



Группа компаний «Генезис знаний» & НПК «Разумные решения»

Интеллектуальные (мультиагентные) технологии поддержки принятия решения для адаптивного управления ресурсами в реальном времени



Д.т.н. Скобелев П.О. Президент / Генеральный конструктор

Москва, Сокольники, Конференция PSIM, 20 ноября 2019



Мотивация и методология

- **Наша мотивация** в том чтобы создавать интеллектуальные системы (ИС), способные решать сложные задачи управления предприятиями лучше, чем это делают люди.
- Мы рассматриваем следующие **фундаментальные принципы** как основу для разработки ИС:
 - **Физика:** Сложные адаптивные системы (Нобелевский лауреат проф. И. Пригожин, 1977): мир есть открытая самоорганизующаяся структура, где царят автокаталитические реакции, формирующие «устойчивые неравновесия»;
 - **Психология:** Сообщество мыслей (Проф. М.Минский, 1986): мышление человека не есть подобие математической логики; наши мысли непрерывно конкурируют и кооперируют, образуя самоорганизующуюся систему;
 - **Биология:** Холонические системы (Artur Kestler, книга [*The Ghost in the Machine*](#), 1967): самоорганизация и эволюция многоуровневых сетей (на примере изучения биоценозов) – целое и части никогда не существуют по отдельности – путь к цифровым эко-системам;
 - **Управление:** Переход от централизованных – к распределенным моделям, методам и алгоритмам группового управления и коллективного принятия решений (ТАС) и др.
 - **Техника** – Будущее по Gartner (2019) есть «Автономные вещи», способные принимать решения и коммуницировать между собой для согласования решений.
- Эти принципы формируют **новое видение и методологию** создания ИС класса «Эмерджентного интеллекта» для управления ресурсами и решения других сложных задач.



1. Современная постановка задачи управления ресурсами предприятий



Новые вызовы глобальной экономики

- Растет **сложность** принятия решений по управлению предприятиями
 - *Неопределенность*: трудно предсказать изменения спроса и предложения
 - *Событийность*: часто случаются события, которые меняют планы
 - *Ситуативность*: решение надо принимать по ситуации
 - *Многофакторность*: много разных критериев, предпочтений и ограничений
 - *Высокая связность*: принятие одного решения вызывает изменение других
 - *Индивидуальность*: потребители требуют все более индивидуального подхода
 - *Конфликты*: все больше участников с противоречивыми интересами
 - *Трудоемкость*: слишком много опций, чтобы просчитать последствия
- Усиливается **динамика** принятия решений в ходе управления
 - Требуется *высокая оперативность* для принятия решений
 - Идут постоянные *изменения спроса и предложения*
 - *Сокращается время на ответ* - решения принимаются под прессом времени
 - Необходимо постоянно *балансировать* между разными критериями
 - Надо непрерывно считать *экономику вариантов* и *менять цены* динамически
 - Нужны постоянные *взаимодействия* с клиентами и поставщиками ...

Эти особенности требуют методов и средств для поддержки принятия решений по управлению ресурсами в реальном времени



Задача ситуационного управления ресурсами в реальном времени

Анализ проблем управления предприятиями показывает, что управление ресурсами - сложная многокритериальная задача, требующая согласованного решения «по ситуации» во взаимодействии с множеством участников этого процесса, имеющим свои различные интересы, критерии принятия решений, предпочтения и ограничения (заказчик, исполнитель, поставщик и т.д.).

Примеры множества критериев планирования для принятия решений:

Обеспечить
качество
выполнения работ

Выполнить все
заказы в срок

Минимизировать
стоимость
исполнения заказов

Равномерная
загрузка ресурсов

Минимизировать
риски

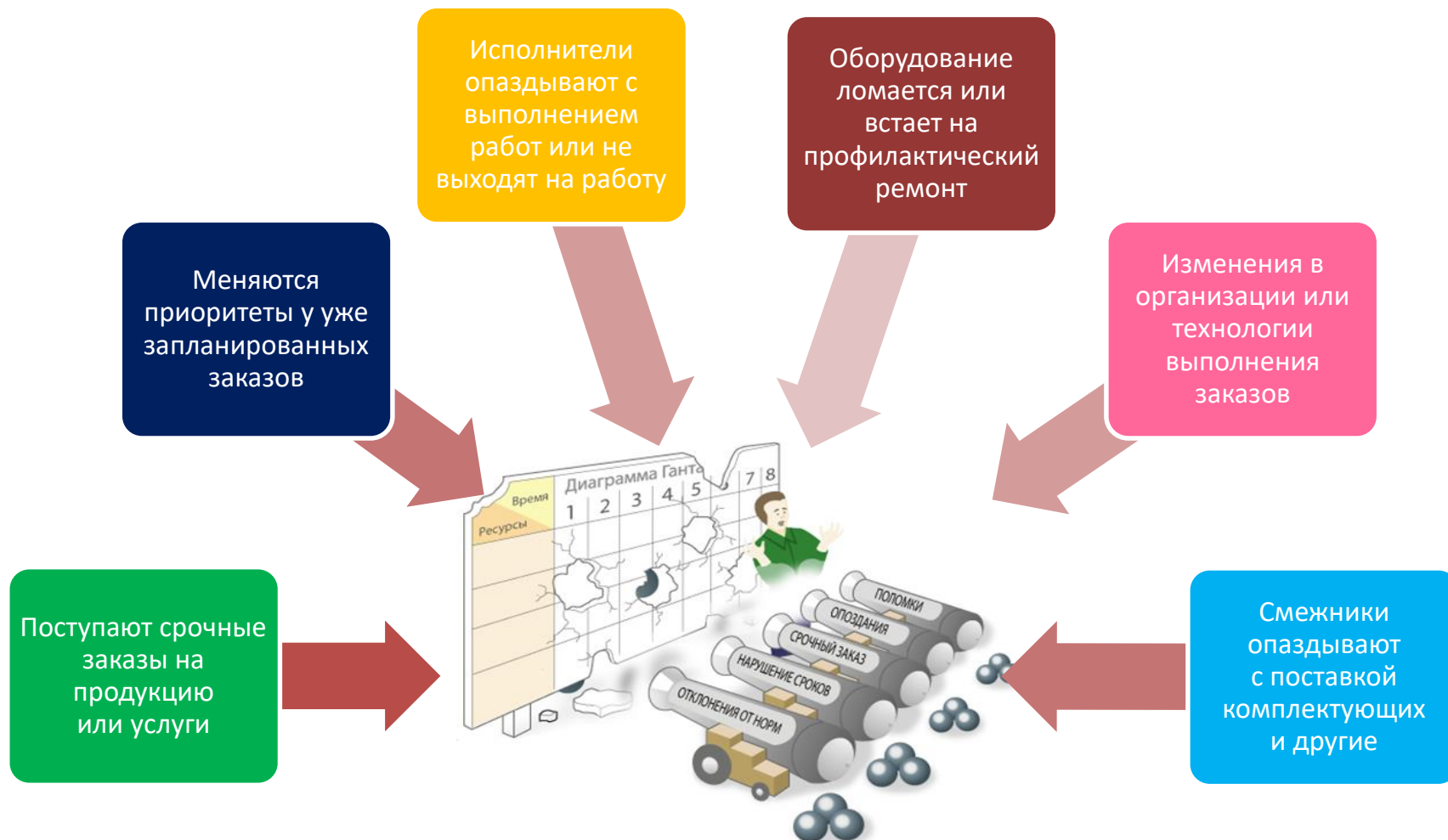
Выдать рабочим
зарплату в конце
месяца

Обеспечить
профилактику
и ремонт
оборудования

Кроме того, задача управления ресурсами должна решаться адаптивно в ходе непрерывных изменений начальных условий по событиям в реальном времени. А в перспективе, в ходе решения задачи и важность, и состав критериев могут меняться в зависимости от изменения обстановки или результатов каждого участника.



Адаптивность – ключевое требование для управления ресурсами в условиях неопределенности





Реакция на вызовы: что нужно, чтобы быть эффективным в новых условиях?

Что случается с предприятиями, когда растет сложность, динамика и неопределенность, обусловленные быстрыми и частыми изменениями спроса и предложения, и что нужно для повышения эффективности?

Традиционные предприятия	Требования эффективности
Централизованные, высоко иерархические, монолитные, детерминированные медлительные организации, унаследованные с 70-х годов	Открытые, децентрализованные, сетевые, быстрые - полностью в он-лайн, не зарегистрированные организации
Типовая реакция на непредвиденные события: - Увеличить число ресурсов - Рост объемов складов - Задержка в реакции на события	Оперативное, гибкое и точное принятие решений по событиям, позволяющее адаптировать планы предприятий «на лету»
Падение эффективности в использовании ресурсов	Предсказание пиков и узких мест для сокращения простоев и дефицита ресурса
Рост цен вследствие неэффективности предприятий переводится на заказчиков	Динамическое образование цен по ситуации (экономика реального времени)
Резкое падение конкурентноспособности предприятий на международном и даже внутреннем рынке	Повышение конкурентности за счет кооперации и специализации, выявление и продажа лишних активов



**2. А что есть на рынке: продукты,
методы и средства для планирования
и оптимизации ресурсов?**



А что предлагается на рынке ERP систем?

Название продукта	Разработчик	Основные сферы применения
SAP ERP	SAP	Все основные
BAAN	BAAN- Infor	Маш, нефть, химия, пищевая, металлургия
Oracle Applications	Oracle	Маш, нефть, химия, металл, торговля
OneWorld J.D.Edwards	Robertson & Blums Corp.	Маш, нефть, пищевая, химия, торговля
iRenaissance	Interface, Ltd	Нефть, химия, пищевая
Microsoft Dynamics AX	Microsoft	Производство, финансы, цепочки поставок (крупный и средний бизнес)
Microsoft Dynamics NAV (Navision)	Microsoft	Средний и мелкий бизнес, финансы, торговля
Syteline	Frontstep CIS	Маш, пищевая, химия, металлургия и торговля
Platinum ERA	Эпик-Рус	Все основные
CA-PRMS	R-Style	Машиностроение
IFS Applications	Форс-холдинг	Все основные
MFG/PRO QAD	QAD	Маш, пищевая, торговля
Scala	Scala CIS	Все основные
Infor ERP LN	Infor	Средние и крупные предприятия (от финансов и производства до обслуживания)

Как правило, все указанные пакеты программ предлагают модели и методы решения задач планирования и оптимизации на основе методов линейного программирования



Традиционные методы «централизованной» оптимизации

- Традиционное централизованное планирование основано на математических методах: линейном и динамическом программировании, дискретной оптимизации, программировании в ограничениях и др.;
- Эвристические методы:
 - жадные алгоритмы;
 - генетические алгоритмы;
 - нейросети и нечеткая логика;
 - применение эвристических правил (Earliest Deadline First и пр.);
 - метаэвристики локального поиска;
 - Tabu Search – метод, использующий историю методов локальной оптимизации, когда некоторые уже исследованные плохие варианты запрещается;
- Имитационные методы (“отжига” и др.);
- Стохастические методы (Монте-Карло и др.);
- Мета-эвристики: комбинации параллельных эвристических алгоритмов.



Особенности постановки задач, затрудняющие применение известных методов

- высокая сложность и размерность задач, которые так просто нельзя свести к простым подзадачам и решить по отдельности;
- наличие множества критериев, которые могут задаваться по условиям, дискретно, процедурно, алгоритмически, таблично, в зависимости от момента времени и т.д.;
- планирование ведется не в пакетном, а в «скользящем» режиме и сочетается с одновременным исполнением и контролем планов;
- наличие непредвиденных событий (приход новых заявок, отзыв уже запланированных, поломка ресурсов и т.д.);
- приход нового события не должен вызывать пересчет всего расписания;
- критерии принятия решений или их важность зависят от самого момента времени и получаемых результатов;
- характеристики заказов и ресурсов могут меняться во времени;
- трудно объяснить решение пользователю и др.



3. Сдвиг парадигмы в управлении ресурсами: переход от оптимизации одной целевой функции к поиску баланса интересов (консенсуса) между целевыми функциями многих участников в ситуации, развивающейся в реальном времени



Развитие подходов к решению задачи управления ресурсами в математике

1940-1980

Классические оптимизаторы: найти глобальный оптимум!

- ◆ **Принятие решений в условиях консонанса**
- ◆ Все заказы и ресурсы одинаковы, известны заранее и имеют одни потребности и возможности
- ◆ Имеется центральный орган, который за всех принимает решения
- ◆ Ситуация не меняется по ходу процесса решения, включая состав или важность критериев

Эмпирические решатели - там, где быстро растет размерность пространства

1980-2010

Теория игр: найти лучшую стратегию выигрыша!

- ◆ **Принятие решений в условия конфронтации**
- ◆ Все участники (или группы) имеют собственные конфликтные интересы
- ◆ Каждый играет за себя и максимизирует свою целевую функцию
- ◆ Тот кто выиграл – выиграл за счет другого, который проиграл
- ◆ Ситуация не меняется по ходу пьесы

Кооперативные игры – чтобы как-то учесть интересы групп участников

2010 – н/в

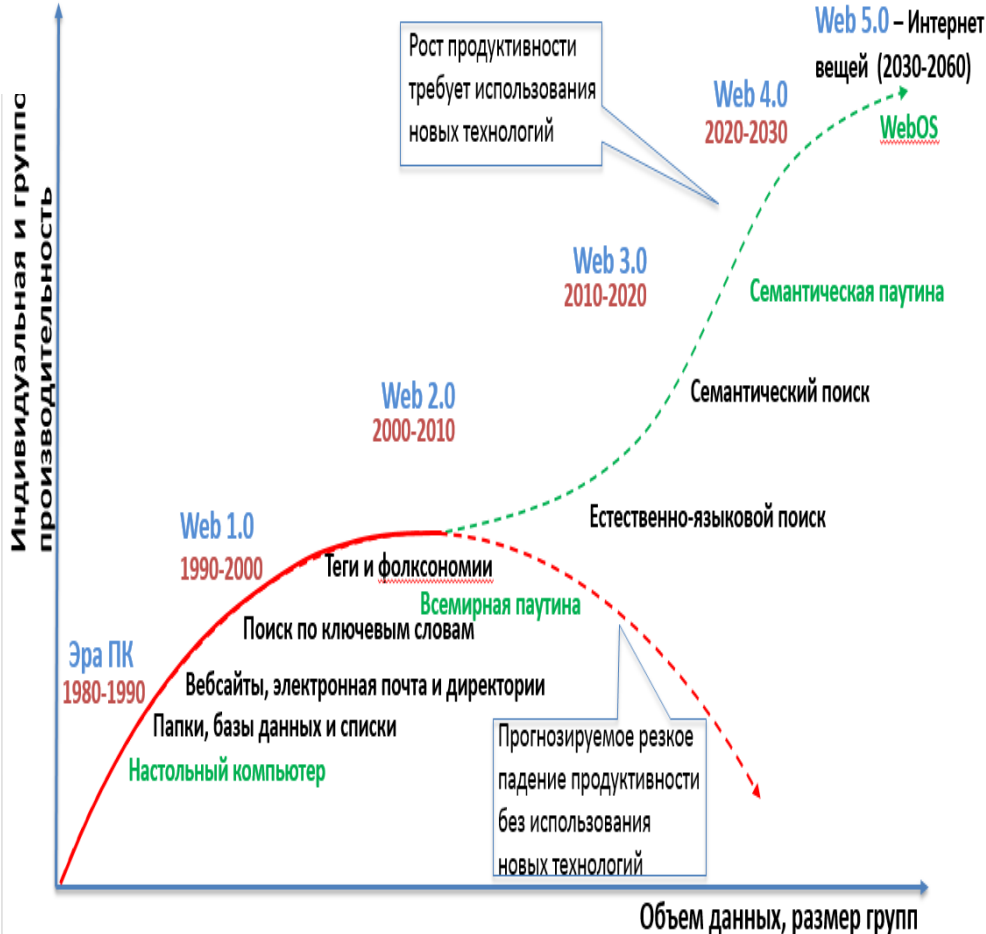
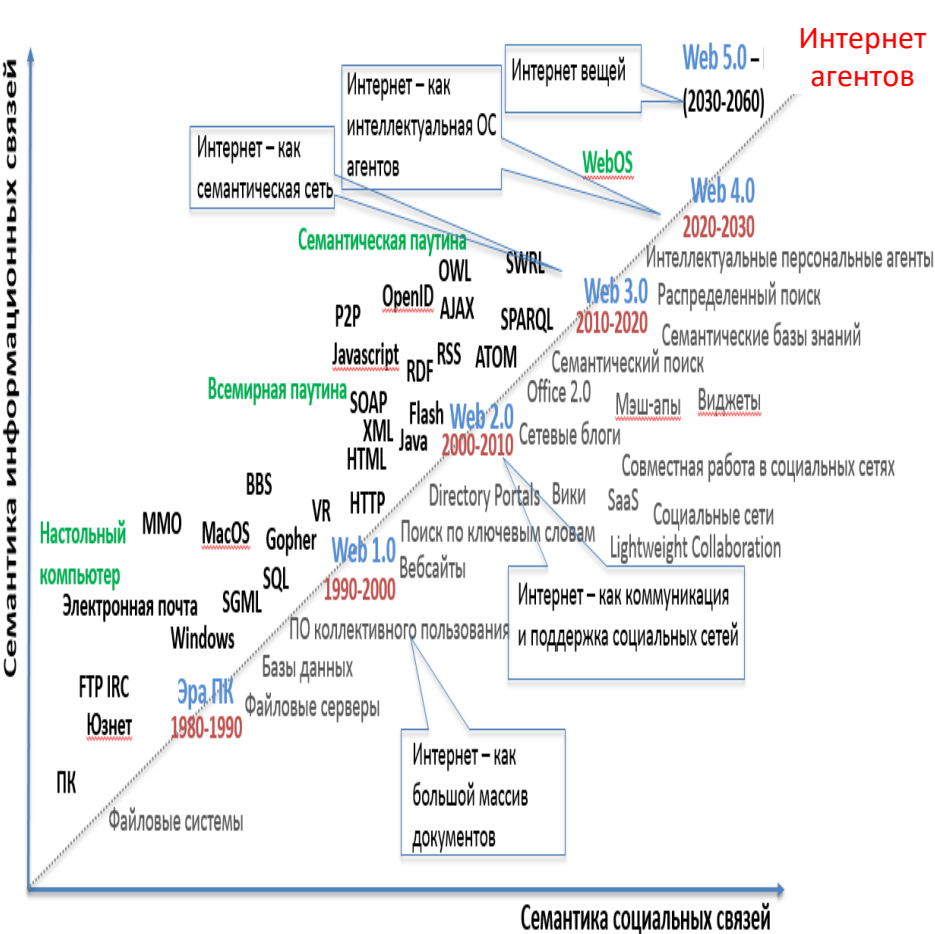
Теория согласованного принятия решений: найти консенсус в ситуации!

- ◆ **Принятие решений в условия компромисса**
- ◆ Все заказы и ресурсы имеют свои интересы, но учитывают интерес их общего целого
- ◆ Готовы идти на уступки ради чужих интересов или интереса центра (при условии компенсации)
- ◆ Центр может влиять на тех, кто не может сам договориться путем точечных денежных интервенций и др.
- ◆ Ситуация меняется по ходу

Будет развиваться для сетевых применений, где все равны и надо договариваться



Взгляд от INDUSTRY 5.0 на основе моделей и методов искусственного интеллекта (ИИ)



Цитируется по Business Radars, 2012



Взгляд из биологии (природы): коллективный интеллект роя пчел или колонии муравьев

Рой в природе - это сообщество достаточно примитивных организмов (рой пчел, колония муравьев и др.), все действия которых сводятся к элементарным инстинктивным реакциям.



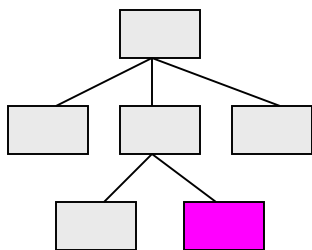
Однако эти особи вместе, действуя согласованно, образуют сложную самоорганизующуюся систему, многократно преумножающую индивидуальные возможности особи, позволяющую решать очень сложные задачи выживания, защиты границ, воспроизводства и пропитания в постоянно изменяющихся условиях.



Мультиагентный подход для решения сложных задач управления ресурсами в реальном времени

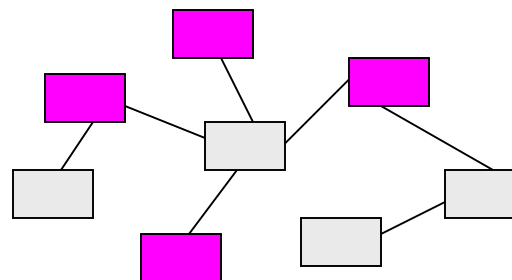
Классические системы

- Иерархии больших программ
- Последовательное выполнение операций
- Инструкции сверху вниз
- Централизованные решения
- Управляются данными
- Предсказуемость
- Стабильность
- Стремление уменьшать сложность
- Тотальный контроль



Мультиагентные системы

- Большие сети малых агентов
- Параллельное выполнение операций
- Переговоры
- Распределённые решения
- Управляются знаниями
- Самоорганизация
- Эволюция
- Стремление наращивать сложность
- Создание условий для развития

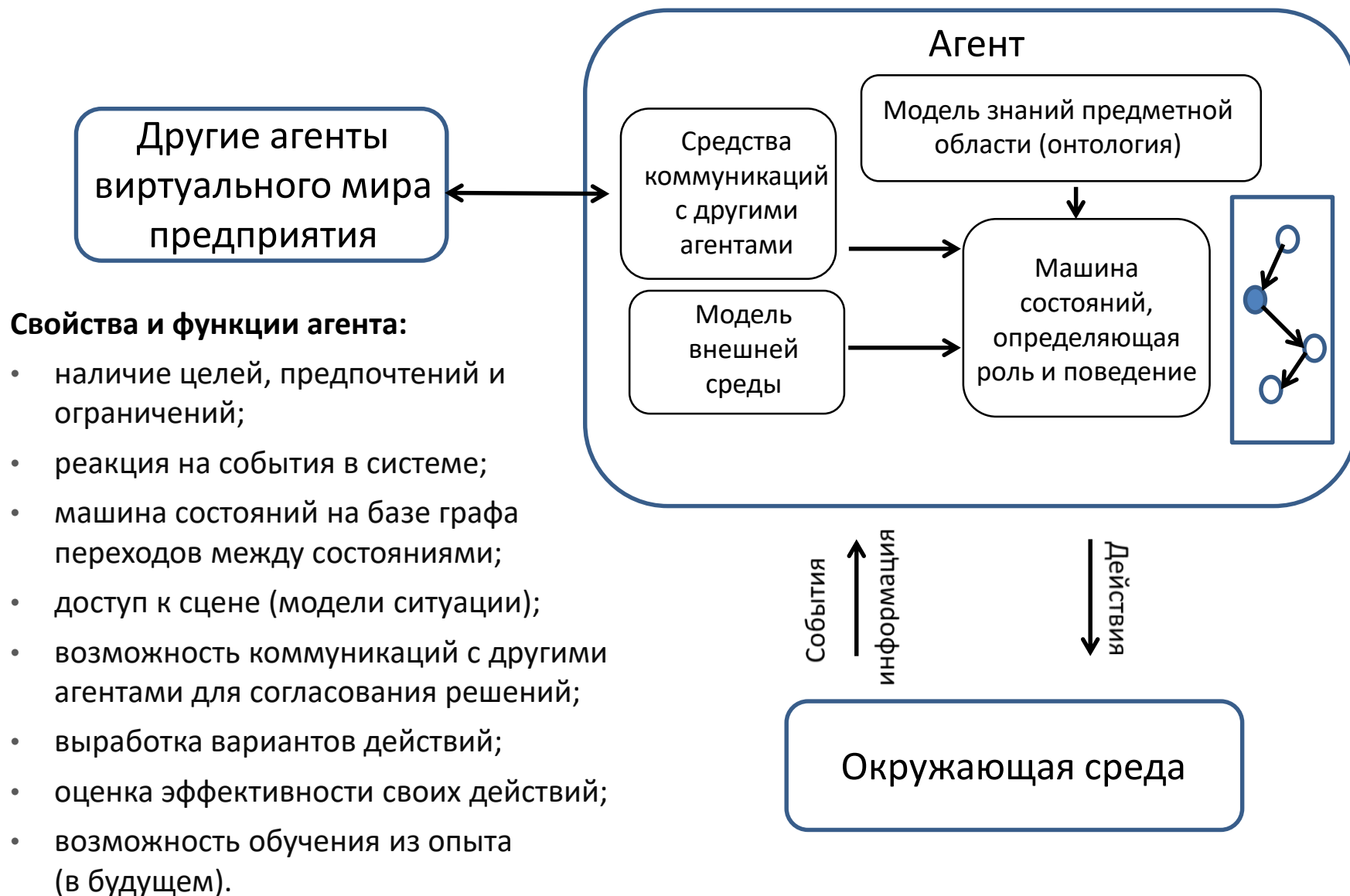


 Одновременно активные программы (сопрограммы)

В ноябре 2018 года автономные вещи и мультиагентные технологии вошли в список трендов на 2019 год под номером №1 по версии Gartner



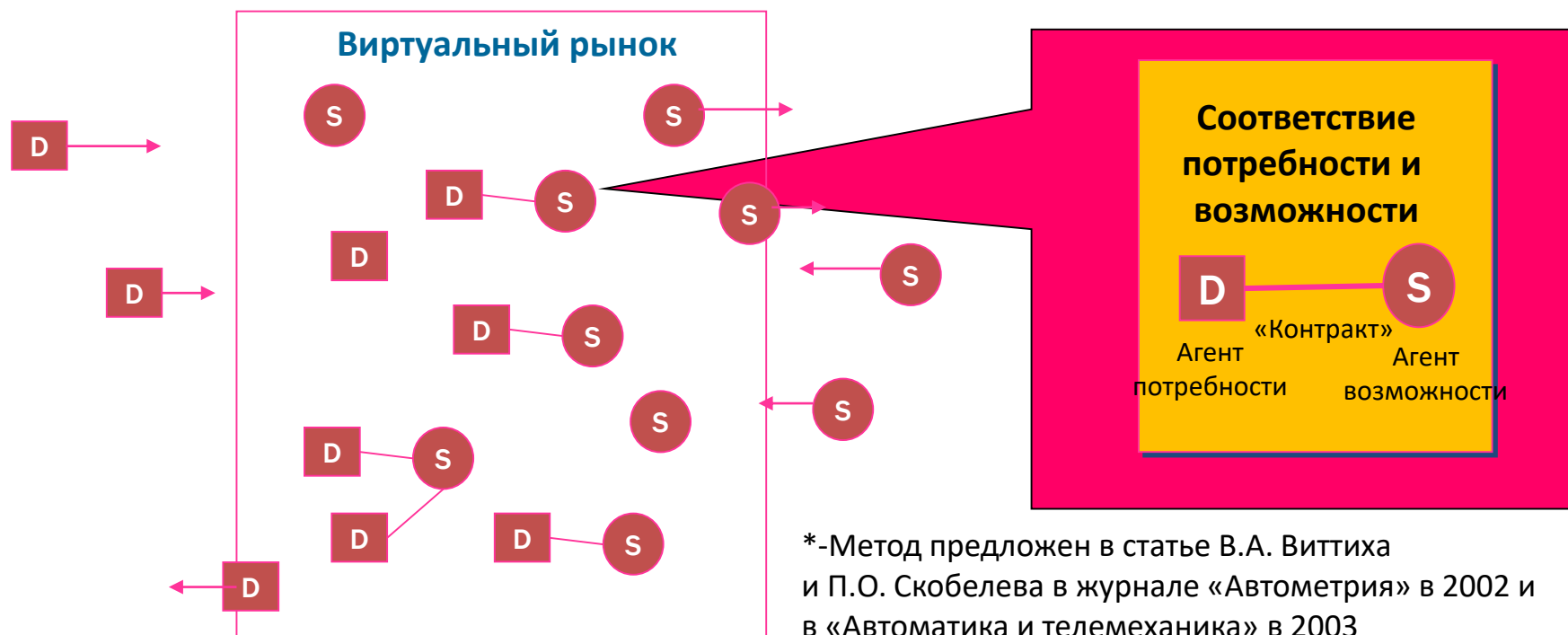
Агент – ключевой элемент системы





Сети потребностей и возможностей (ПВ-сети)

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



Примечание: Математическое обоснование эффективности виртуального рынка как альтернативы линейному программированию см. в трудах известных математиков из Кембриджа, вышедших в 2009-2010 гг.:

- 1) Y.Shoham, K.Leyton-Brown. Multi-agent systems: Alghoritmic, Game Theoretic and Logical Foundations. – Cambridge University Press, 2009: <http://www.masfoundations.org>.
- 2) Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World. By David Easley and Jon Kleinberg. Cambridge University Press, 2010 : <http://www.cs.cornell.edu/home/kleinber/networks-book/>.



Поиск консенсуса в ПВ-сети для людей и вещей (заказы и ресурсы, продукты, станки, детали и т.д.)

Пример: расписание цеха завода как «консенсус» агентов людей и вещей:

Я должна любой ценой
выпустить все заказы в срок
и обеспечить загрузку и оплату
моим рабочим

Диспетчер



Можно ли ускорить сборку, чтобы
мне попасть на отгрузку в порт
заказавшему меня клиенту?

Продукт



Смогу ли я заработать
к отпуску через
сверхурочные в этом
месяце?

Рабочий

Но мне нужен
срочный ремонт!

Станок



Партия бракованная,
требуется срочная замена!

Материалы



Демо МАС «Рой спутников»



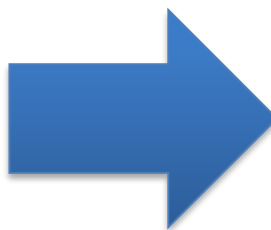
БАЗА ЗНАНИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЙ

Традиционные формы
представления информации:
(отчеты, книги, таблицы и т.д.)



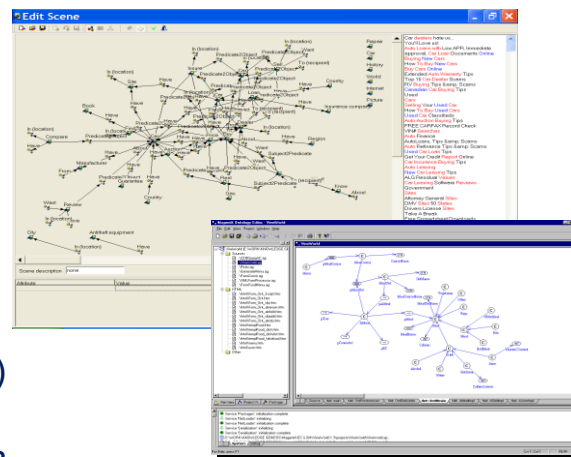
- Таблицы справочных данных
- Аналитические отчеты
- Условия применения
- Результаты полевых испытаний
- Советы и рекомендации
- Случаи из практики
- Цены на продукцию и услуги

**Переход к новым
формам
представления
информации,
удобным для
обработки на
компьютере**



Концепция Semantic Web
(семантического Интернета)
предполагает создание
семантической сети классов
объектов и отношений для
построения модели знаний
предметной области

Семантические сети –
компьютерные модели знаний
предметной области



Примеры экранов конструкторов онтологий

База знаний может содержать сведения об изделиях и техпроцессах, оборудовании и материалах, компетенциях рабочих и других особенностях производства, которых нет в обычных базах данных, документах и других источниках



База знаний предприятия на основе онтологии предметной области

Конструктор БЗ

База знаний

Онтологии

- 01 - Онтология планирования
- 02 - Онтология производства
- 99 - Онтология ТОиР

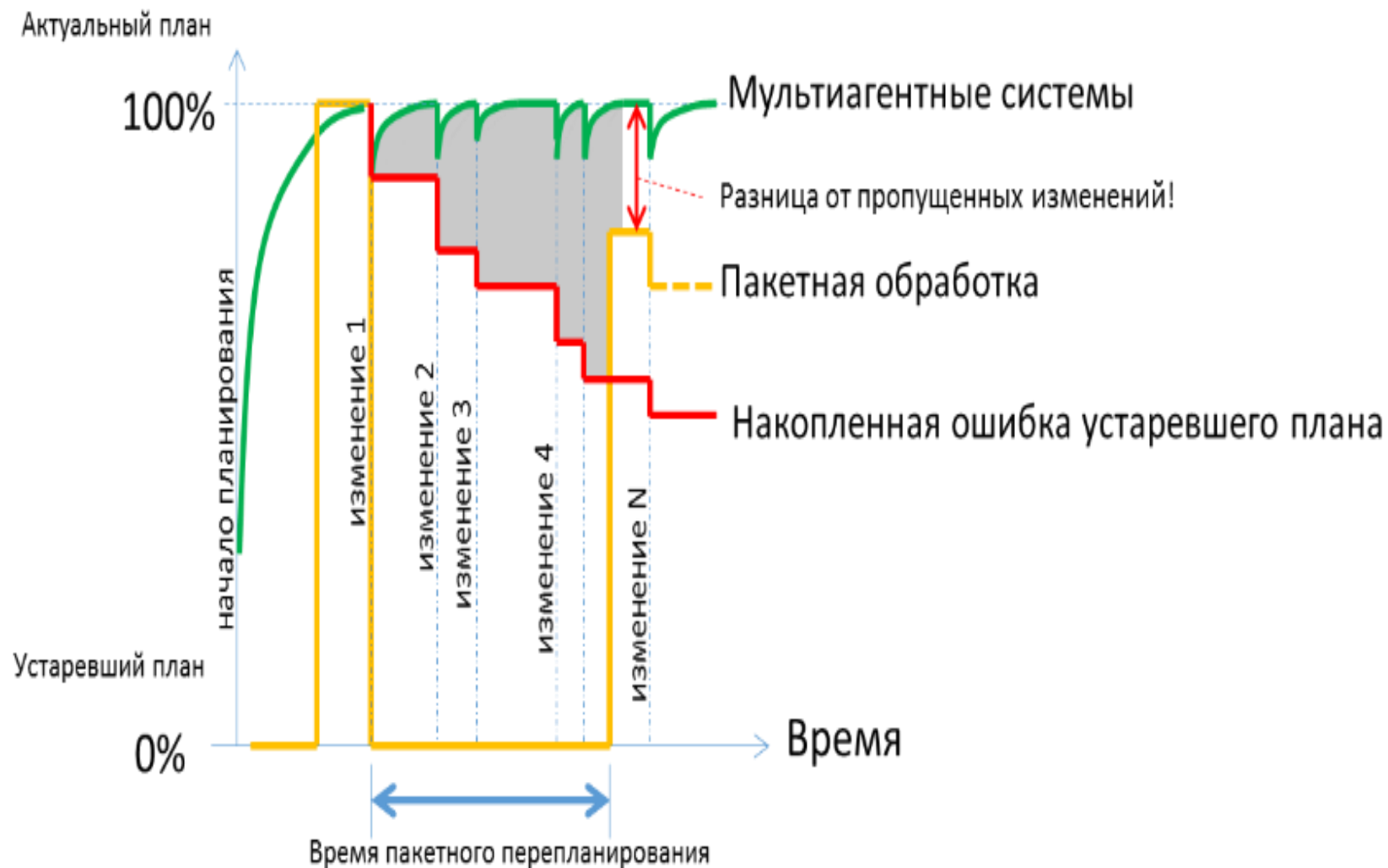
Модели

- 01 - Модель ИАЗ
- 02 - Модель ГПН
- 04 - Модель TRA
- 04 - Модель АСПОС
- 05 - Модель ЦУП

Сцены



Оценка эффекта от адаптивности





3. Примеры внедрений промышленных интеллектуальных систем для решения сложных задач управления ресурсами



Результаты внедрения МАС управления ресурсами

Продукт	Клиент	Результаты и ценность для клиента
Smart Aerospace	Ракетно-космическая корпорация «Энергия»	- Действует система для 8 диспетчеров и 120 других пользователей для подачи топлива, воды, продуктов питания и т. д. - Ускорение планирования полетов в 4-5 раз. - Моделирование наихудших сценариев для оценки рисков.
Smart Trucks	Prologics, Lorry, Monopoly, Trasko, Trans-Terminal, etc.	- Увеличение количества заказов - до 3-5%; - Сокращение просроченных поставок - до 5%; - Повышение эффективности использования ресурсов - 5-10%.
Smart Factory	ТяжМаш, Axion-Holding, Airbus, Иркут, АвиаАрпат, Кузнецов	Axion-Holding: - Увеличение производительности цеха - 5-10%. - Экономия на одном цехе по производству инструментов составляет 7 человеко-месяцев в месяц.
Smart Field Services	Самарская Газовая Компания, Волгоградская компания водоснабжения, Far East Service Company	Samara Gas Company: - Сокращение времени реакции - до 5-7 раз. - Повышение эффективности обслуживания - до 40% (12 заказов в день вместо 7 в прошлом).
Smart Deliveries of Food	Instamart (Москва)	- Сокращение времени сборки заказа на 15%. - Сокращение задержек при доставке клиентам на 22%.
Smart Supply Networks	Lego (Chicago outlets), Coca-Cola (Germany), Siberian Coal Mining, "Газпромнефть"	Lego (US): - Увеличение доходности - до 18%.. Coca-Cola, Germany: - Увеличение сроков доставки заказов - до 7%. - Экономия на транспорте - до 20%.
Smart Projects	Ракетно-космическая корпорация «Энергия», Министерство экономики Самарской области	- Полная прозрачность проектов: от годовых планов доставки в контактах - до ежедневных планов отделов и сотрудников. - Сокращение расходов - 5-10% - Увеличение количества проектов, реализованных в рамках бюджета и в срок - на 15%.
Smart Railways	РЖД (регионы Москвы, Санкт-Петербурга и Сибирь-Байкал)	- Сокращение задержек железнодорожного поезда - до 15-25%. - Более быстрая реакция на события - в 2-3 раза. - Увеличение скорости поездов по Байкальскому полигону - до 3-5%.



4. Преимущества для предприятий



Преимущества для предприятий

1. Решение сложных проблем управления предприятиями, включая этапы распределения, планирования, оптимизации и контроля ресурсов.
2. Повышение качества производства продукции и оказания услуг для конечных пользователей (индивидуальный подход);
3. Повышение эффективности за счет перехода к реальному времени и снижению затрат на производства продукции и оказания услуг для пользователей;
4. Формализация и интеграция знаний для принятия решений – нового ключевого интеллектуального ресурса предприятий в 21 веке;
5. Повышение прозрачности, оперативности в реакции на события, гибкости в изменениях планов при управлении ресурсами;
6. Снижение трудоемкости управления и уменьшение негативного человеческого фактора при распределении ресурсов.
7. Создание собственной масштабируемой программной платформы для разработки и развития ИИ систем управления ресурсами.



Как измерить экономический эффект от ИИ для принятию решений в реальном времени?

1. **Прямые офисные затраты труда диспетчеров, менеджеров и специалистов** на построение и постоянную корректировку плана в реальном времени:

- Начинают работать обычно не сразу, когда событие случилось (всегда есть потеря времени) – машина включается сразу;
- Работают над каждым событием N минут (сложное событие – до 40 минут) – машина делает быстрее, эффект равен ставке зарплаты на число сэкономленных минут (при этом обычно непредвиденных событий десятки и сотни в день);
- Не учитывает весь контекст ситуации и обычно действует «по накатанной» – теряем имевшиеся варианты для более эффективных решений и прибыли;
- Нужен постоянный контроль: люди делают ошибки или обманывают и отдают заказы «своим» без учета интересов компании и т.д.;
- Возможность существенно сократить численность управленцев;
- Затраты на постоянное обучение и переобучение специалистов.

2. **Прямые физические затраты, связанные с заказами и ресурсами предприятия** – повышение эффективности бизнеса:

- Сокращение затрат на «простой» или «холостой ход» ресурсов (нет заказов);
- Сокращение потери заказов в пик, когда не хватает ресурсов для заказов;
- Выигрыш за счет рационализации использования ресурсов, маршрутизации и т.д.;
- Выигрыш за счет адаптивного встраивания заказов в план по дороге «на лету»;
- Снижение затрат на уплату пени и штрафов в случае задержки или срыва заказов;
- Можно держать меньше товарных запасов на складе и сократить площади складов;
- Скорость в реакции на события – для опережения конкурентов и захвата новых заказов;
- Повышение удовлетворенности клиентов качеством и сроками работы исполнителя.



НА ПУТИ К ИНДУСТРИИ-5.0 И ОБЩЕСТВУ-5.0



