



Saint Petersburg State
POLYTECHNICAL UNIVERSITY

**НТК «Математического моделирования
и интеллектуальных систем
управления»**

Передовые Производственные Технологии

Умное производство – Интеллектуальные системы комплексной автоматизации, роботизации и управления

**Проф. В.П. Шкодырев
Директор НТК ММИСУ**



www.spbstu.ru





«Умные Системы» – новые «вызовы» современного развития

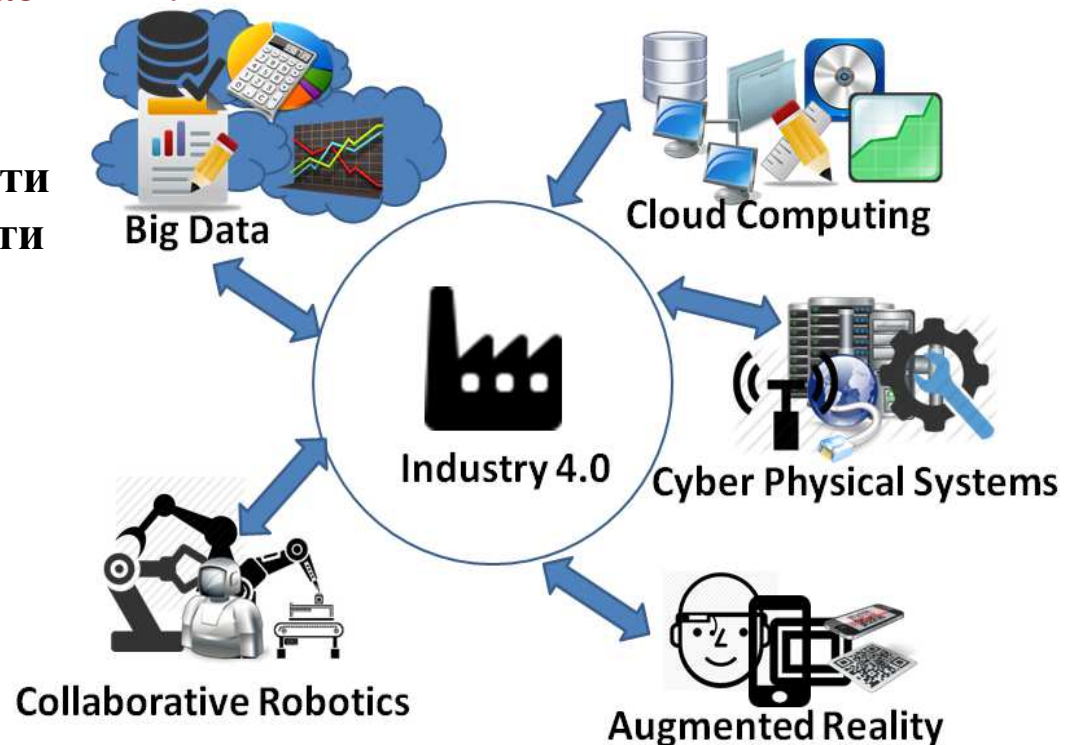




Многоплановость проблемы промышленной модернизации

**Промышленная революция 4 поколения (Industry 4) -
пример концепции Европейского развития:**

- -Инициирована в 2011 как национальная программа повышения конкурентоспособности обрабатывающей промышленности Германии;
- Инвестирование - более 40 миллиардов в промышленную инфраструктуру ежегодно до 2020 года;
- Европейские инвестиции в четвертую промышленную революцию,, как ожидается, составят 140 миллиардов евро в год.





А что же в России ? (Национальная Технологическая Инициатива)

Заседание президиума Совета при
Президенте Российской Федерации по
модернизации экономики и
инновационному развитию России (14
февраля 2017 года)

Одобрена

Технет

Цифровое
проектиров
ание и
моделирова
ние

Новые
материалы

Аддитивные и
гибридные
технологии

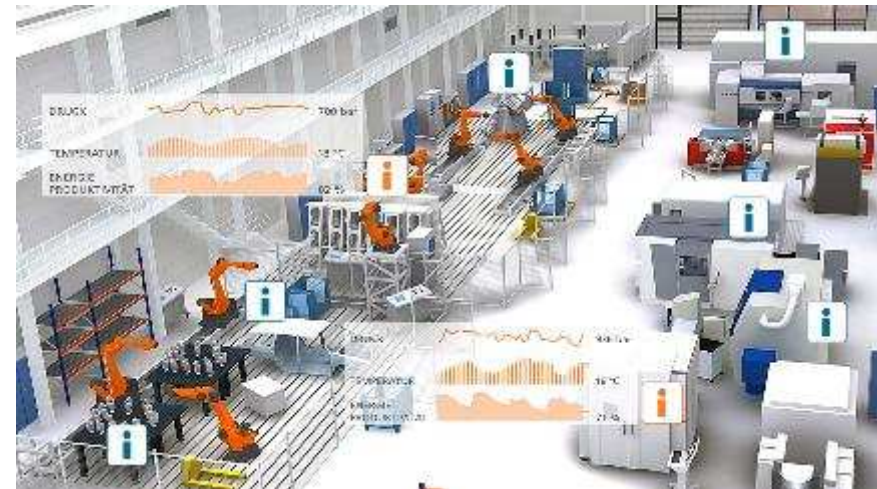
Робототехн
ика

План мероприятий
«Дорожная Карта»
Национальной
технологической
инициативы (НТИ)
по развитию кросс-
рыночного / кросс-
отраслевого
направления «Технет»
(передовые
производственные
технологии)



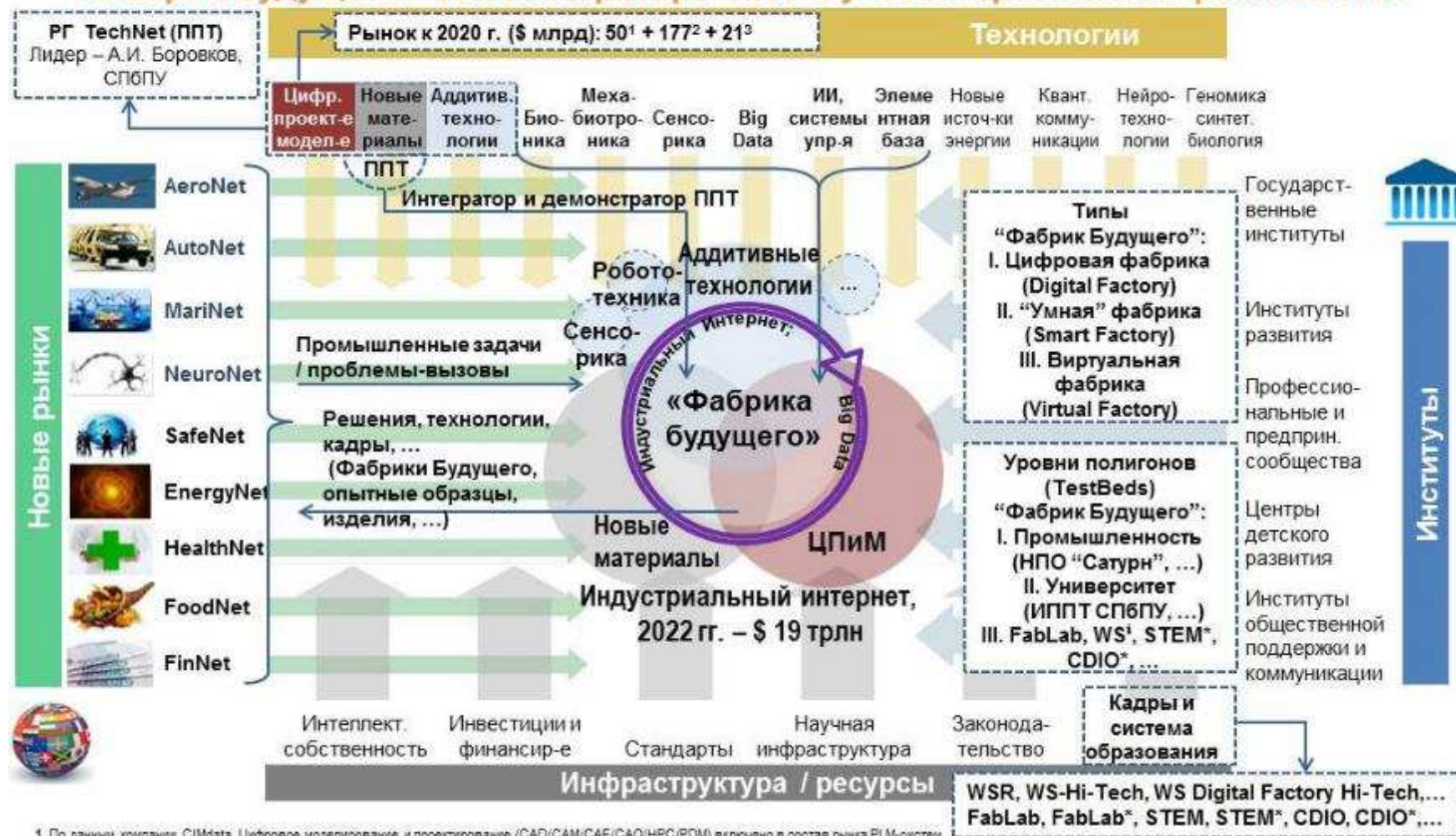
Основные направления инноваций

«Наиболее перспективные направления – «Цифровые предприятия» с потенциалом глобального рынка услуг уже сейчас оценивается примерно в 773 млрд долларов, но доля России на нем пока составляет лишь 0,28 процентов. Цель дорожной карты – увеличение этой доли как мин. До 1,5 %»
(Материалы заседания)





Дорожная карта направлена на формирование и комплексное развитие
«Фабрик будущего» как интегратора ППТ с учетом требований рынков НТИ

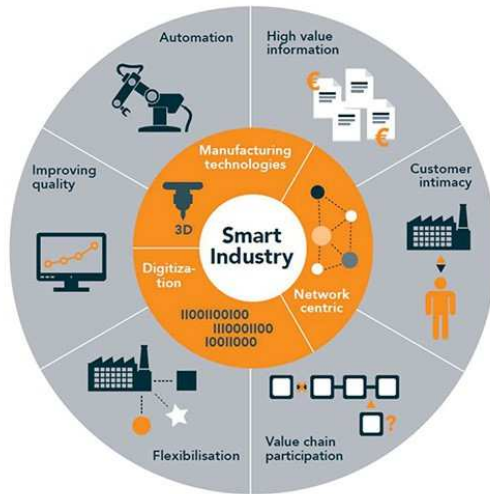


1. По данным компании CIMdata. Цифровое моделирование и проектирование (CAD/CAM/CAE/CAO/HPC/PDM) включено в состав рынка PLM-систем.

2. По данным Moskowitz S.L. The Advanced Materials Revolution. – Hoboken (N.J.): Wiley, 2009. 3. По данным компании Wohlers Associates. Рынок включает 3D-принтеры, расходные материалы и услуги по 3D-печати.

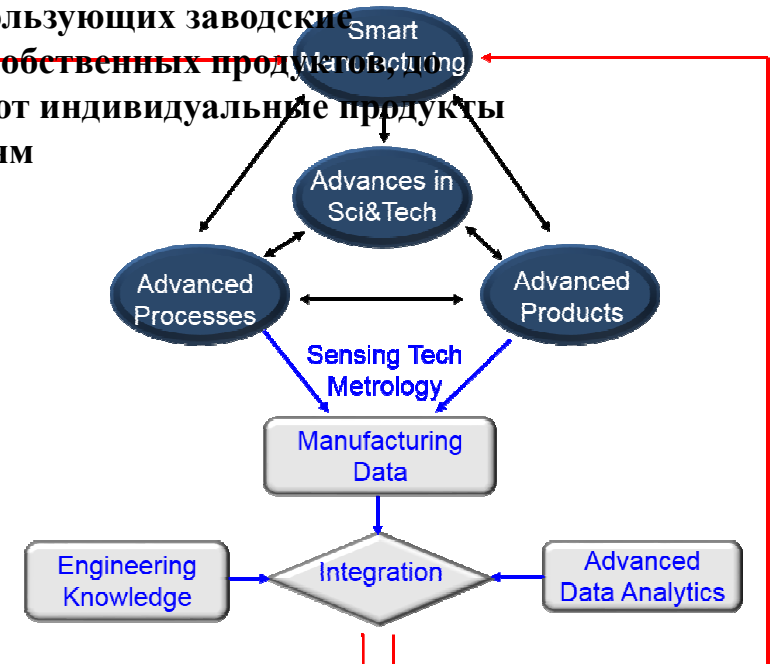
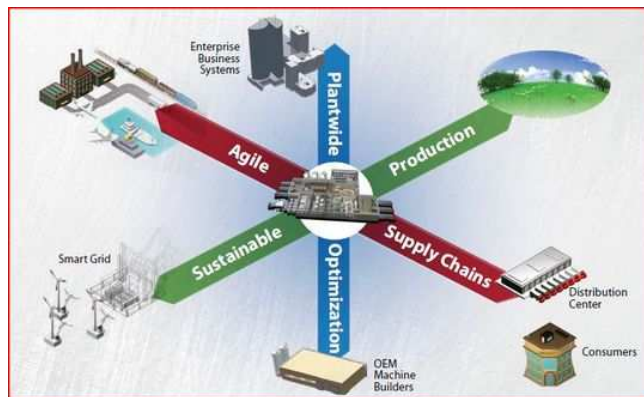


Основные направления инноваций



- Переосмысливание самого **принципа сборочной линии**, - как непрерывной сети машин, которые должны не только производить товары с меньшим количеством ошибок, но и смогут автономно изменять производственные шаблоны в соответствии с необходимостью, оставаясь высоко эффективными
- «Сервис-ориентированного проектирования», предполагающее возможность варьирования конфигурации линий от пользователей, использующих заводские настройки для производства ~~собственных~~ **продуктов компаний**, которые поставляют индивидуальные продукты индивидуальным потребителям

«Промышленный Интернет», самостоятельно определение целевое производство в зависимости от нужд, определенных ими же.

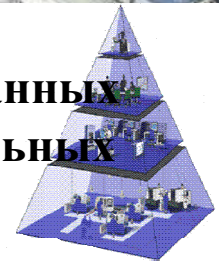




Ключевой принцип – выработка оптимальных управляющих решений

Роботы должны «думать» !

- **Рациональное (разумное) поведение** - целенаправленное поведение, связанное с постановкой и достижением желаемой цели. Характеризуется способностью к прогнозу, постановке цели и выбору оптимальных целенаправленных решений, направленных на достижение желаемого целевого состояния.
- **Гибкое планирование и оптимальное решение задач** - основано на формировании адаптивных алгоритмов перестраивания автоматизированных комплексов и технологических линий для выбора и реализации оптимальных решений
- **Выработка оптимальных стратегий** на всех уровнях решения производственных задач – это *процесс генерации целей и их достижимость на основе рекуррентной модели самоорганизации и самообучения системы управления.*





Тренды в Развитии Систем Автоматизации и Управления

ВЫЗОВЫ

Сложность объекта

Распределенность

Интенсивность потоков
измерительной
информации

Неопределенность
(нештатные ситуации)

Лимит времени на
принятие сложных
многокритериальных
решений

...



Интеллектуа
лизация

DARPA (USA): CCC, IARPA (Intelligent
Advanced Research Activity); 1980 - ...
DARPA Robotics Challenge (DRC)
([http://www.theroboticschallenge.org/.](http://www.theroboticschallenge.org/))
Intelligent Car (USA, Germany);
Smart Manufacturing, Manufacturing
Intelligence, MI

Формирование
сетевых
управляющих
инфраструктур

SMART GRID (USA)
Intelligent Transportation System
Industry 4
Internet of Things (IoT - GE, 2012)
Netcentric Systems

Самоорганиза-
ция и развитие

Cyber-Physical Systems, (Институт
стандартов и технологий NIST, USU2006
Хелен Джилл)



Эволюция робототехники – от мехатроники к кибер-физическим системам

**КФС - объединение
кибернетического начала
когнитивных
информационно-
управляющих систем,
встроенных в окружающую
их среду, и способных
воспринимать ее изменения
посредством разнородных
сенсоров, реагировать на
возможные изменения,
самообучаться и
адаптироваться для
качественного исполнения
поставленных целей.**





Кибер-Физические Системы (Cyber-Physical Systems)

Системы, интегрирующие в себе кибернетическое начало, компьютерные аппаратные и программные технологии, качественно новые исполнительные механизмы, встроенные в окружающую их среду и *способные воспринимать ее изменения, реагировать на них, самообучаться и адаптироваться* [1].



От накопления знаний к внутренней самоорганизации и развитию

Онтология знаний КФС:

Концептуальное моделирование (производственных) процессов и формировании модельной архитектуры управляющих промышленных сетей для формирования развивающихся баз знаний

1.NSF Workshop On Cyber-Physical Systems". Retrieved 2008-06-09.

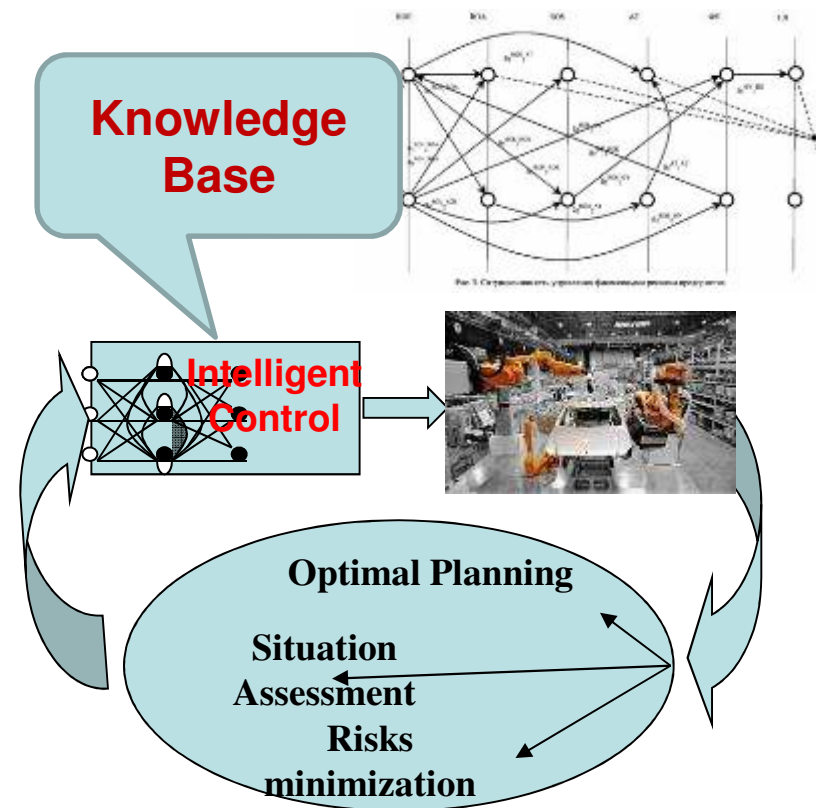


Базовые принципы интеллектуальных систем управления:

ИСУ – система управления, основанная на принципах, моделях и алгоритмах принятия оперативных управляющих решений в условиях неопределенности.

Ключевой принцип управления – использование «базы знаний» - совокупность правил, выводов, заключений, формализующих накопленную статистику причинно-следственных связей в виде системы целевых функций и стратегий их достижения, - , позволяющее формировать управляющие решения, адекватные сложившейся ситуации

Встраивание в контур управления БЗ, включающей набор правил и алгоритмов оперативного оценивания и упреждающего принятия оптимальных управляющих решений .

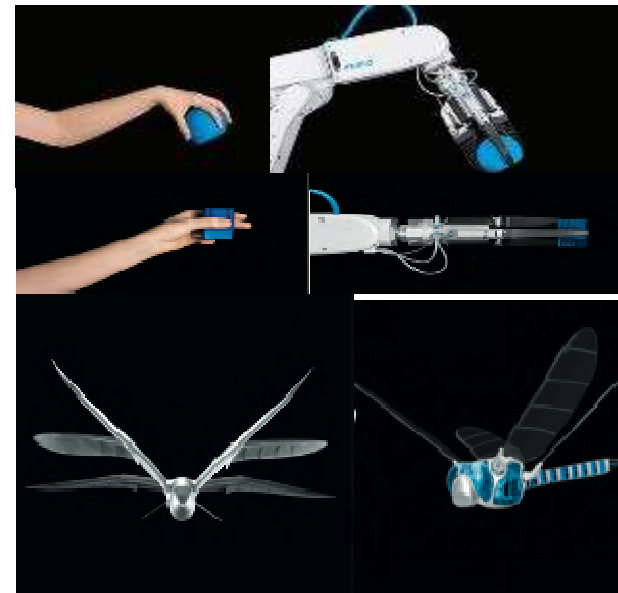




Интегрирование в среду управления

Интегрирование в среду управления предполагает наличие:

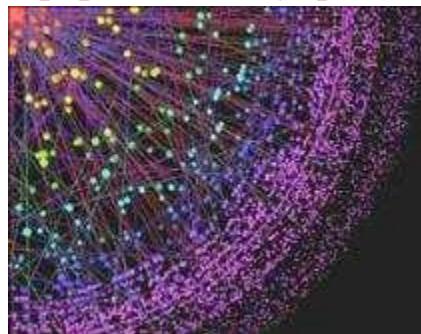
- Развитой сенсорной сети с предобработкой
- Высокопроизводительного (на базе нейросетевых алгоритмов) процессора
- Встраиваемых в среду исполнительных элементов





Стратегии многоцелевой (многокритериальной) оптимизации в адаптивном управлении

Иерархия целей управления



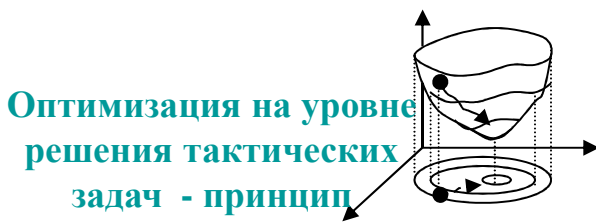
Оптимизация на верхнем
уровне стратегического
планирования

$$S_{\text{opt}} : J_{\Sigma}(J_{1\text{opt}}, J_{2\text{opt}}, \dots, J_{m\text{opt}}) = \min_{W_{\text{opt}} \in \mathfrak{S}} J_{\Sigma}(S),$$

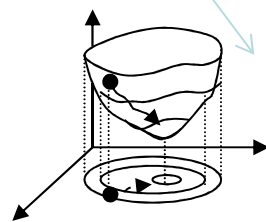
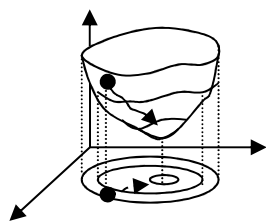
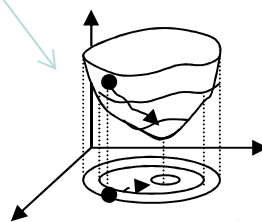
under conditions:

$$\begin{cases} g_1(w, a, b) \{ \geq, \leq, = \} \Delta_1, \\ \vdots \\ g_p(w, a, b) \{ \geq, \leq, = \} \Delta_p. \end{cases}$$

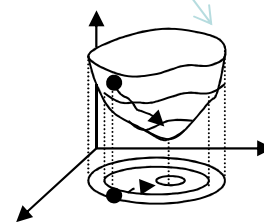
Оптимизация на уровне
решения тактических
задач - принцип
декомпозиции



...



...

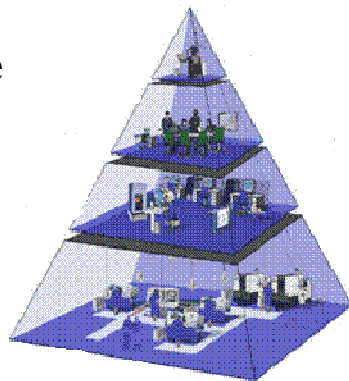


Оптимизация на уровне
решения оперативных
задач: интеллектуальный
планировщик

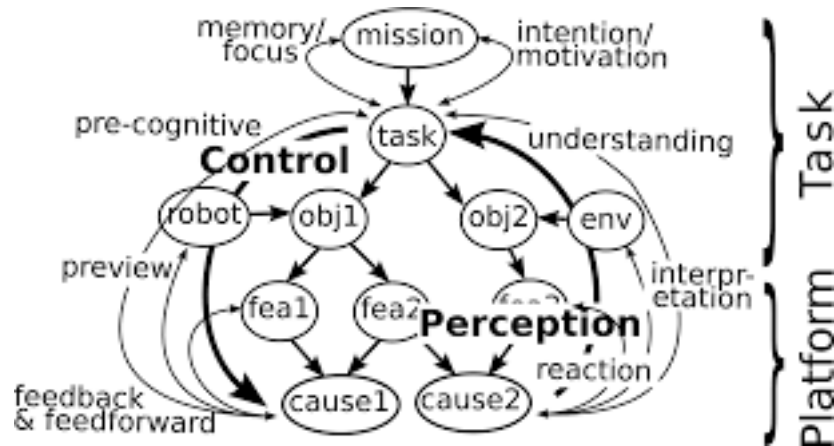
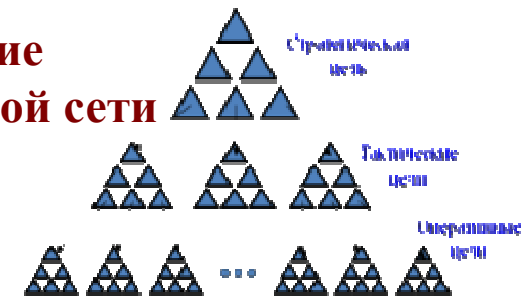


Формирование наращиваемой базы знаний

Формирование
системы целей
через
функционально-
целевую
декомпозицию
(дерево решений)



Планирование
иерархической сети
задач



1,000 - different products manufactured

1 million - monthly production of
Simatic products

50 million - process items entered in
SIMATIC IT each day

75% - automation level

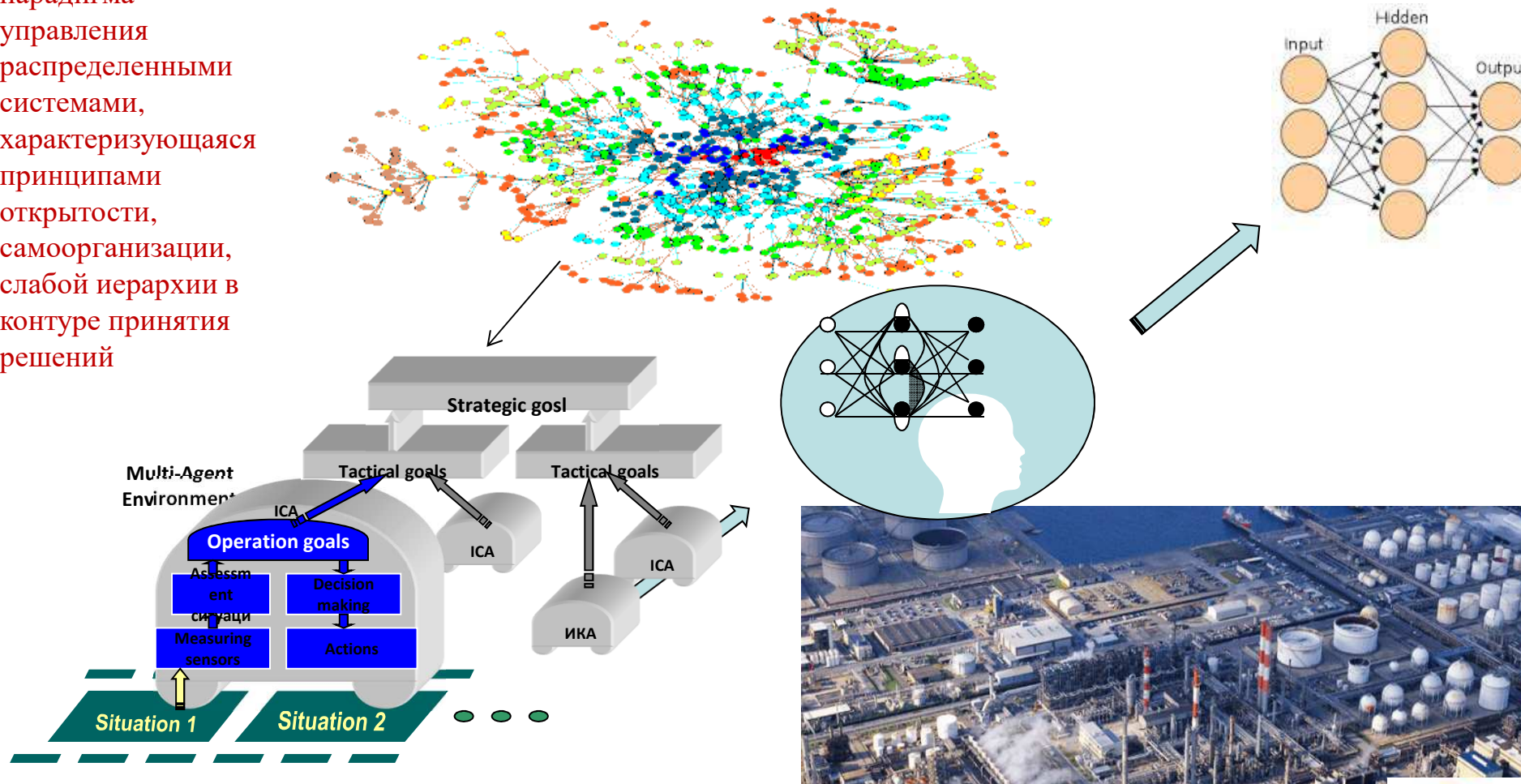
12 dpm - 99.9988% quality rate

1,000 - Teamcenter managed product variants shipped to
60,000 - customers worldwide each year



Сетевая организация:

Сетецентрическая
система – новая
парадигма
управления
распределенными
системами,
характеризующаяся
принципами
открытости,
самоорганизации,
слабой иерархии в
контуре принятия
решений

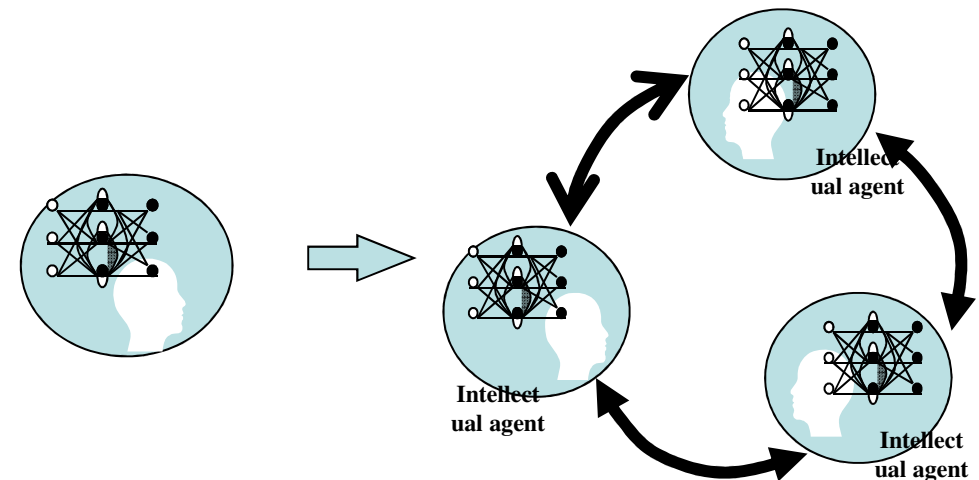




Самоорганизация и обучение

Самоорганизация и спонтанное образование упорядоченных структур как результат внутреннего развития в процессе накопления знаний - базируется на принципе «управление через целеполагание» т.е. формировании системы целей и механизмов синтеза структур, обеспечивающих достижение этих целей соответствующими действиями. Формируется иерархическая система целей и критериев поведения системы в рамках целевых функций.

Особенностью «распределенного метаинтеллекта» становится способность предсказывать, организовать и управлять коллективным поведением (групповой динамикой) отдельных интеллектуальных подсистем более низкого уровня.



Синергетические принципы самоорганизации распределенной интеллектуальной среды управления

Множественность и распределенность активно и целенаправленно взаимодействующих неоднородных компонентов, объединенных единой целью;

Множество разнородных, параллельно проявляющихся взаимосвязей, имеющих семиотическую природу;

Кооперативное координирующееся взаимодействие в поведении отдельных подсистем;

Динамичность и способность к самообучению, адаптации и эволюционному развитию в следствии априорной неопределенности или непредсказуемости воздействия внешней среды;



St. Petersburg State
POLYTECHNICAL UNIVERSITY



Цель — экспериментальная отработка технологий и систем комплексной автоматизации, роботизации и управления производственными процессами



Лаборатория интеллектуальной робототехники и управления

Фундаментальные исследования:

Сетецентрическая информационно-управляющая система для интерактивного взаимодействия киберфизических систем (КФС) и робототехнических комплексов (РТК)

Прикладные разработки:

Технологии дистанционного управления удаленными объектами

Технология группового управления командным поведением роботов

Технология ситуационного управления в условиях неопределенности

Авторские образовательные программы инженерной подготовки и переподготовки специалистов





Технологии группового управления взаимодействующими роботизированными линиями

Многоуровневая управляющая система промышленных контроллеров с распределенной базой знаний и мультиагентной средой группового управления разнородными объектами и технологическими комплексами

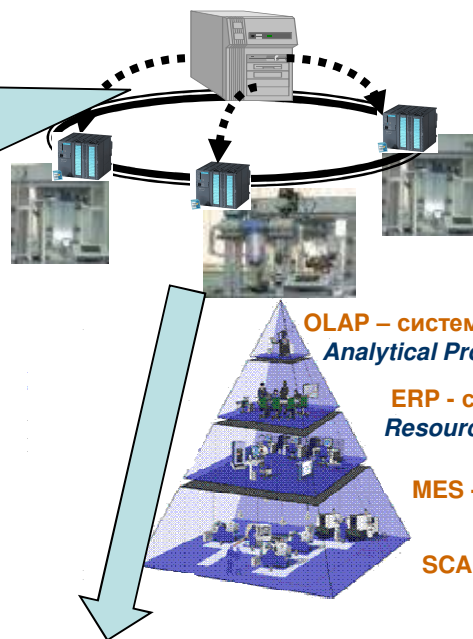
Роботизированная технологическая линия химического производства для отработки управления нештатными ситуациями



Роботизированная технологическая линия сборочного производства для отработки многокритериальной оптимизации расписаний



Мультиагентная среда управления разнородными технологическими процессами



Обработка технологий интеграции и согласованного взаимодействия разнородных технологических подсистем и комплексов для сопряжения в единой информационно-управляющей среде КС



Автономные мобильные системы с распределенной системой управления сбором и обработкой данных



Андроидные роботы для отработки алгоритмов группового управления оптимальным командным поведением



St. Petersburg State
POLYTECHNICAL UNIVERSITY

Технологии дистанционного управления удаленными роботизированными системами и технологическими комплексами





Технологии ситуационного управления

Объект исследования:

Быстроразвивающиеся нештатные (предаварийные, аварийные) ситуации с многовариантными альтернативами развития в условиях существенной априорной неопределенности.

Цель исследования:

Повышение эффективности автоматизированного управления и принятие оперативных решений по предотвращению техногенных угроз и выхода из нештатных ситуаций.

Инженерные приложения:

Управление сценариями вывода из нештатных ситуаций сложных технических систем;

Управление сценариями вывода из нештатных ситуаций техногенных катастроф;

Управление полем боя





Выполненные проекты



**Умное производство – аппаратно-
программные решения и
математическое программное
обеспечение для полностью
автоматизированных
(роботизированных)
производственных процессов с
полным комплексом
автоматизации на всех уровнях
производства**



10,000 - different products manufactured

1 million - monthly production of
Simatic products

50 million - process items entered in
SIMATIC IT each day

75% - automation level

12 dpm - 99.9998% quality rate

1,000 - Teamcenter managed product variants shipped to

60,000 - customers worldwide each year





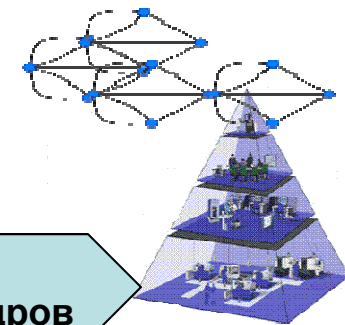
Инженерные решения НТК ММИСУ:

Управление высокоточными многофункциональными
роботами-манипуляторами

Проектирование и моделирование роботизированных
производственных линий для автоматизации
высокопроизводительных производственных процессов

Создание интегрированных корпоративных систем / сетей
управления производственными и технологическими
комплексами

Разработка математико-программного обеспечения для
интеграции комплексных производственных систем



Исследования и
разработка

Внедрение и
сопровождение

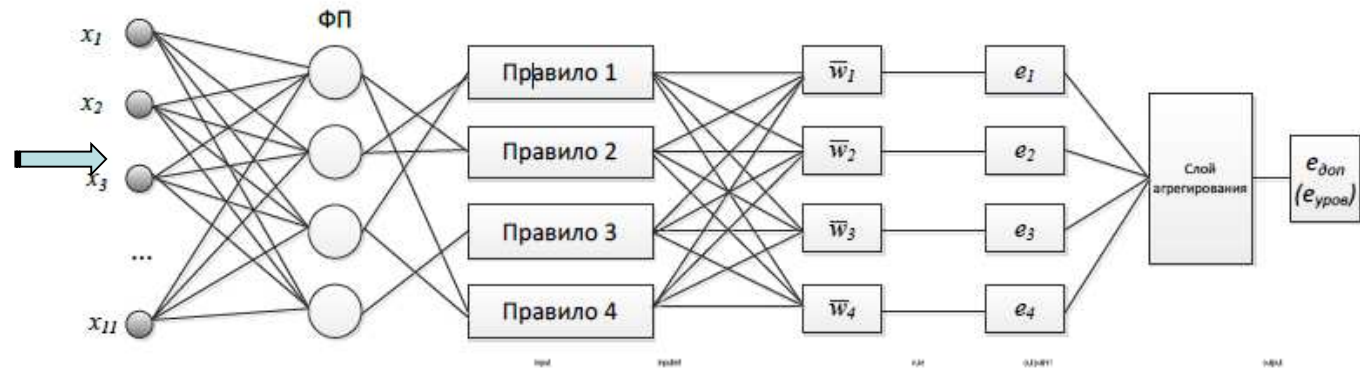
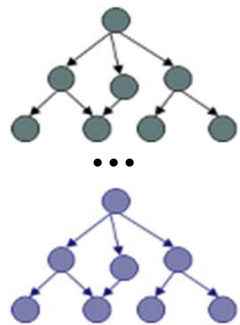
Подготовка и
переподготовка кадров



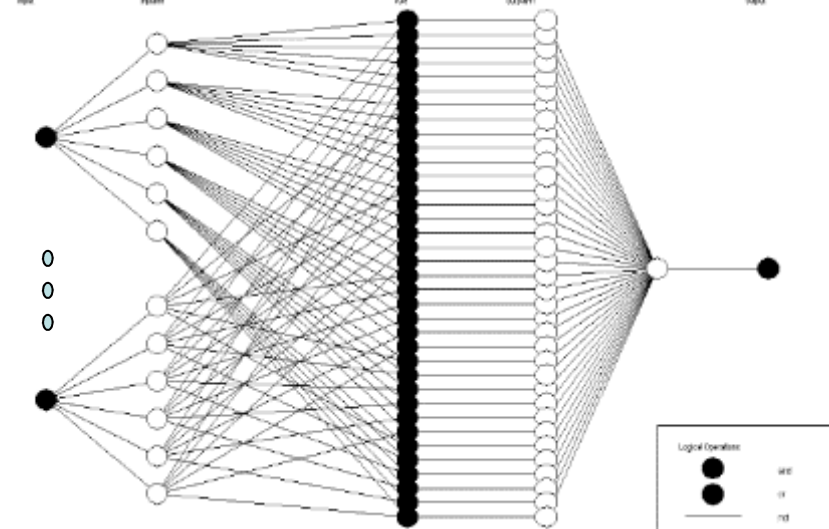


База знаний интеллектуальной системы управления сложными объектами:

Сценарии
развития
ситуации



База знаний ИСУ строится как система правил, ставящих в соответствие текущему сценарию развития ситуации свою стратегию или алгоритм управления .





Безлюдное производство: задачи комплексной автоматизации и управления высокотехнологичными производствами

- Адаптивная автоматизация и роботизация технологических цепочек
- Единая среда управления распределенными объектами и процессами (Мультиагентная платформа MESS- систем
- Оптимизация многоцелевого планирования и управления исполнением задач
- Связь с верхним уровнем планирования и управления
- Отработка, тестирование и сопровождение новых технологий
- Управление ситуациями

«Безлюдное производство - комплексный термин, сочетающий в себе необходимое оборудование для использования в автоматическом режиме, организацию автоматического движения изделий по производственной цепочке без привлечения персонала, возможность работы по ранее составленным программам, позволяющим автоматическую работу и объединения дистанционной передачи данных, позволяющей ввод программ удаленно без необходимости нахождения непосредственно на производственном участке».

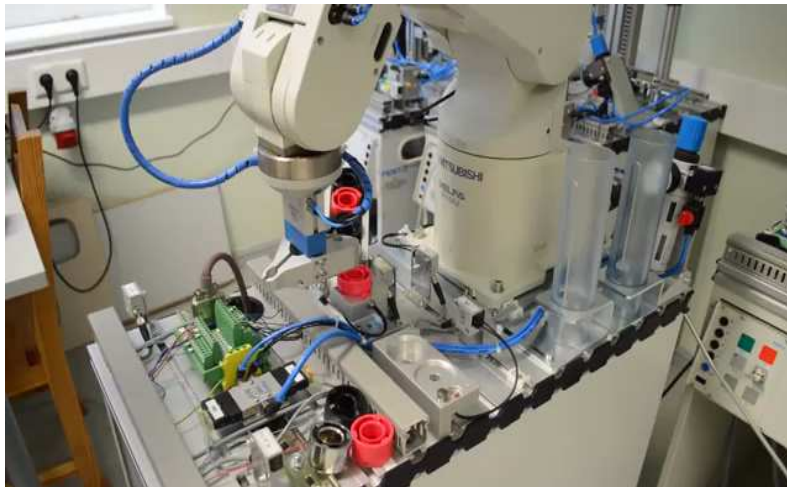


«Организация гибкого безлюдного снаряжательного производства для обеспечения выпуска многофункциональных изделий малыми сериями»



Повышение производительности РТК на основе оптимального (по быстродействию) управление движением многостепенного робота

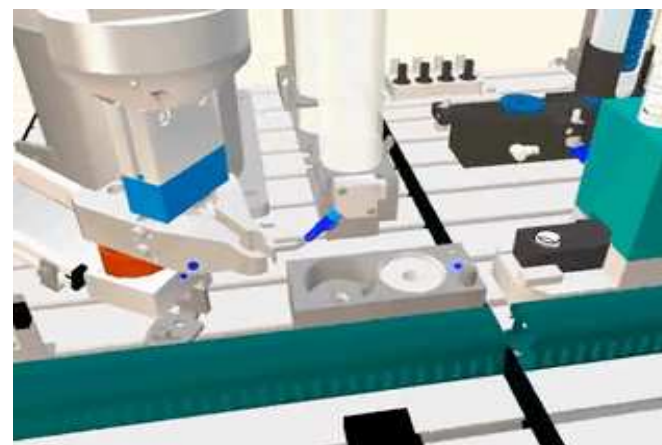
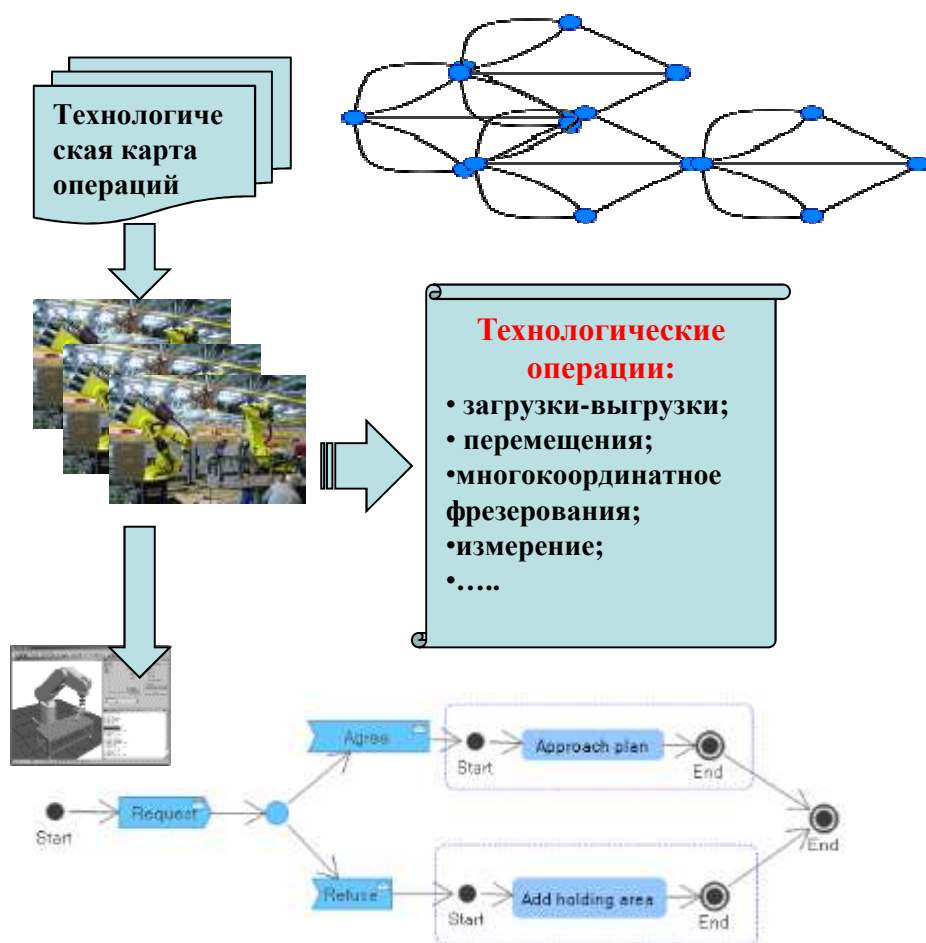
**«Интеллектуализация» и оптимизация
управления за счет синтеза критериев
оптимальных по быстродействию и
траекторий движения рабочего органа.**



- Точность позиционирования
- Выполняемые функции
- Быстродействие
- Оптимизация расписания



Комплексная автоматизация и роботизация технологических процессов: концептуальное моделирование





Автоматизация и управление процессами

Оптимизация расписаний в
организации сборочного производства



Комплексная автоматизация и
управление разнородными
технологическими процессами





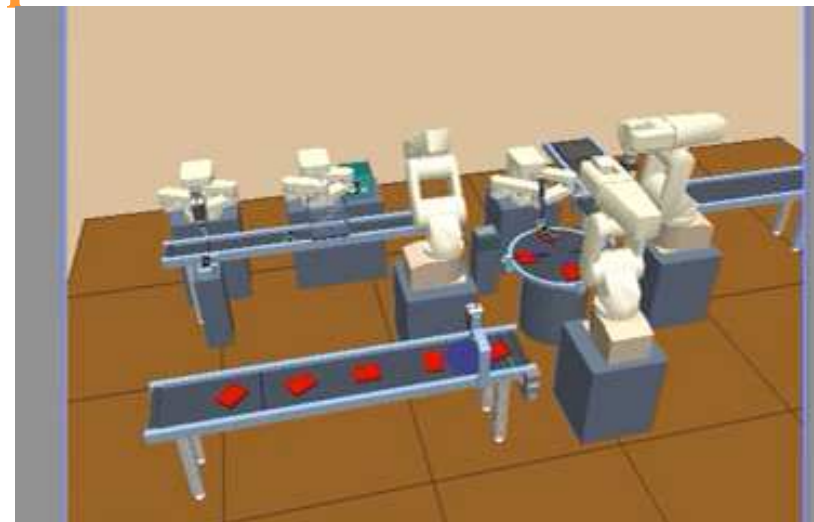
Комплексирование и программирование многофункциональных роботов

COSIMIR® Robotics:

Интерактивная среда программирования
модулей роботизированных технологических
процессов

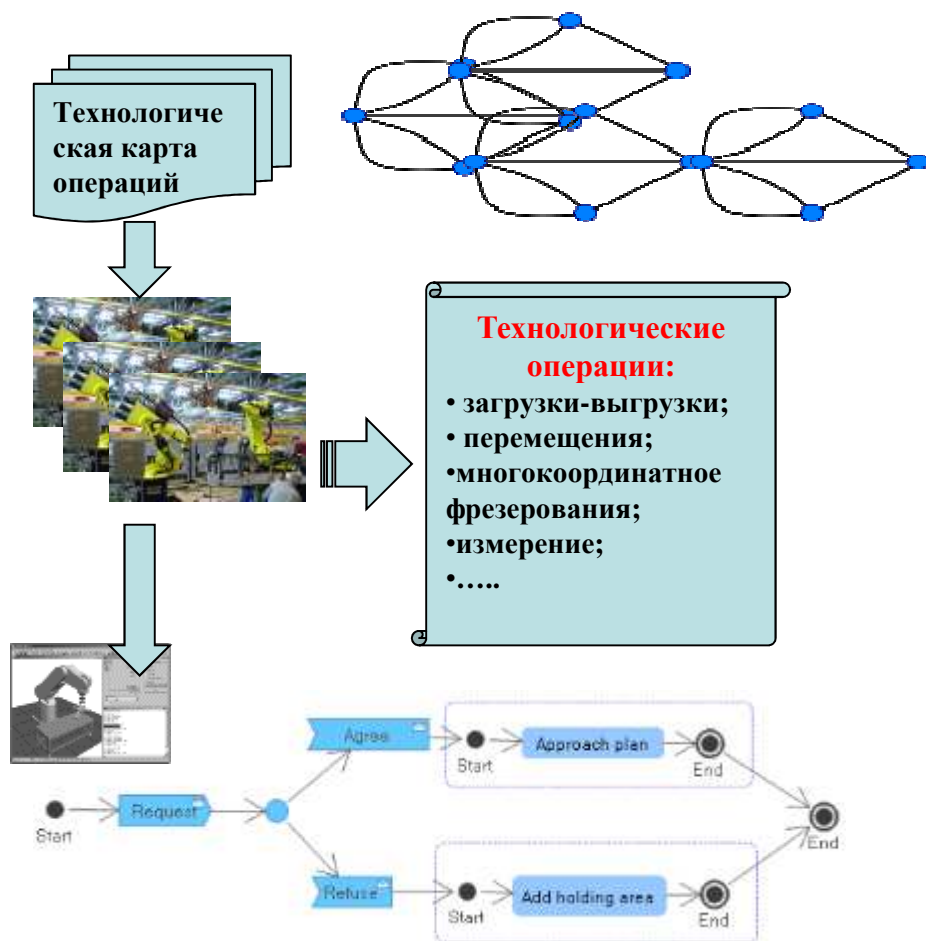
COSIMIR® Industrial:

Среда профессиональной разработки ПО и
моделирования роботизированных модулей
на базе многофункциональной платформы
Mitsubishi ®



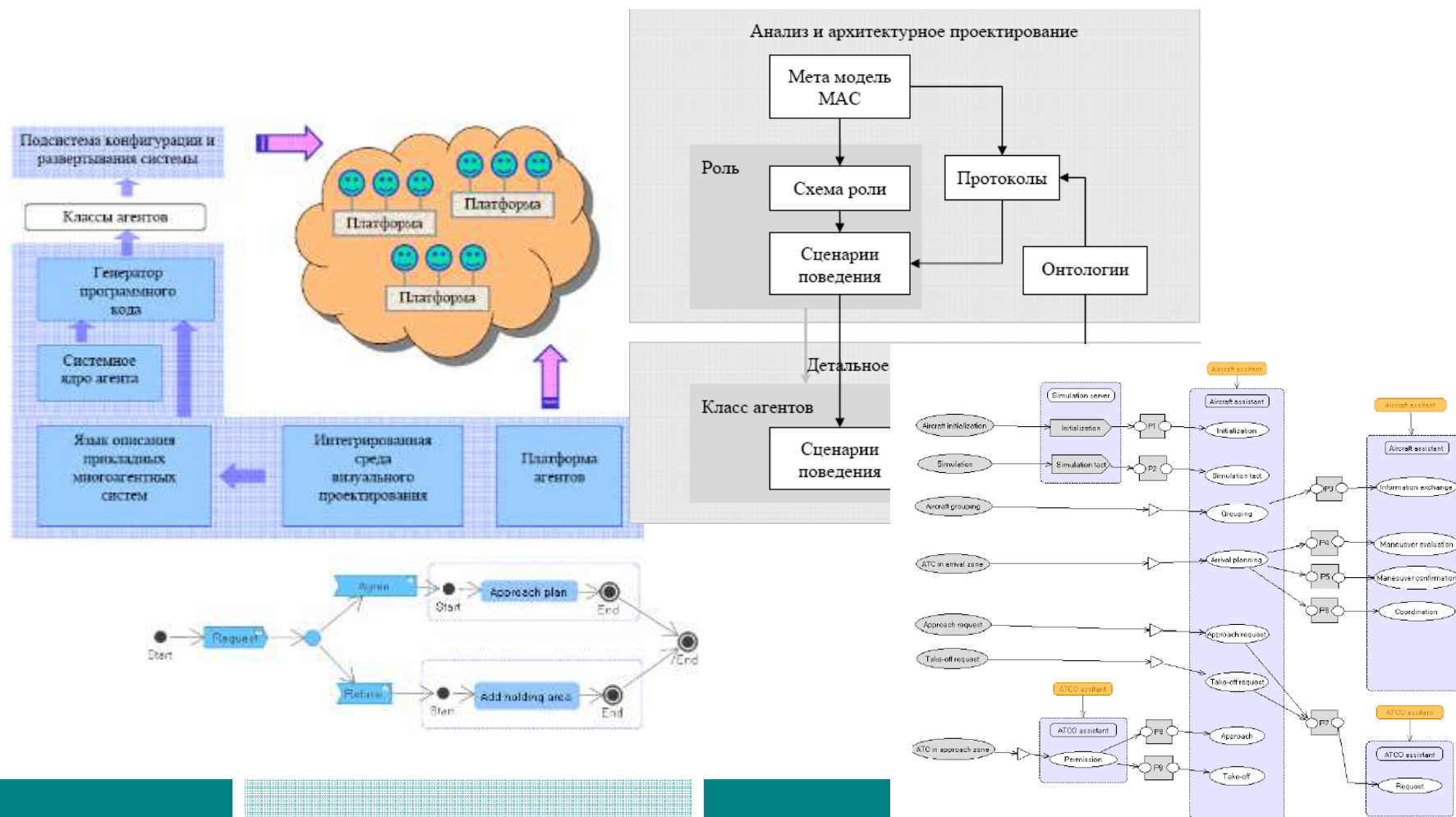


Адаптивная автоматизация и роботизация технологических цепочек: концептуальное моделирование процессов





Среда разработки платформы управления роботизированным технологическим процессом MASDK*)

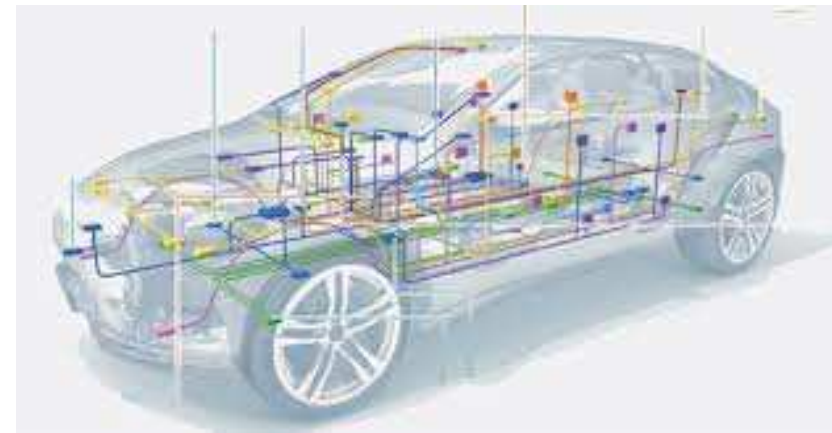
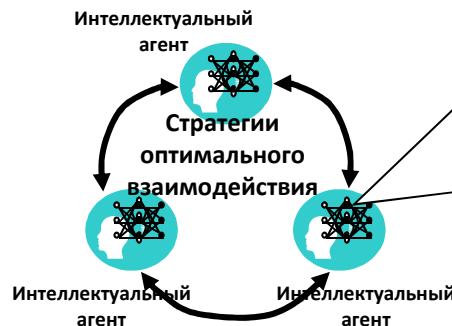
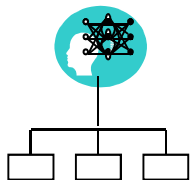




Групповое Управление Сложными и Распределенными объектами

- Формулируется как иерархическая многоуровневая сеть задач;
- Многоцелевая функция управления, реализуемая на основе стратегий многокритериальной оптимизации;
- Мультиагентная архитектура среды управления построена на основе рационального распределения задач управления между составными элементами среды.

От централизованного к
децентрализованному
управлению



Daimler E class:
92 control units,
14 bus systems



Радиотелескоп РТ-70:
1900 элементов ГЗ,
2000 актюаторов



Подготовка и переподготовка кадров: кафедра «Системы и технологии управления» ИИТУ

Базовые
образовательные
программы

Бакалавриат: 27.03.04 «Управление в технических системах»

Магистратура: 27.04.04 «Управление в технических системах»

- Системы и технические средства автоматизации и управления
- Системы управления движением
- Интеллектуальные системы обработки информации и управления
- Корпоративные системы управления интегрированными производственными комплексами

Аспирантура: 27.06.01 «Управление в технических системах»

05.11.16 Информационно-измерительные и управляющие системы

Программы целевой
подготовки и
переподготовки

- «Проектирование и исследование робототехнических и мехатронных промышленных комплексов в интегрированной виртуальной среде COSIMIR»
- Программирование промышленных контроллеров S7 – 300/400
- «Интеграция бизнес процессов в среде SAP TERP 10»

Международные
образовательные
программы

- «Передовые промышленные технологии» - международный семестр
- Международные магистерские программы двух дипломов (http://www.spbstu.ru/collaboration/opds/edp_1.asp).
- Международного научного семестра;
- Краткосрочные программы обменов, летних и зимних школ, ознакомительных практик;





Выполненные проекты:

1. Разработка интеллектуальной информационной системы мониторинга и оптимизации потребления энергоресурсов для жилищно-коммунального хозяйства ФЦП – BRICS

Приоритетное направление: Энергоэффективность, энергосбережение и ядерная энергетика.

Критическая технология: Технологии информационных, управляющих, навигационных систем

2. Разработка интеллектуального алгоритма и создание системы управления автономной ветроэлектростанцией ФЦП Приоритетное направление: Энергоэффективность, энергосбережение и ядерная энергетика.

Критическая технология: Технологии информационных, управляющих, навигационных систем

3. Создание диагностического модуля распределенной интеллектуальной управляющей сети Siemens

4. Программирование гибких автоматизированных производств и роботизированных комплексов

5. Управление непрерывными динамическими технологическими процессами

6. Создание системы технического зрения

8. Децентрализованное управление в распределенных системах и технологических линиях (SAP/Siemens)

9. Распределенное управление адаптивной поверхностью главного зеркала радиотелескопа ФИАН РАН.

10. Снижение шума в обитаемом служебном модуле международной космической станции (МКС) РКК "Энергия"

11. Модель транснациональной компании с использованием информационных технологий SAP/Siemens

13. Проектирование инженерных образовательных программ, согласованных со стандартами EQF и EUR-ACE TEMPUS

14. Разработка и отработка технологии автоматизированного литья деталей
НИИ Поиск



Изобретения

1.

- **Интегрированная гибридная система децентрализованного управления автономной ВЭС (ноу-хау 2013)**
- **Автоматизированная интеллектуальная система мониторинга и оптимизации энергопотребления (ноу-хау 2012)**
- **Автоматизированная интеллектуальная система мониторинга и оптимизации энергопотребления (Программа для ЭВМ 2013)**



Наши партнеры

Российские:

Научные центры:

РАН (Москва);

ФИАН (Москва);

Институт программные систем РАН
(Москва) ;

СПИИРАН (С.Петербург);

ООО «Ленинец» (С.Петербург);

Компании:

РАО РЖД; ОАО «Силовые машины»;

РКК «Энергия»; ЦКБ «Рубин» ...

Зарубежные:

Университеты и центры:

Европейская платформа технических
университетов;

WC2 network;

CITY Univ. of London

Leibniz Univ. Hannover

...

Компании:

SIEMENS

SAP;

GM;

...



**Спасибо
за внимание!**

www.spbstu.ru



40