



Объединенный институт
ядерных исследований
НАУКА СБЛИЖАЕТ НАРОДЫ



ЛАБОРАТОРИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ
имени М.Г. Мещерякова

Тема доклада:

Программные инструментарии проектирования встраиваемых интеллектуальных систем управления на основе мягких и квантовых вычислений (на примере азотного сборника испытательного стенда фабрики магнитов)

Беспалов Ю.Г., Никифоров Д.Н., Решетников А. Г., Ульянов С.В.

**Докладчик: к. т. н, PhD, с. н. с.
Решетников А.Г.**

Дубна, 2025

Постановка задачи и ожидаемый результат

Цель доклада :

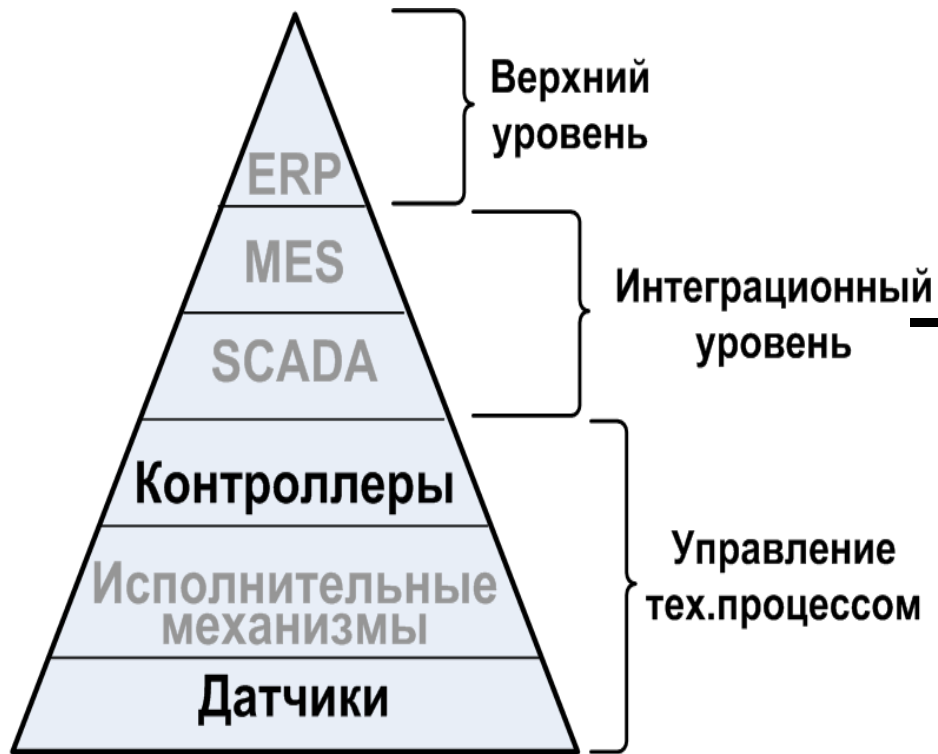
демонстрация результатов разработки отечественной информационной технологии проектирования встраиваемых самоорганизующихся контроллеров на основе квантовых и мягких вычислений

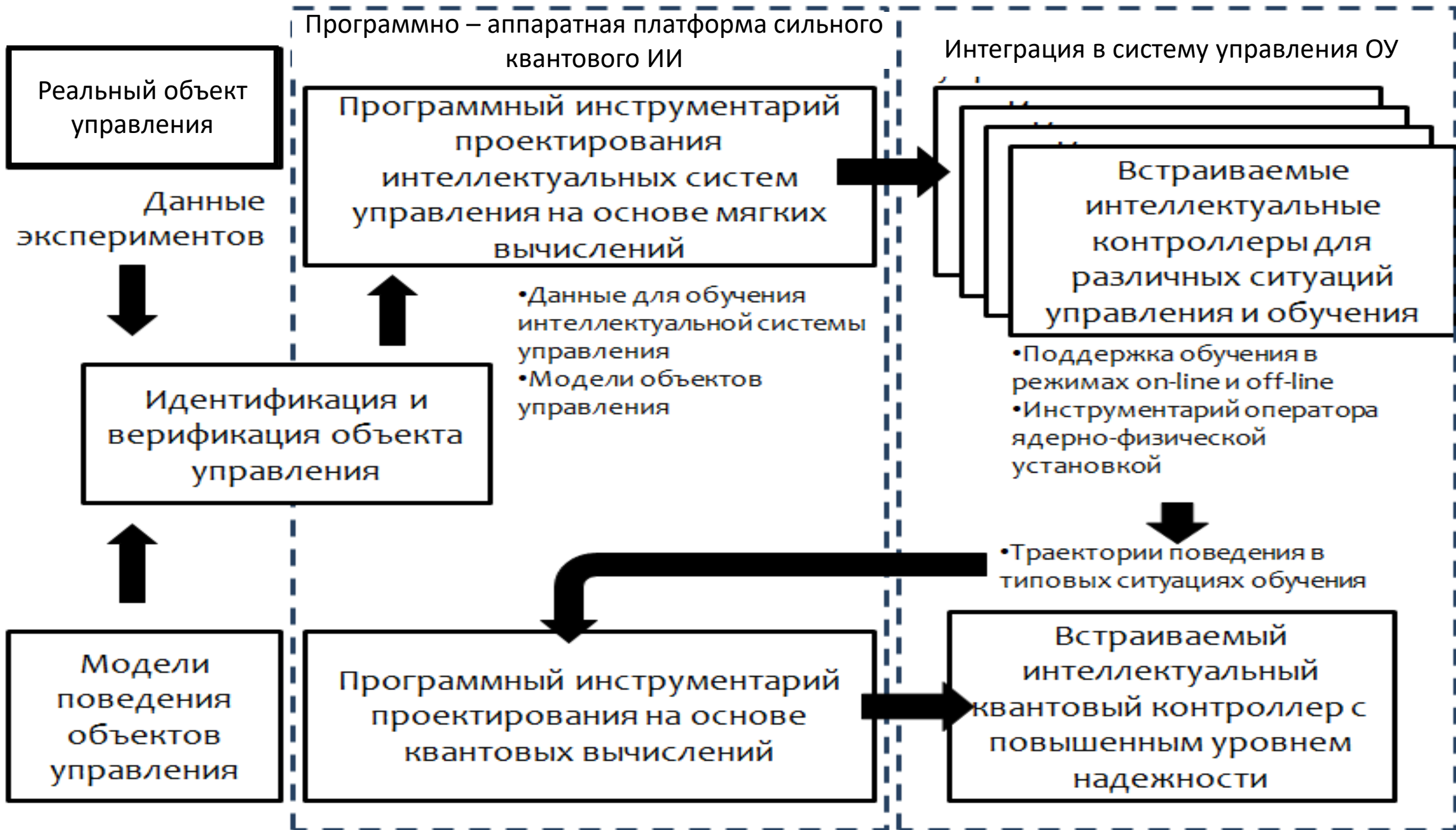
Содержание доклада:

- Технология проектирования, её роль и место интеллектуальном управлении
- Программная поддержка процесса проектирования интеллектуальной системы управления
- Этап проектирования нечётких нейронных контроллеров
- Этап проектирования квантового нечёткого вывода (КНВ)
- Примеры апробации на классических задачах теории управления
- Интеллектуальное управление системой азотного охлаждения СП магнита
- Моделирование квантового нечёткого вывода на симуляторе с классической архитектурой
- Энтропийные показатели эффективности сравниваемых регуляторов

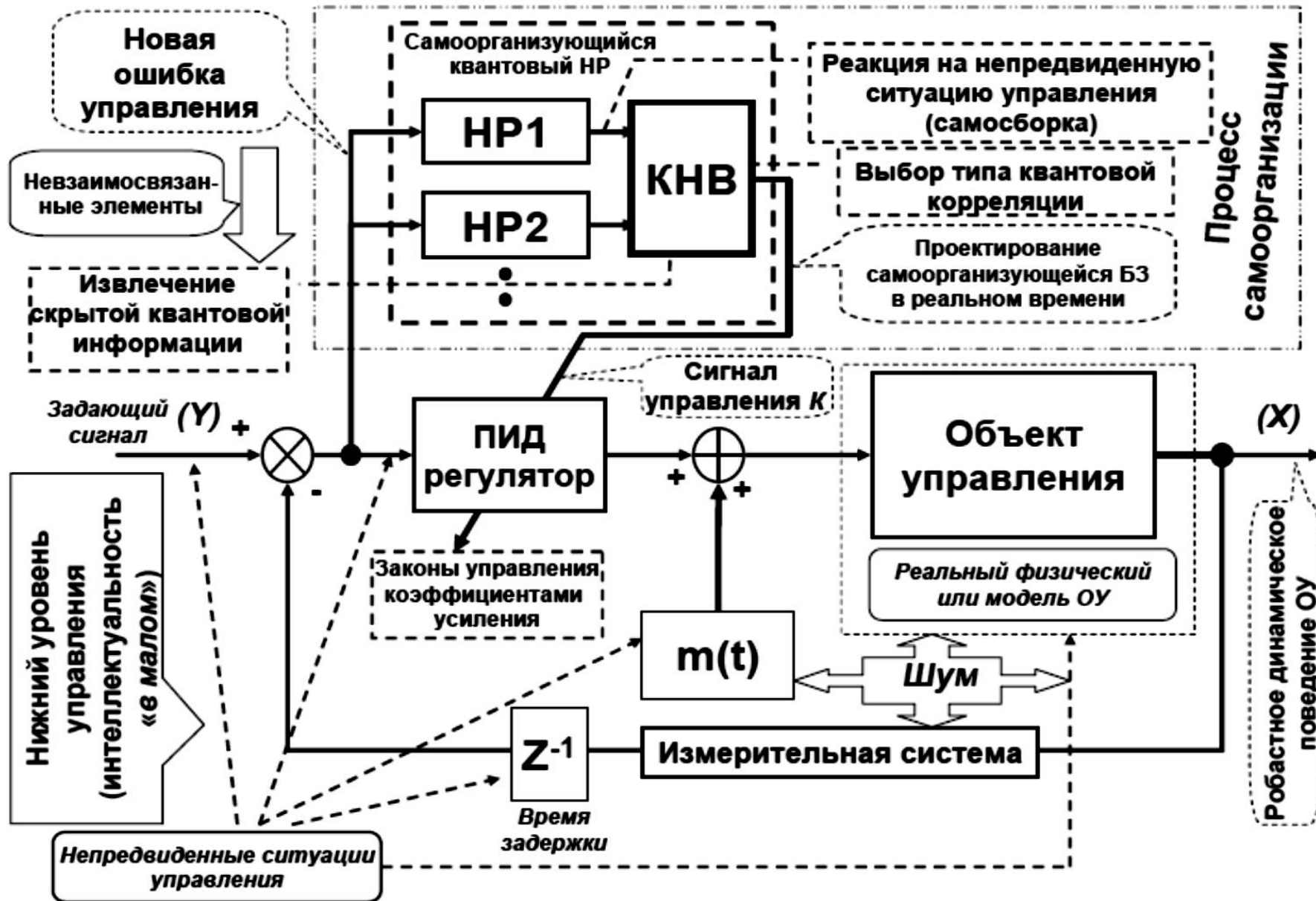
Заключение и выводы

Роль и место ИСУ





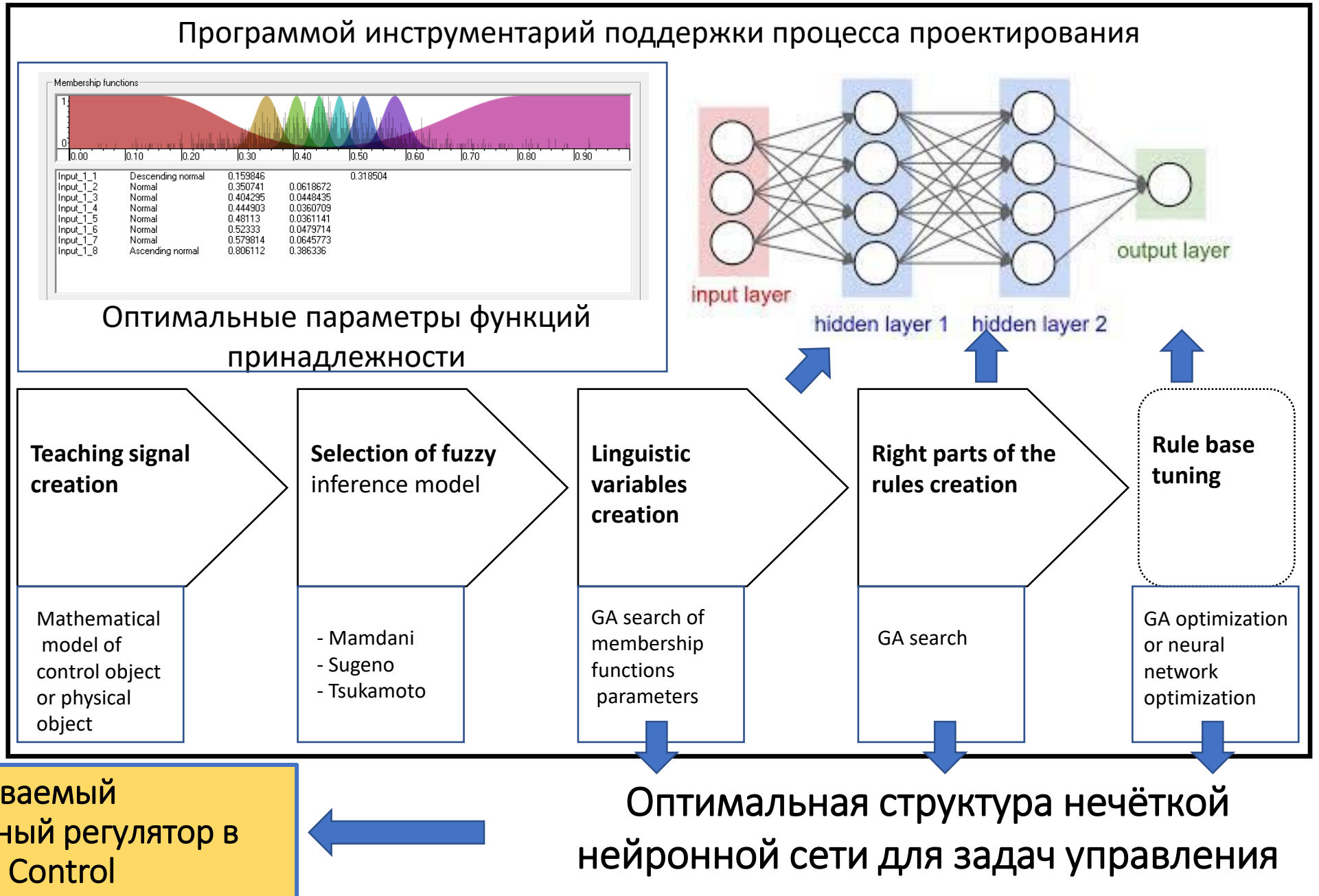
Квантовый нечёткий вывод



Технология проектирования интеллектуальных систем управления на основе оптимизатора баз знаний на мягких вычислениях

S.V. Ulyanov, System for intelligent control based on soft computing. US Patent, US 6,721,718, B2, Apr. 13, 2004

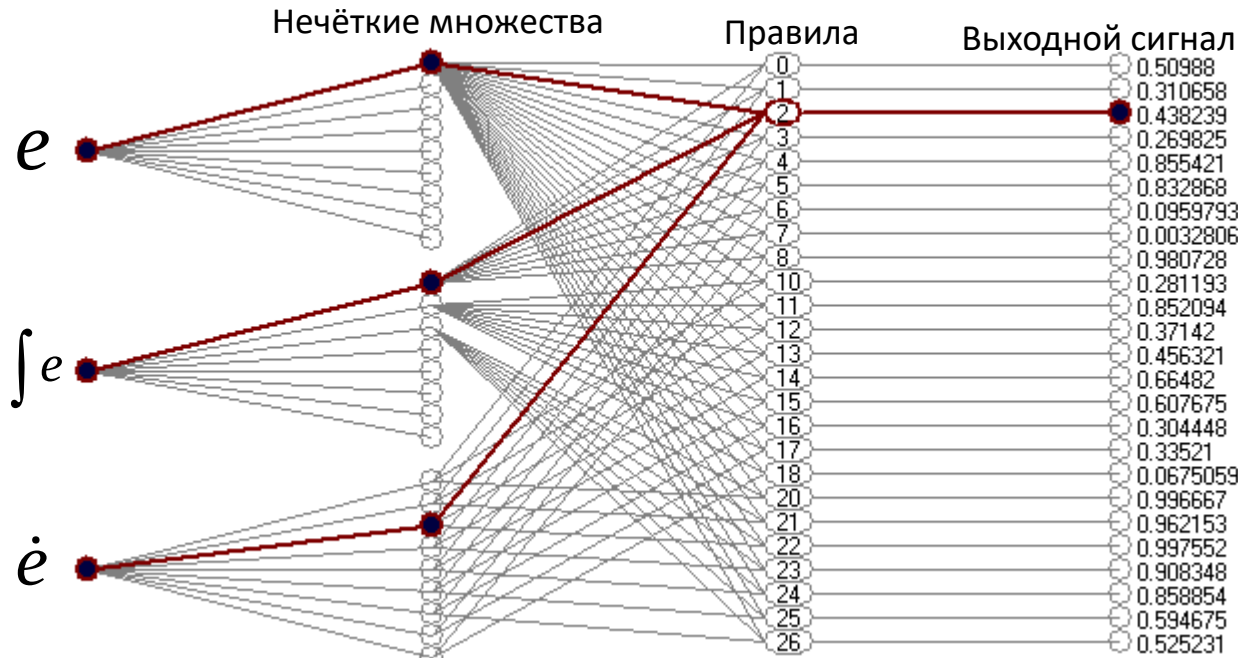
S.V. Ulyanov et al., System for soft computing simulation, US Patent, US 2006/0218108 A1, Sep. 28, 2006



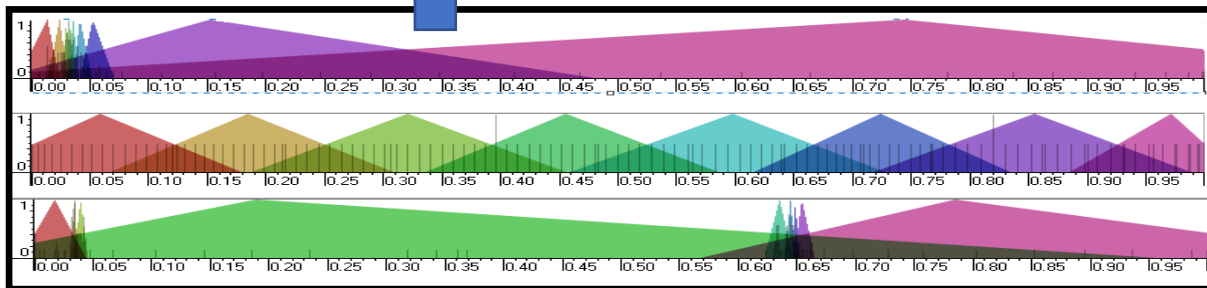
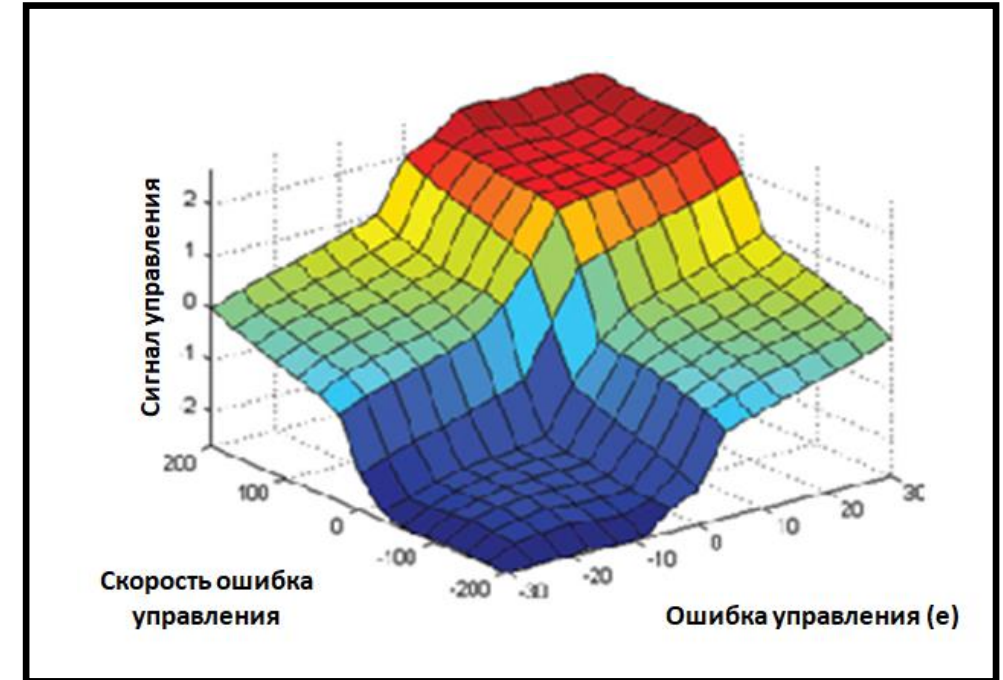
Информационная технология проектирования (ЭТАП 1)

Правила вида: если $e \in A'$ и $\int e \in A'$ и $\dot{e} \in A'$ то k_p, k_i, k_d

Структура нечёткой нейронной сети

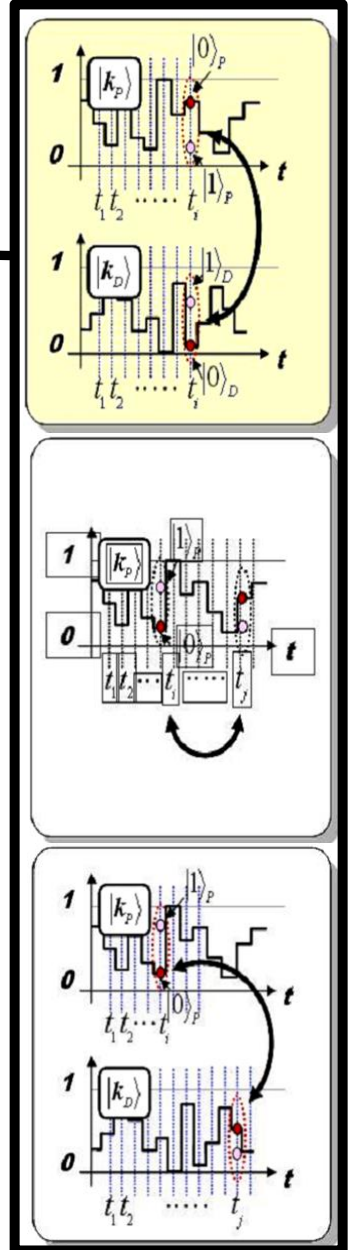
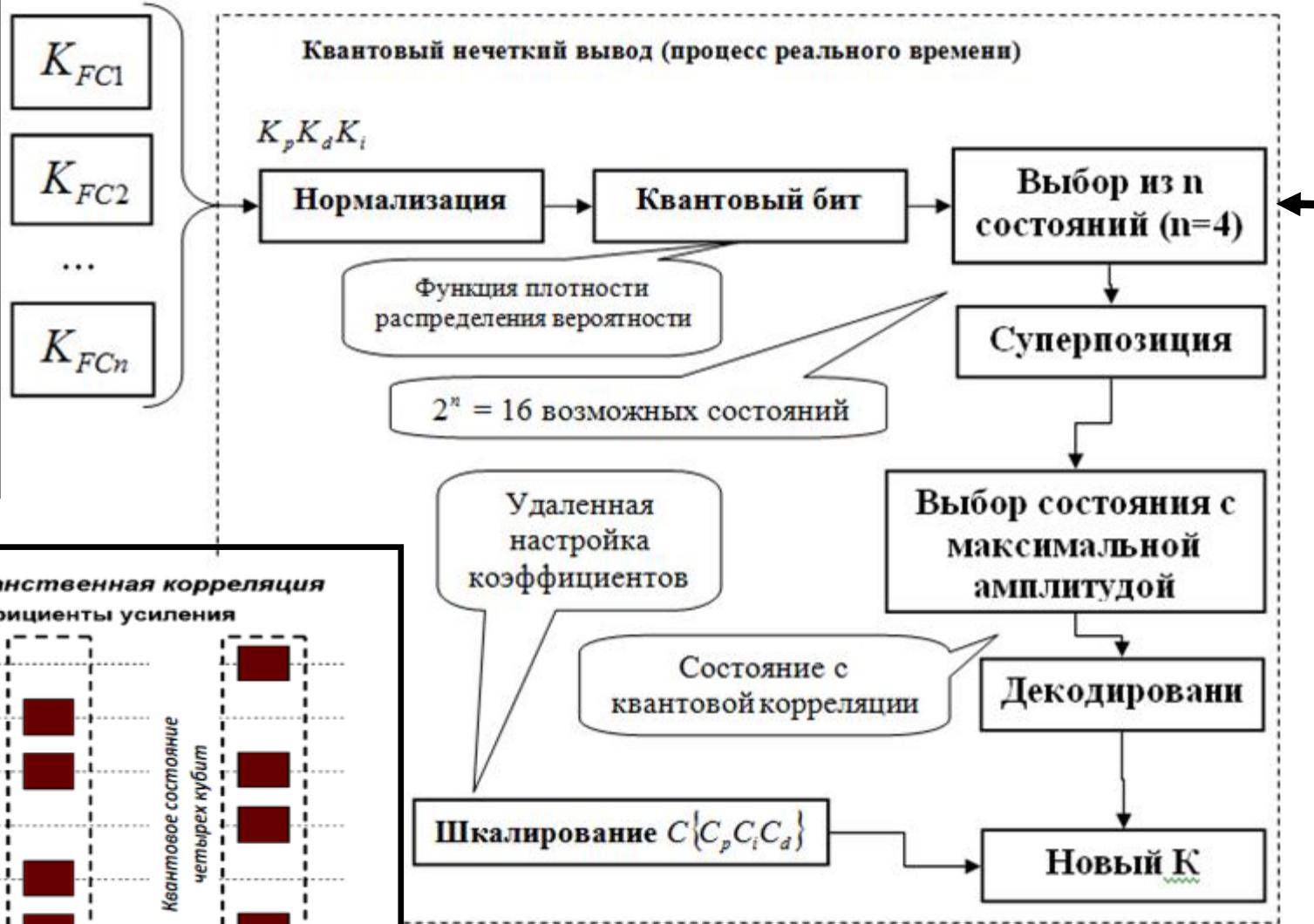
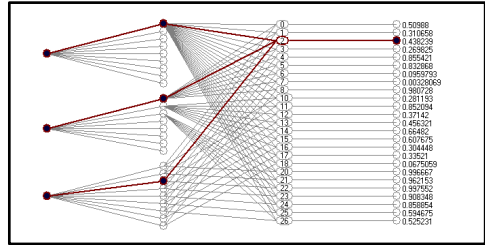
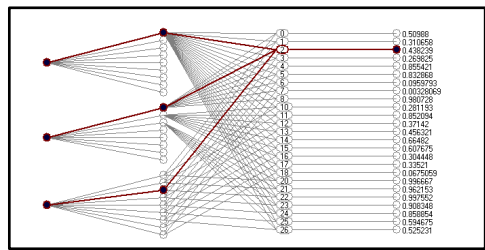


Поверхность принятия решения
нечёткого контроллера



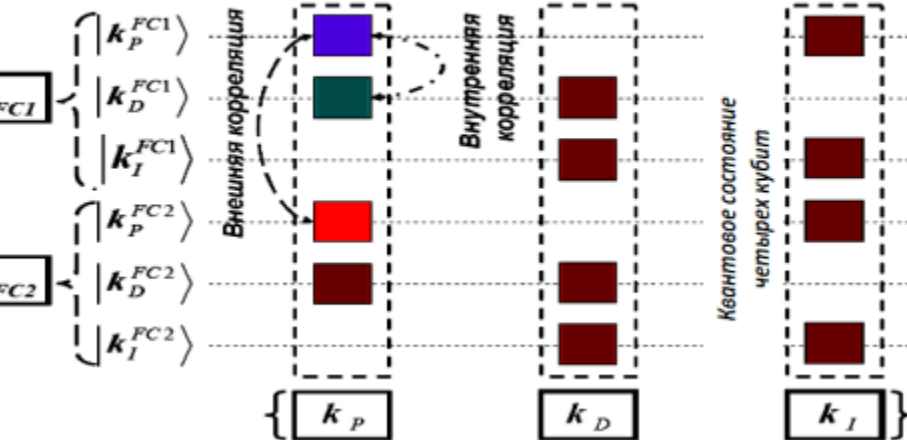
Нечёткие множества
описывающие
входной сигнал

Квантовый нечёткий вывод (Этап 2)



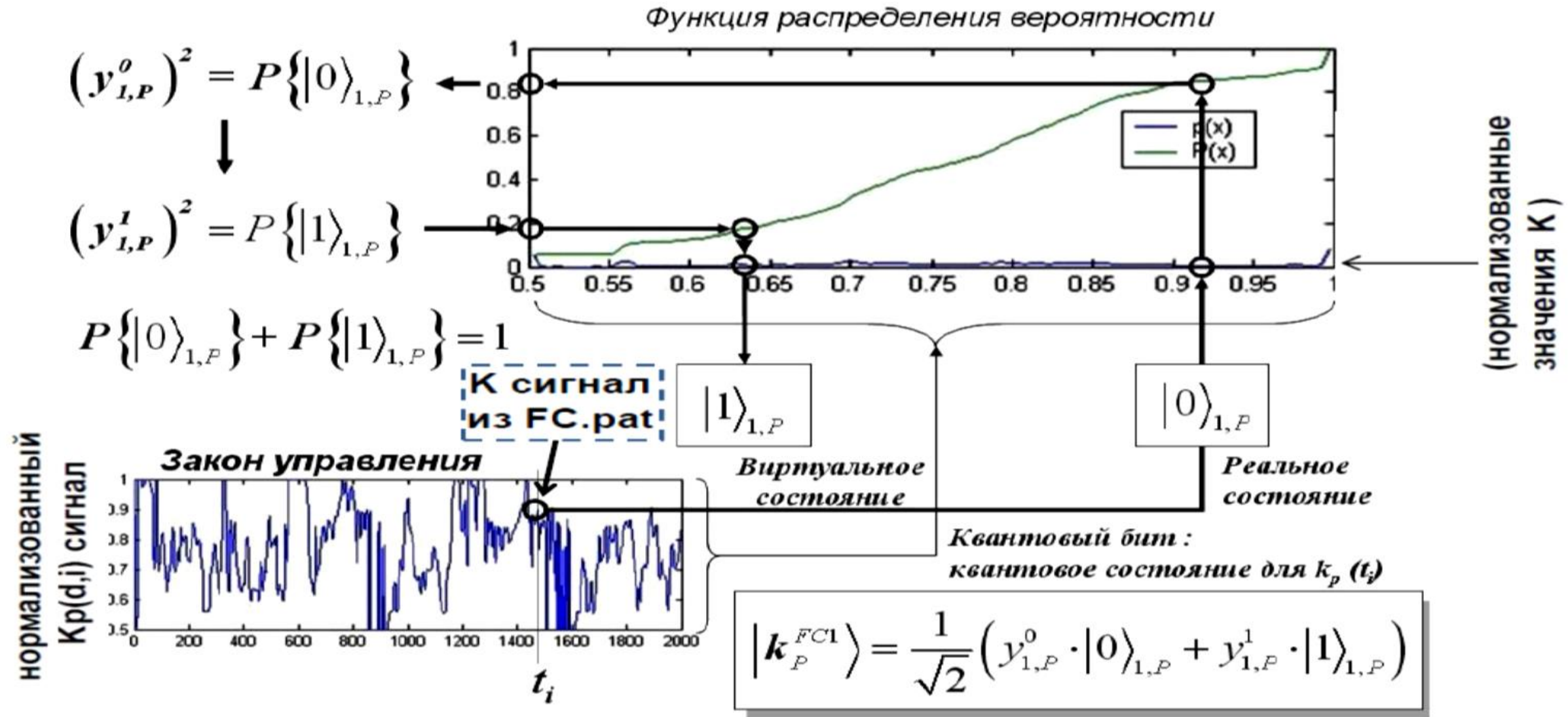
Внутренняя & внешняя пространственная корреляция

Новые коэффициенты усиления

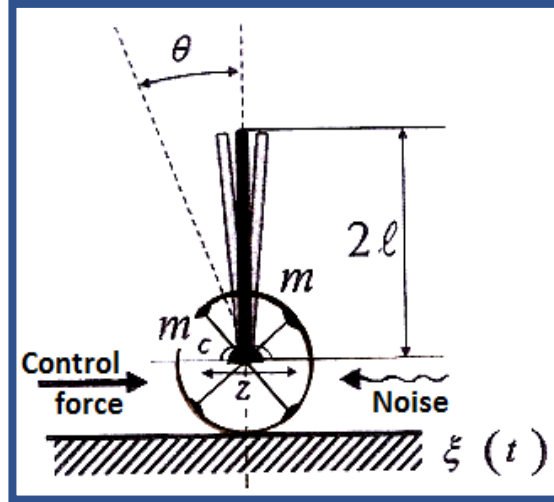


Реализация на классической архитектуре процессора

Квантовый бит. Формирование суперпозиции состояний

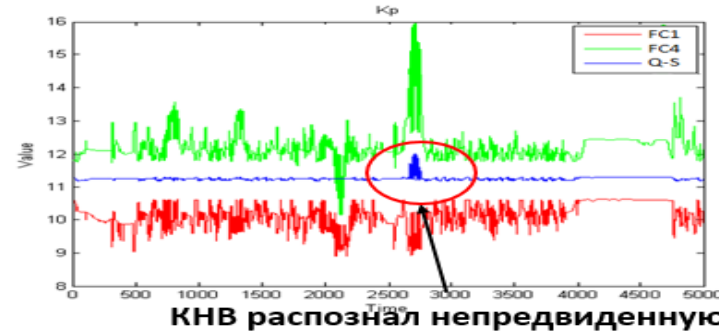
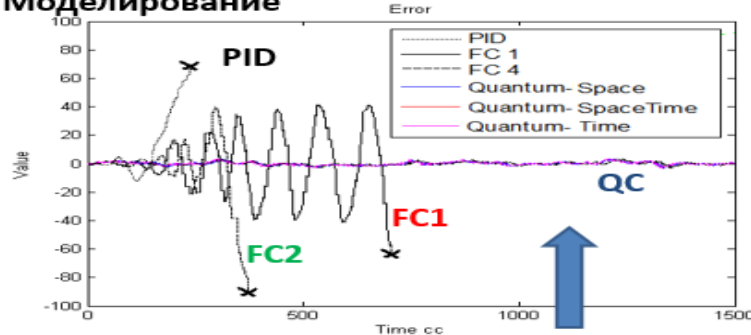


Пример Робототехника



7 Degree of freedom

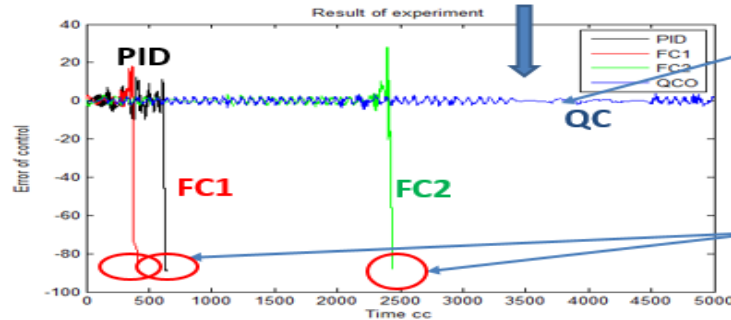
Моделирование



КНВ распознал непредвиденную ситуацию

Эксперимент

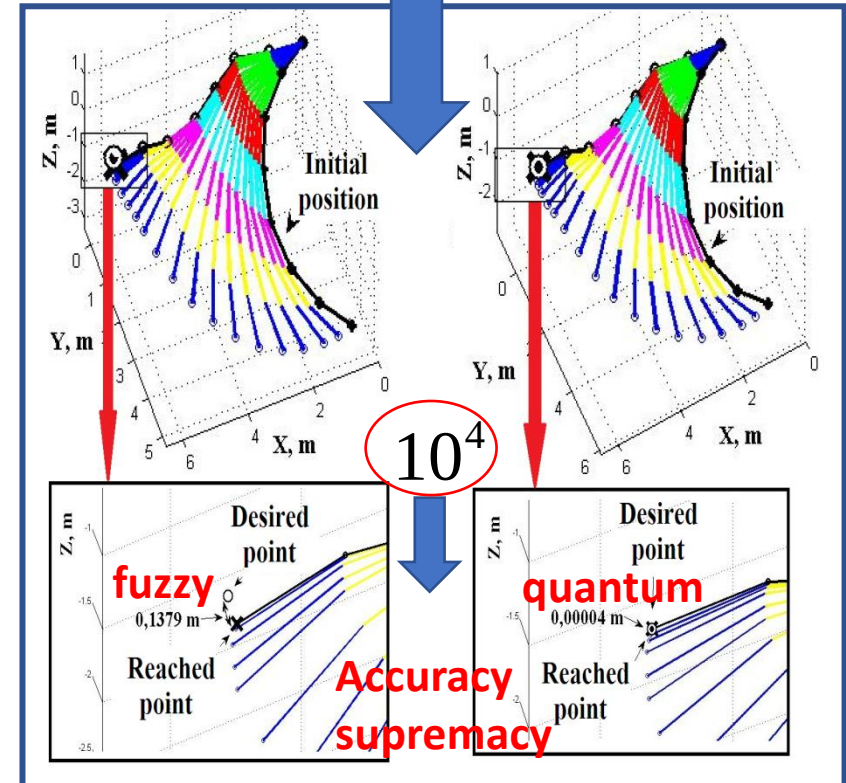
Синергетический эффект самоорганизации баз знаний



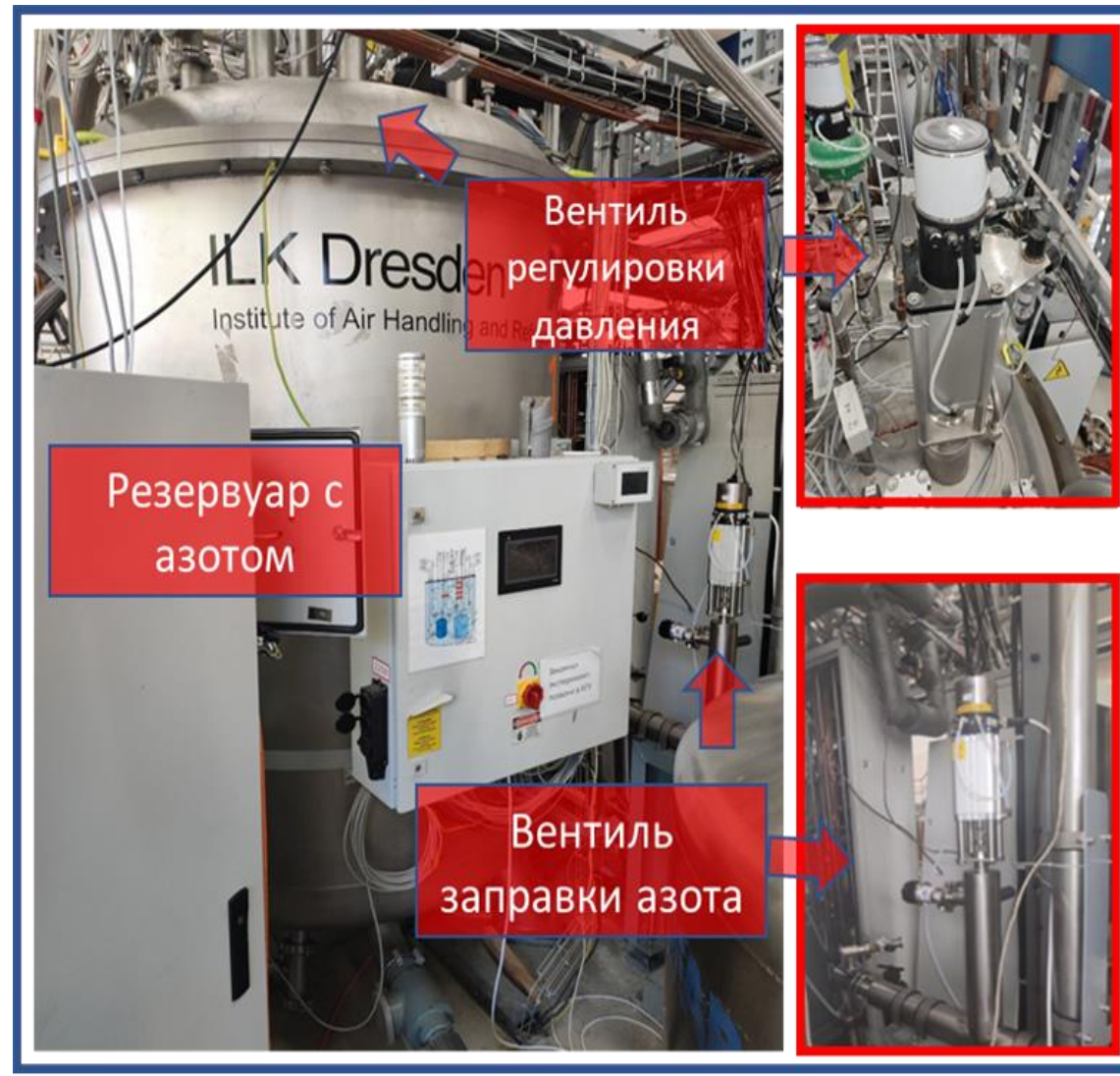
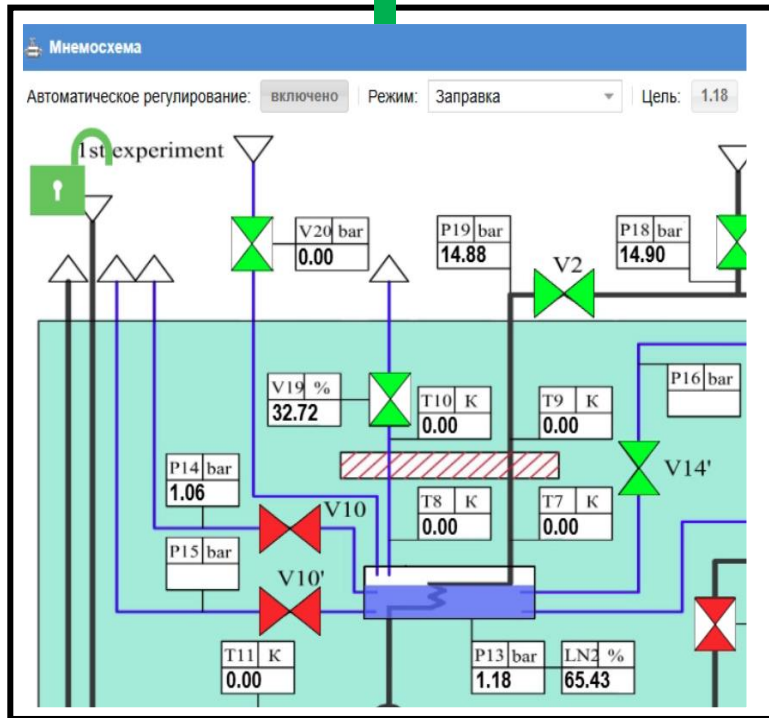
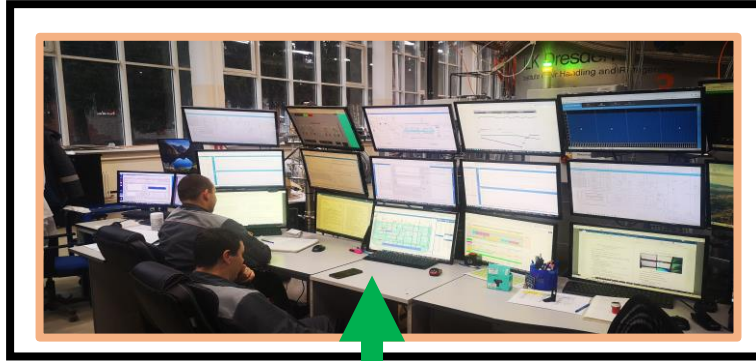
Достижение цели управления в непредвиденной ситуации управления

В непредвиденной ситуации регуляторы не справились с задачей управления

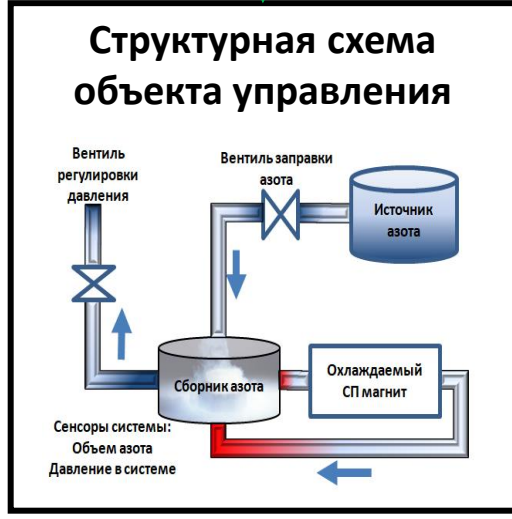
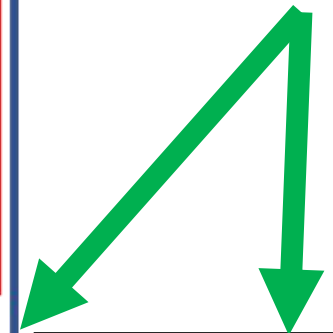
Базис обеспечения программного влияния на надёжность системы



Управление давлением и расходом жидкого азота в криогенной системе

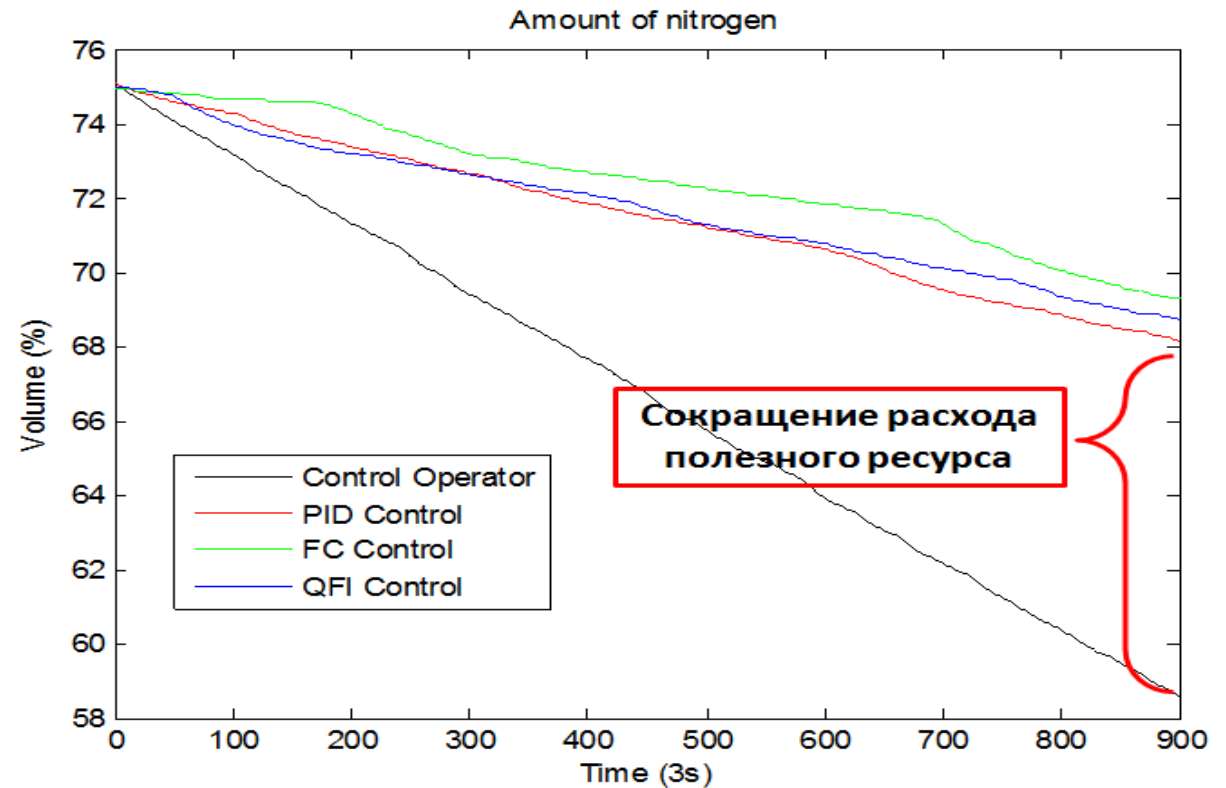
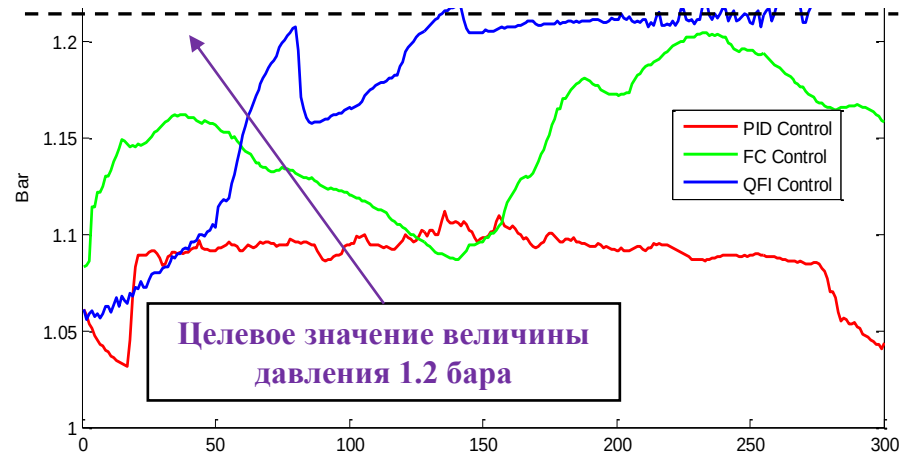
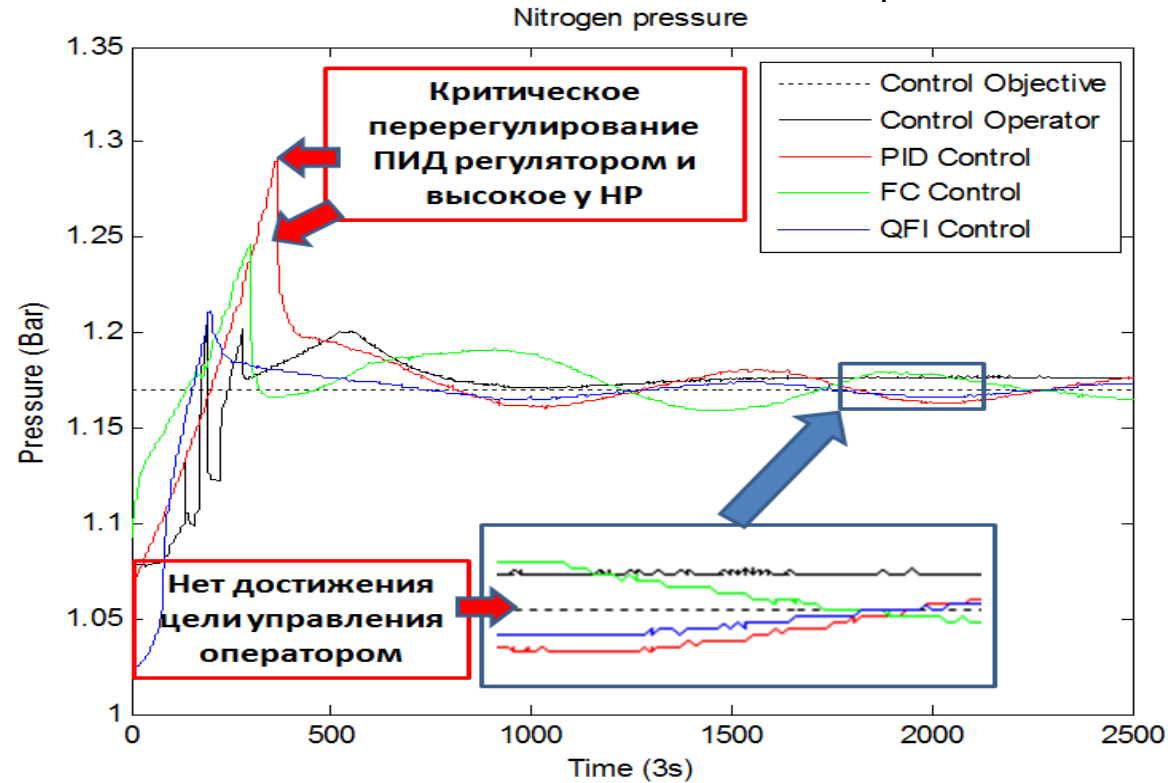


Скрытые нелинейные СВЯЗИ



Квантовое интеллектуальное управление

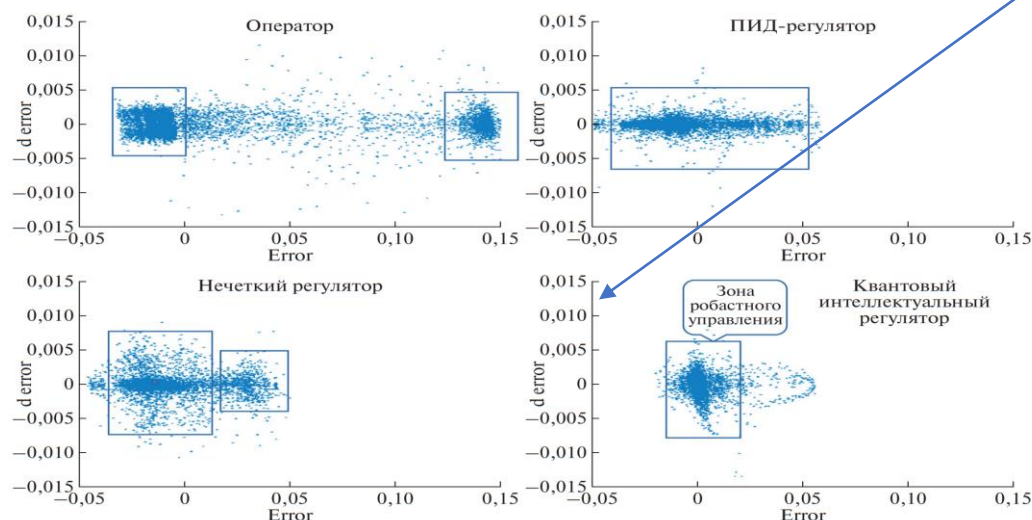
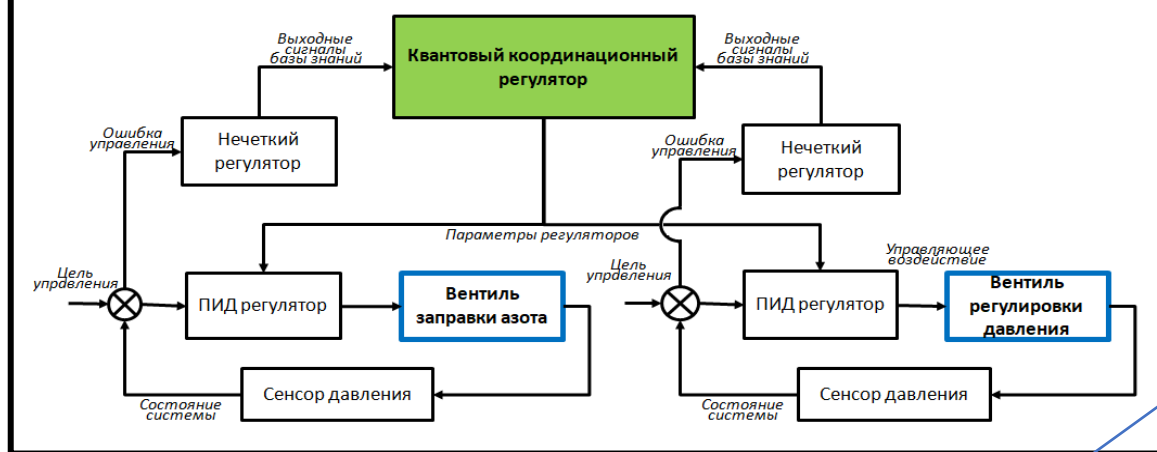
Интеллектуальная система автоматического управления азотным сборником сателлитного гелиевого рефрижератора #1 на участке криогенных испытаний СП магнитов в ЛФВЭ



- Квантовый регулятор (синяя кривая) обладает почти в 5 раз быстрее в достижении целевого значения, чем наиболее близкий к нему регулятор на мягких вычислениях (зеленая кривая), при этом PID-регулятор (красная кривая) не достигает целевого значения.
- Квантовый регулятор демонстрирует низкое перерегулирование и точность достижения цели управления в сравнении с остальными типами регуляторов.
- Автоматическое управление на основе квантового регулятора позволяет сократить расход азота на 53%.

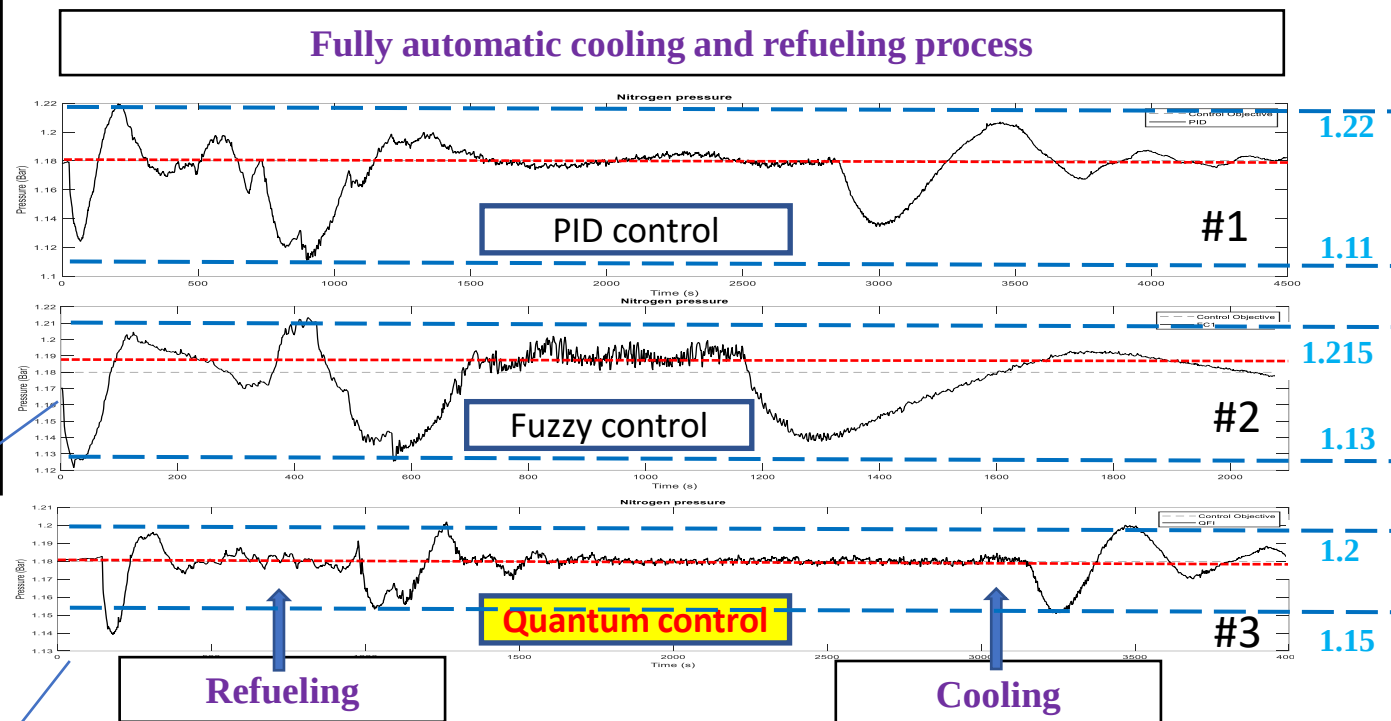
Квантовое координационное управление

КВАНТОВЫЙ КООРДИНАЦИОННЫЙ РЕГУЛЯТОР НА ОСНОВЕ НЕСКОЛЬКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ



Контроль процесса достижения заданного уровня давления

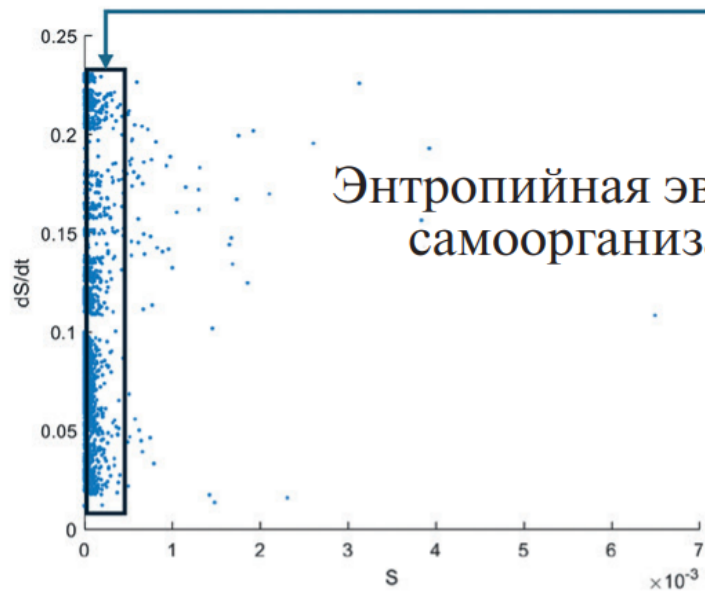
Fully automatic cooling and refueling process



Процесс обучения как нечетких, так и квантовых контроллеров происходит без участия оператора

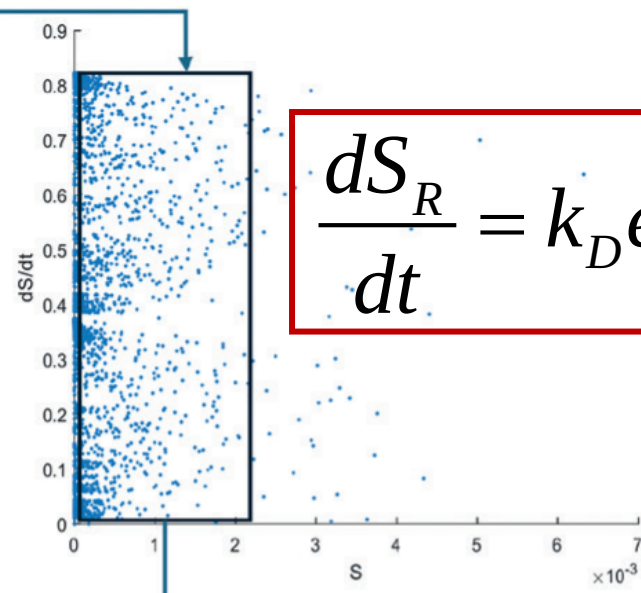
Оба азотных вентиля управляются 3-х режимах: режиме адаптации, режиме обучения и самоорганизации

Квантовый регулятор (№3) почти в 5 раз быстрее достигает целевого значения, чем ближайший к нему мягкий вычислительный (нечеткий) контроллер (кривая №2), тогда как ПИД-регулятор (кривая №1) имеет слабую производительность и высокое перерегулирование. Квантовый контроллер демонстрирует меньшее превышение заданного уровня давления (=1,18 бар) и более высокую точность достижения цели управления по сравнению с другими типами контроллеров. Автоматическое управление на основе квантового контроллера снижает расход азота на 53%.



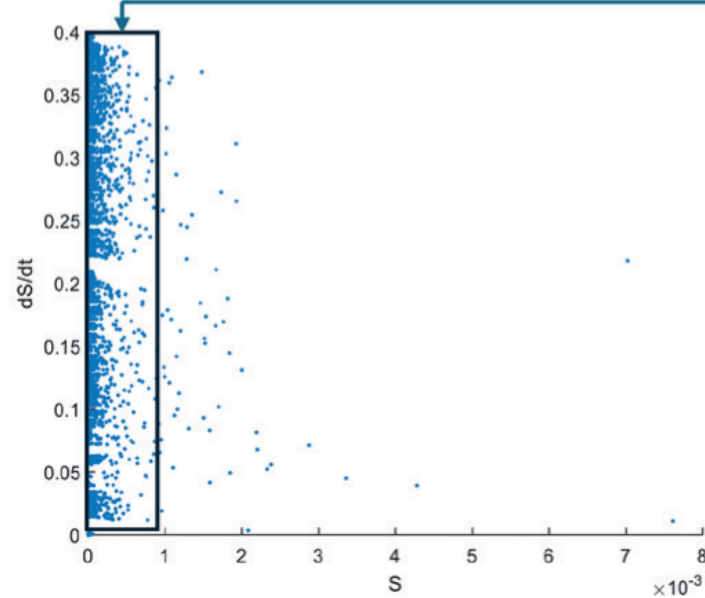
Энтропийная эволюция
самоорганизации

а)

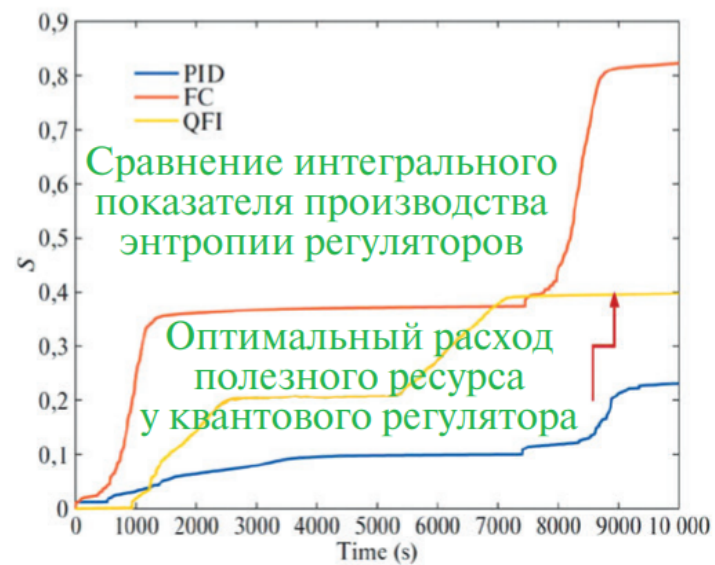


$$\frac{dS_R}{dt} = k_D \dot{e} \cdot \dot{e}$$

б)



в)



г)

Энтропийный фазовый портрет:

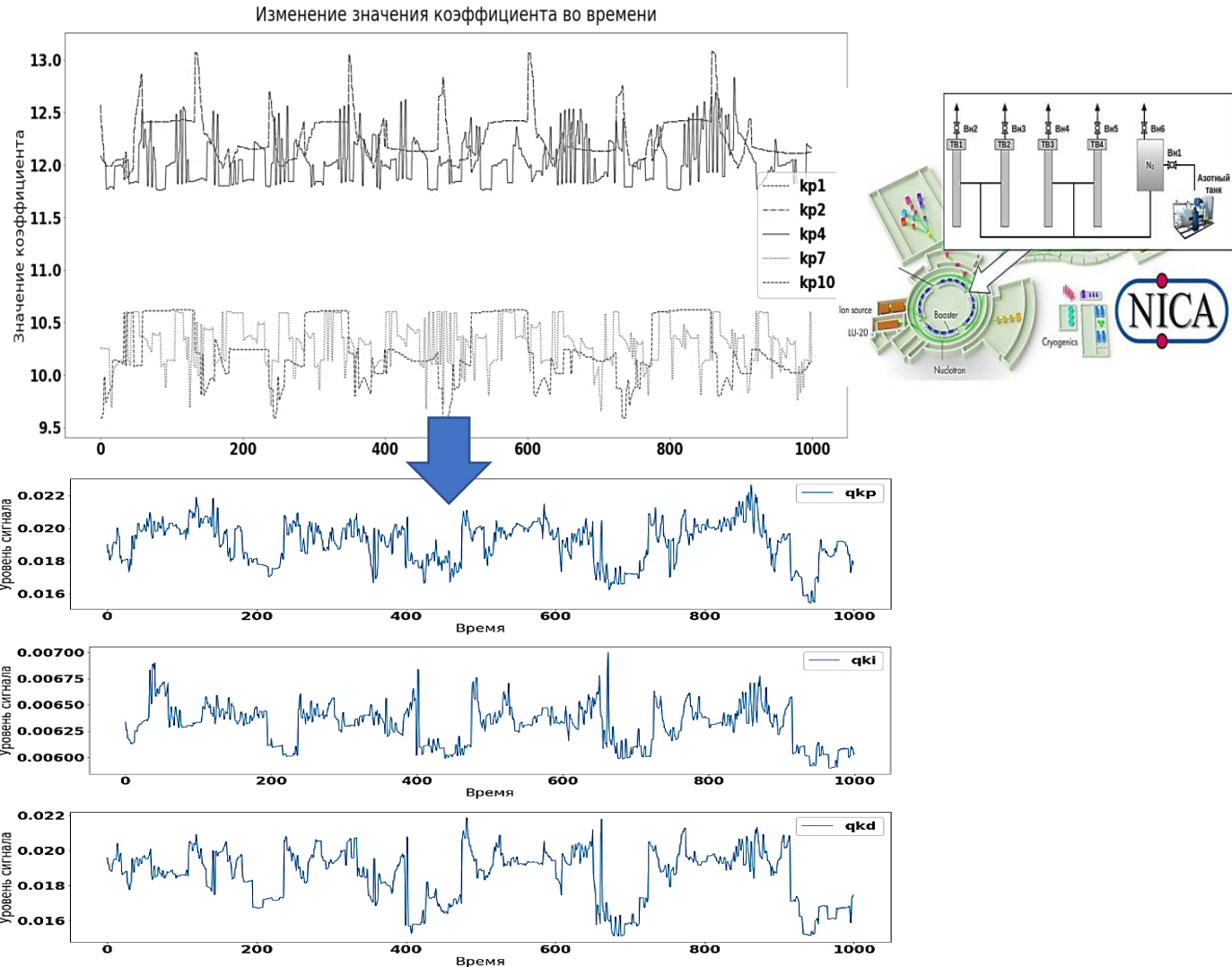
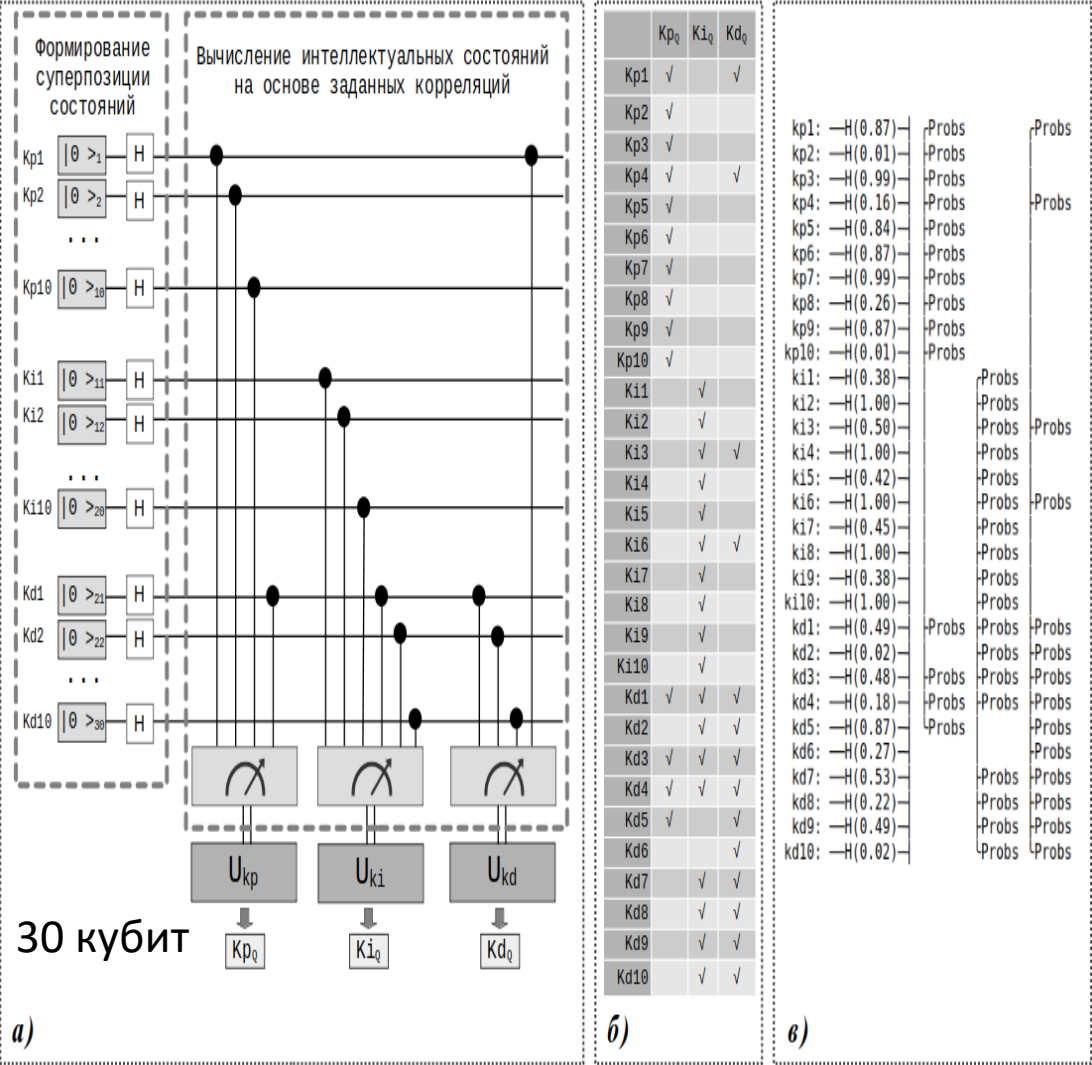
а — для ПИД-регулятора;
б — для НР;
в — для квантового регулятора;
г — сравнение интегрального показателя производства энтропии регуляторов.

Вывод:

Квантовый регулятор на КНВ рационально расходует полезный ресурс и гарантированно достигает цели управления в нештатных ситуациях

Экспериментальное подтверждение закона интеллектуального управления (оптимальный расход полезного ресурса при максимальном достижении цели управления)

Пример 4: Моделирование системы управления расходом азота для поддержания рабочих температур ВТСП части токовыводов правого и левого плеч измерительного периода Бустера



Публикационная активность



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ
ДАВЛЕНИЕМ И РАСХОДОМ
ЖИДКОГО АЗОТА В КРИОГЕННОЙ СИСТЕМЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ
МАГНИТОВ:

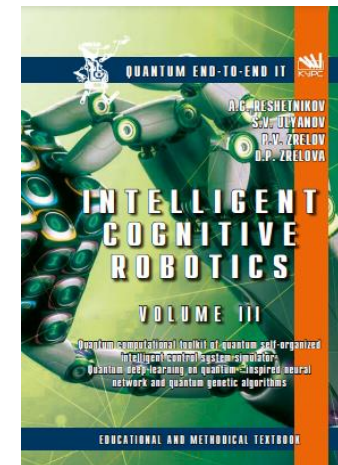
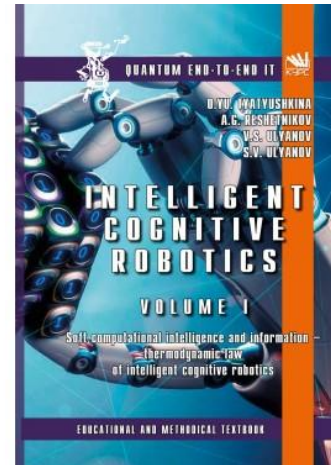
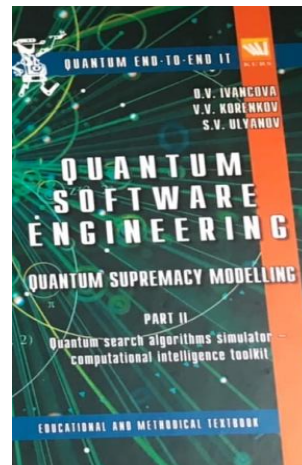
ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ ПЛАТФОРМА

А.В. Бутенко, П.В. Зрелов, В.В. Кореньков, С. А. Костромин,
Д.Н. Никифоров, А.Г. Решетников, С.В. Семашко, Г.В. Трубников, С.В. Ульянов

«Интеллектуальная координационная система
управления на основе квантового нечеткого вывода
для Tango Controls»

1. 33-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА» 29-30 сентября 2022 года

2. XIV Международный научный семинар памяти профессора В. П. Саранцева «Проблемы коллайдеров и ускорителей заряженных частиц»,
20-25 сентября, г. Алушта, Крым.



Заключение

- Экспериментальная программа NICA должна сопровождаться повышенным уровнем повторяемости и надежности проводимых исследований, в том числе, за счет ИСУ, способных адаптироваться и обучаться под различные ситуации управления, в том числе и непредвиденные.
- Из многочисленных моделей управления предлагается использовать технологии мягких и квантовых вычислений, т.к. эти инновационные сквозные квантовые технологии составляют программно-алгоритмическую платформу для проектирования иерархических самоорганизующихся ИСУ, способных функционировать и достигать цели управления в условиях непредвиденных (нештатных) ситуаций и информационного риска с требуемым уровнем робастности.
- Разработка сквозных квантовых ИТ стала приоритетной в ведущих странах и привела к развитию многих смежных технологий. Разработана отечественная технология, позволяющая решать классически алгоритмически неразрешимые задачи глобального робастного управления нелинейными ОУ в штатных ситуациях.
- Решение таких задач осуществлено за счет обнаруженного синергетического информационного эффекта: из не робастных баз знаний (БЗ), не справляющихся с новой ситуацией управления, за счет применения квантового нечеткого вывода – КНВ (новый квантовый поисковый алгоритм самоорганизации знаний) – можно спроектировать в реальном времени робастную БЗ способную гарантированно достигать цель управления.
- Привлечение инновационных информационных технологий проектирования интеллектуальных информационных систем и технологий обработки больших данных, требует привлечение соответствующих программных инструментариев позволяющих обеспечить дополнительными инструментариями операторов физических установок и комплексов.

Спасибо за внимание



agreshetnikov@JINR.ru