое за счет использования онтологических моделей предприятий для настройки систем рассматриваемого класса на особенности предметной области.

Спасибо за внимание!