

Национальный исследовательский университет
«МЭИ»

Кафедра Автоматизированных Систем Управления Тепловыми Процессами (АСУТП)

XIV Российский международный энергетический форум

КРУГЛЫЙ СТОЛ

Некоммерческого партнерства

«Научно-технический совет Единой энергетической системы» (НП «НТС ЕЭС»)

Доклад

На тему: Цифровизация и повышение эффективности современных АСУТП в энергетике

к.т.н., доцент,
председатель секции
АСУ ТП НП «НТС ЕЭС»
зав.каф. АСУ ТП НИУ «МЭИ»
Мезин Сергей Витальевич

Санкт-Петербург, 2026 г.

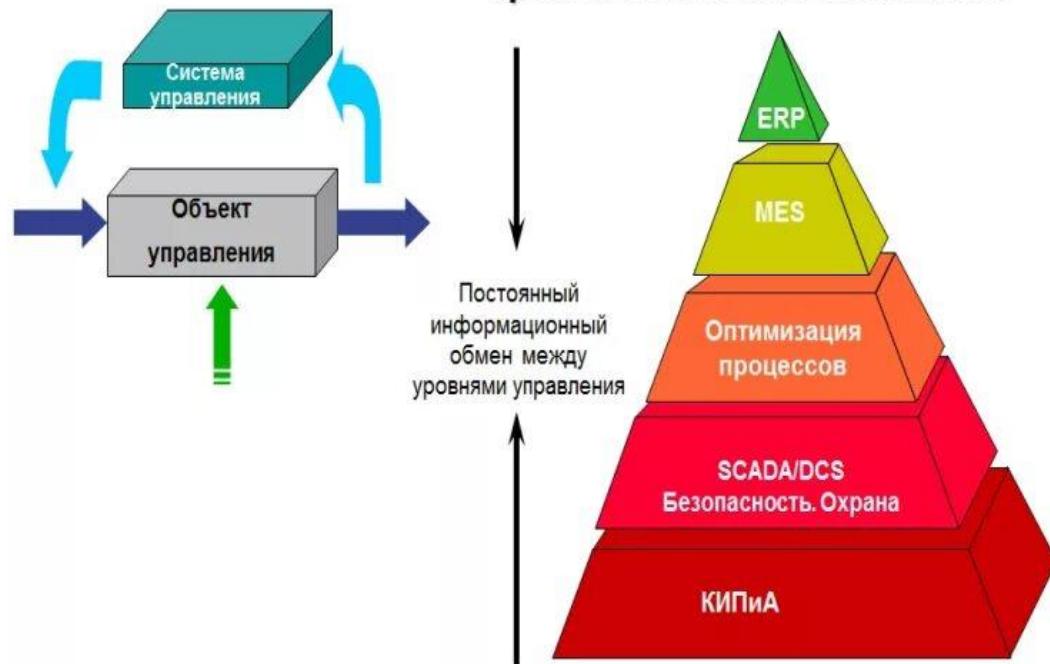
Эффективность автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) — это степень достижения целей, поставленных при их создании, с учётом соотношения результатов функционирования системы и затрат ресурсов.

Критерии эффективности АСУ ТП на производстве:

1. Надежность;
2. Функциональность;
3. Безопасность;
4. Экономичность;

...

Уровни автоматизации управления промышленными системами



Направления повышения эффективности современных АСУТП в энергетике, в т.ч. при помощи цифровизации:

1. повышение **интеллектуальности** современных АСУТП;
2. импортозамещение, доверенные ПАКи;
3. подготовка кадров;
4. снижение стоимости;
5. безопасность, в т.ч. безопасная интеграция с верхним уровнем управления
6. цифровые **двойники** и тренажеры





Проблемы повышения интеллектуальности современных АСУТП сложных технологических объектов, в том числе тепловых и атомных электростанций, являются **дискуссионными**, а оценка степени интеллектуальности связана с их **сложностью и разнообразием**.

Интеллектуальность автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) — это способность системы адаптироваться к изменяющимся условиям, анализировать данные, прогнозировать события, оптимизировать работу и принимать решения в режиме реального времени с использованием методов искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения и других технологий.

Ситуация в современных АСУТП, построенных на базе ПТК, складывается так, что заложенные в ПТК широкие возможности программного и информационного обеспечения используются далеко **не в полном объеме!**

Отсутствие в прикладном программном обеспечении алгоритмов оптимального управления приводит к тому, что сроки их окупаемости значительно **превышают** нормативную длительность жизненного цикла АСУТП.

Анализ техногенных аварий последних десятилетий показывает, что традиционные АСУТП не всегда способны обеспечить подготовку и принятие управленческих решений в условиях **неопределенности** поведения управляемого объекта и **быстрого изменения** его структуры и параметров.

В этих условиях возникает резонный вопрос – **достаточен ли достигнутый уровень интеллектуальности (автоматизации) и эффективности АСУТП на базе ПТК и что нужно делать на пути дальнейшего совершенствования систем управления сложными технологическими объектами, к которым относятся современные электростанции как на органическом, так и на других видах топлива.**

Иерархическая система ИАСУ

№ п/п	Уровень управления	Описание подсистемы
1	Верхний, стационарный	Организационная подсистема с функциями: <ul style="list-style-type: none">• рассуждения• планирования• решения оптимизационных задач с учетом внешних и внутренних текущих условий
2	Средний, блочный	Координационная подсистема с функциями: <ul style="list-style-type: none">• согласования по взаимодействию между верхним и нижним-блочным уровнями интеллектуализации с функциями, направленными на планирование работы нижнего уровня
3	Нижний, агрегатный	Исполнительная подсистема с функциями: <ul style="list-style-type: none">• управления аппаратными средствами, решающими сведенную к конкретным алгоритмам поставленную задачу с высокими требованиями к точности и функциями, которые базируются на методах теории автоматического управления

Основные результаты работы над методикой повышения интеллектуальности АСУ ТП ТЭС



- **Разработана** методика и алгоритм на ее основе по экспертной оценке уровня интеллектуальности систем управления применительно к АСУТП тепловых электростанций.
- Для оценки уровня интеллектуальности введен условный термин «*коэффициент интеллектуальности*».
- Результаты проведенных расчетов по разработанному алгоритму позволили **оценить** степень повышения уровня интеллектуальности за счет внедрения комплекса оптимизационных задач, предлагаемых к реализации от исходного уровня 0,3-0,35 для традиционных ТЭС и 0,35-0,44 для электростанций на базе современных ПГУ до уровня соответственно 0,45-0,5 и 0,45-0,52.
- На основе этих исследований разработана **методика** выбора приоритетных для реализации функциональных задач станционного уровня в рамках интеллектуализации АСУТП на базе ПТК.
- Выделены **критерии** эффективности для возможности оценки очередности внедрения.
- Рассмотрена **структурная схема** модели конфигурирования и расчета управления эффективностью Интеллектуальной АСУТП.
- Рассчитана оптимальная **последовательность** по реализации моделей в полном объеме, а также карта рангов при необходимости определения предпочтительной к реализации последовательности моделей функциональных задач в общем виде.

ПУНКТОМ 11 УКАЗА ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ОТ 07.05.2018 № 204 ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБОЗНАЧЕНА В КАЧЕСТВЕ ОДНОГО ИЗ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ

Минэнерго России разработан ведомственный проект «Цифровая энергетика»

СОЗДАНИЕ УСЛОВИЙ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЛАТФОРМЕННЫХ РЕШЕНИЙ

- Создание системы координации цифровой трансформации ТЭК России
- Формирование единой информационной среды энергетики
- Разработка нормативно-правовой и нормативно-технической базы
- Обеспечение подготовки высококвалифицированных кадров для цифровой энергетики
- Цифровизация государственного управления и контрольно-надзорной деятельности в отраслях топливно-энергетического комплекса

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА



- Снижение продолжительности перерывов электроснабжения и средней частоты технологических нарушений (SAIDI/SAIFI) на 5% к 2024 году
- Повышение уровня технического состояния производственных фондов электроэнергетики для объектов на 5% к 2024 году без повышения затрат на поддержание технического состояния
- Снижение на 20% аварийности на объектах электроэнергетики, связанной с техническим состоянием производственных фондов к 2024 году

НЕФТЕГАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС



- Повышение коэффициента извлечения нефти на 5 – 10% на «цифровых месторождениях»
- Снижение операционных затрат на «цифровых месторождениях» на 10%
- Снижение капитальных затрат на «цифровых месторождениях» до 15%

УГОЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



- Увеличение добычи подземным и карьерным способом на 5 – 7% к 2024 году
- Повышение уровня безопасности ведения горных работ

Цифровой двойник – система, состоящая из цифровой модели изделия и двухсторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями». Определение согласно ГОСТ Р 57700.372021.

- **Прототип (Digital Twin Prototype)** — представляет собой виртуальный аналог реального объекта, который содержит все данные для производства оригинала;
- **Экземпляр (Digital Twin Instance)** — содержит данные обо всех характеристиках и эксплуатации физического объекта, включая трехмерную модель, и действует параллельно с оригиналом;
- **Агрегированный двойник (Digital Twin Aggregate)** — вычислительная система из цифровых двойников и реальных объектов, которыми можно управлять из единого центра и обмениваться данными внутри.

Цифровизация отрасли



Согласно Приказа Минэнерго РФ от 22.09.2020 N796
“ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ПРАВИЛ РАБОТЫ С
ПЕРСОНАЛОМ В ОРГАНИЗАЦИЯХ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ” п.13:

“Для вводимых в работу новых и реконструируемых объектов электроэнергетики должно осуществляться опережающее обучение персонала...”

и далее

“В указанных случаях стажировку и дублирование для персонала допускается проводить на других, однотипных с вводимыми в работу новыми и реконструируемыми объектами электроэнергетики или с применением заранее разработанных тренажерных комплексов.”



«Цифровая энергетика» - ведомственный проект направлен на создание отечественных программных продуктов и развитие цифровой инфраструктуры, что усиливает технологическую независимость и безопасность отрасли.

Актуальность использования цифровой модели и цифровой копии (двойника) реальной станции



Описание цифровой модели и цифрового двойника

- Цифровая модель энергоблока представляет собой совокупность математических и компьютерных моделей и цифровой информации, необходимой для решения определенной задачи в системе автоматизированного управления и представленной в форме графиков, таблиц, регрессионных и балансовых уравнений, ограничений и т.д. Цифровые модели применительно к отдельным свойствам объекта/энергоблока, режимам его работы, энергетическим характеристикам позволят повысить качество и эффективность проведения расчетов и принятия оптимальных решений.
- Цифровой двойник энергоблока представляет собой систему, состоящую из цифровой модели энергоблока и двусторонних информационных связей. Цифровой двойник станции базируется на цифровых двойниках энергоблоков и двусторонних информационных связей по общестанционным коммуникациям.
- При отсутствии возможности проведения экспериментальных исследований на реальных теплоэнергетических объектах предлагается использовать тренажерные модели и современные компьютерные тренажеры для получения исходной информации, необходимой для разработки цифровых моделей оборудования и режимов их работы. Помимо этого, при адекватных моделях технологических процессов и систем управления ими, тренажер, при соответствующем информационном обеспечении, может выполнять функции виртуального цифрового двойника.

Актуальность использования цифровой модели и цифровой копии (двойника) реальной станции



Возможности цифрового двойника

Достоверное описание технологических процессов производства энергии

С помощью цифрового двойника возможно **подбирать состав** генерирующего оборудования, проводить оптимальное **распределение** текущей и прогнозируемой **нагрузки**, выбирать **оптимальные параметры** работы различных установок, добиваться **оптимизации** производства с учетом всех факторов влияния.

Оптимизация времени обработки новых задач и повышение интеллектуальности АСУТП на цифровой копии реальной станции

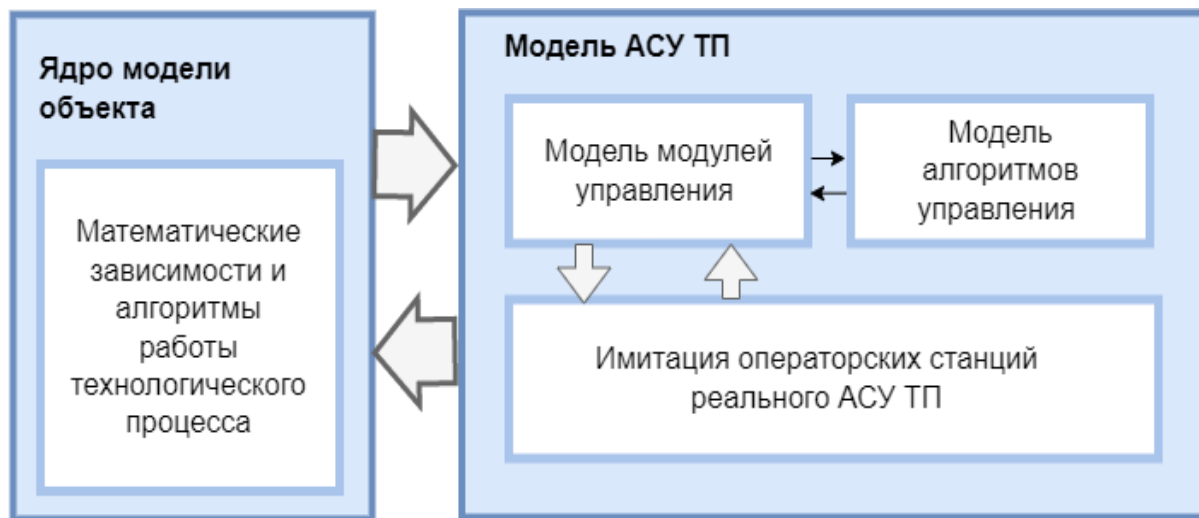
Уменьшение временных, людских и финансовых ресурсов, и после проработки методик решения очередной группы задач по повышению уровня интеллектуализации на цифровой копии станции – процесс обратится, и уже с цифровой модели будут копировать технологические решения на реальную станцию. Тем самым подтягивая степень интеллектуализации АСУТП реальной станции до уровня виртуальной интеллектуализации АСУТП виртуальной станции.

Типы компьютерных тренажеров



Технологический тренажер. Предназначен для выполнения исследовательских работ, связанных с технологическим процессом (исследование режимов на частичных нагрузках, при останове и пуске, изменение параметров и т.д.)

Преимущества такого тренажера – возможность изменения масштаба времени (ускорение, замедление), фиксация промежуточных состояний с возможностью возврата и т.д.

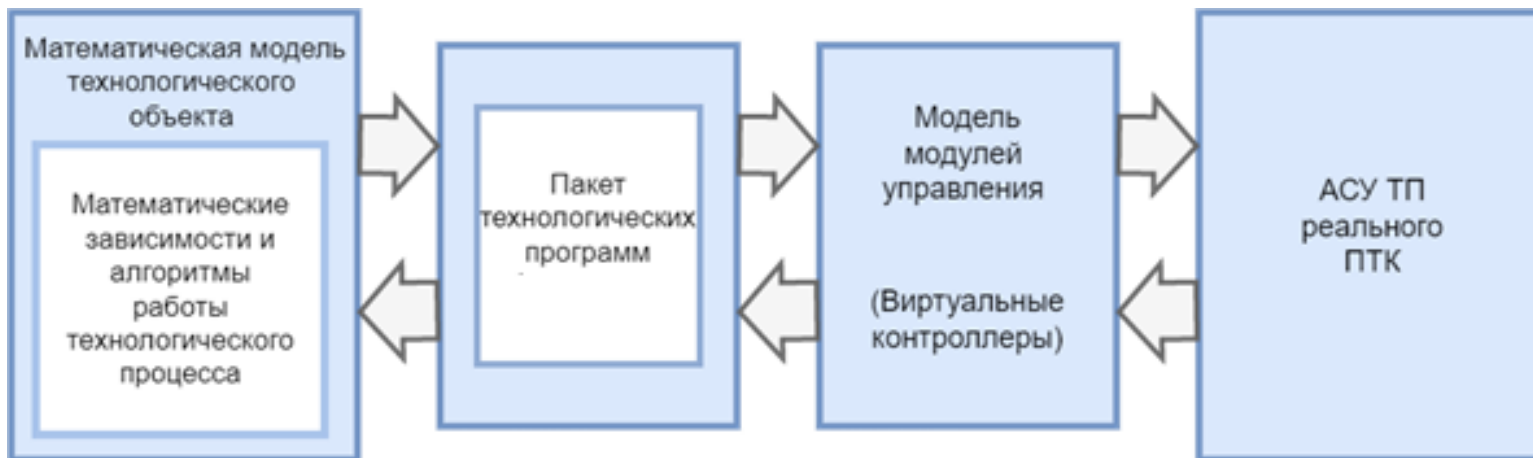


Упрощенная схема технологического тренажера

Типы компьютерных тренажеров



Интегрированный тренажер. Тренажер, в котором математическая модель интегрирована в эмулятор контроллера ПТК, что позволяет использовать возможности прикладного программного обеспечения ПТК в полном объеме, отображать режимы работы всего оборудования энергоблока максимально близко к действительным. Преимущества – возможность использования всех прикладных программ ПТК и при хорошей модели технологического процесса – максимальное приближение к реальному объекту; возможность проведения реальных исследований и т.д.



Упрощенная схема интегрированного тренажера

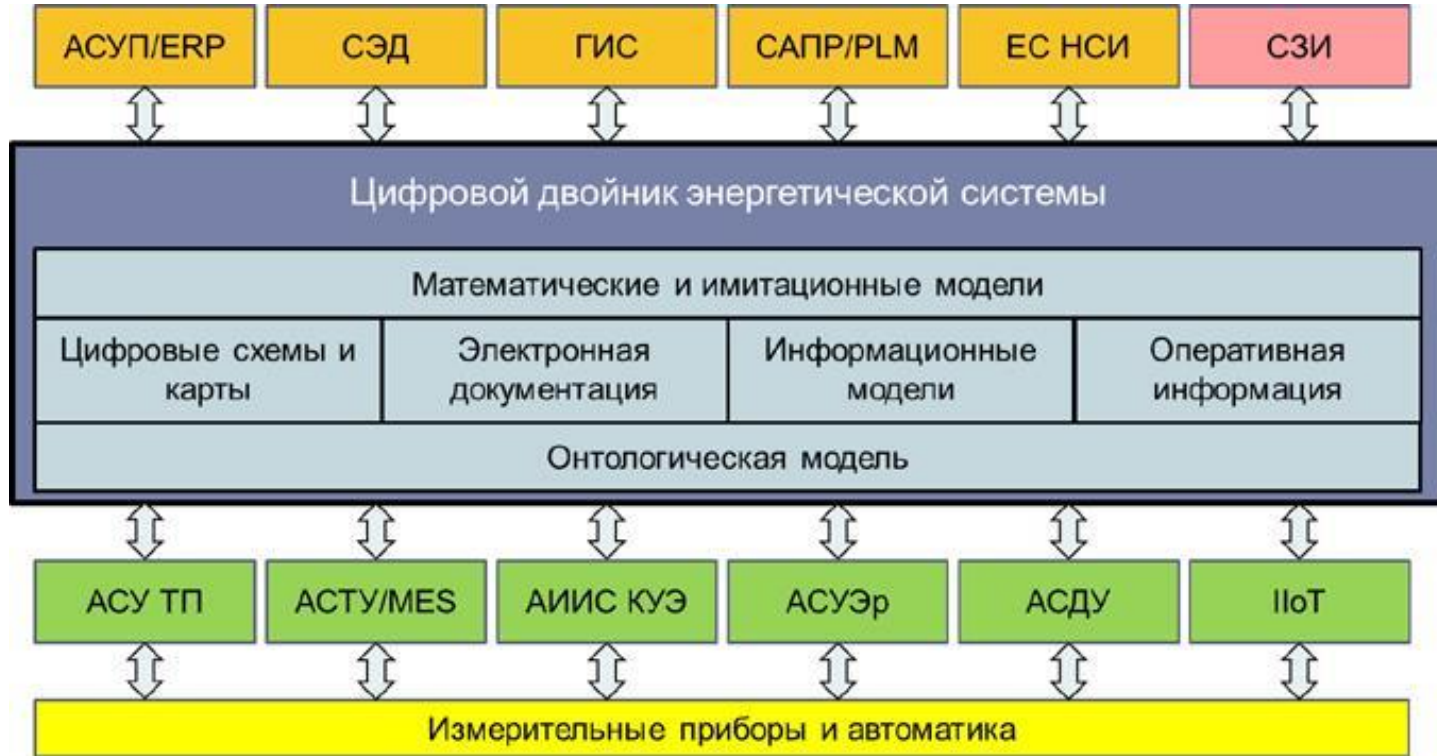
Основные результаты работы над методикой автоматизированного процесса построения математической модели ТЭС



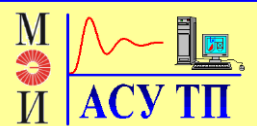
Разработан комплексный **подход** к автоматизированному процессу построения математической модели турбины ТЭС на основании фактических данных, обеспечивающей выполнение оптимизационных расчетов для различных целевых функций с требуемой **точностью**. В рамках этого:

- разработан подход формирования **карты** возможных режимов работы оборудования турбины на основе нормативно-технической документации и актуализации с помощью регрессионного анализа;
- разработан адаптивный **подход** к идентификации параметров оптимизационных моделей, который реализуется в минимизации отклонений между рассчитанными и измеренными показаниями приборов учета: решена оптимизационная задача оценки **состояния** системы;
- предложен подход для создания единой вычислительной структуры, обеспечивающий возможность решения **разнокритериальных** задач оптимизации на базе одной модели турбины: решены оптимизационные задачи определения максимальной маржинальной прибыли, минимальной и максимальной выработки электроэнергии;
- создана **модульная** структура модели турбины, позволяющая формировать оптимизационную модель станции из набора компонентов с возможностью идентификации параметров каждого из них;
- предложена **программная инфраструктура** для проведения различных сценарных расчетов, хранения и мониторинга результатов.

Цифровая модель и цифровая копия (двойник) энергосистемы



Спасибо за внимание!



Зав. каф. АСУТП НИУ "МЭИ" Мезин Сергей Витальевич,
к.т.н., доцент
mezinsv@mpei.ru, +7(495)362-77-20