The background features abstract geometric elements: a red diagonal line in the top-left, a blue diagonal line in the top-right, a red semi-circular fan shape in the top-center, a blue semi-circular arc in the bottom-center, and a red horizontal bar in the bottom-right. Small red circles are scattered throughout the design.

Программа научных исследований
«Цифровая энергетика»



Актуальность. **Возрастающие возможности информационных технологий** (рост вычислительных мощностей, новые средства визуализации данных, новые средства моделирования), **усложнение объектов энергетики, рост объемов собираемых данных** ставит вопрос о выборе цифровых решений для внедрения в энергетику с целью повышения эффективности, надежности, экологической безопасности.

Цель программы: объединение компетенций специалистов в области информационных технологий и в сфере тепло- и электроэнергетики **для создания востребованных государством и бизнесом программных продуктов и решений** для цифровой трансформации энергетического сектора страны при активном участии студентов.

Задачи программы:

1. Подготовка специалистов, обладающих уникальными знаниями и опытом в сфере «цифровизации» энергетики.
2. Создание востребованных научно-технологических заделов и готовых решений для цифровой трансформации энергетики.

Структура программы

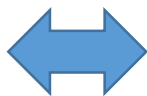


Проект № 1

Задача 1 Студент 1, Студент 2, ...	Задача 2 Студент 1, Студент 2, ...	Задача N ...
---------------------------------------	---------------------------------------	-----------------



Консультанты в области ИТ (АВТИ)



Консультанты в области энергетики (ИПЭЭФ, ИТАЭ)

Проект № M

Задача 1 Студент 1, Студент 2, ...	Задача 2 Студент 1, Студент 2, ...	Задача N ...
---------------------------------------	---------------------------------------	-----------------



Консультанты в области ИТ (АВТИ)



Консультанты в области энергетики (ИПЭЭФ, ИТАЭ)

Программа научных исследований «Цифровая энергетика»

- консультирование со стороны преподавателей АВТИ и «энергетических» институтов (ИПЭЭФ, ИТАЭ, ИЭЭ);
- наработки по проекту – основа диплома;
- каждый участник решает отдельную посильную задачу проекта;
- можно выбрать понравившийся проект
- доступен компьютерный класс для выполнения работ и обсуждения результатов.

Использование цифровых технологий на протяжении жизненного цикла объекта



Проектирование

Эксплуатация

Генерация	Средства цифрового проектирования оборудования	Средства цифрового проектирования объектов	→	<ul style="list-style-type: none"> Виртуальный энергоблок (цифровой двойник) Предиктивная аналитика (GE Predix) Цифровой тренажер для обучения персонала Использование технологий IoT для контроля за объектами (Siemens MindSphere) AR/VR технологии 		
					→	<ul style="list-style-type: none"> Интеллектуальная система учета потребления энергоресурсов Предиктивная анализа состояния Цифровой двойник системы передачи энергоресурсов Цифровой тренажер для обучения персонала AR/VR технологии



- Сокращение сроков проектирования
- Снижение количества ошибок в проекте
- Снижение стоимости проектирования
- Снижение затрат времени и уменьшение стоимости создания цифровых двойников

- Снижение потерь за счет оптимизации параметров работы
- Оценка (модельная) эффективности энергосберегающих мероприятий
- Снижение аварийности, оптимизация числа ремонтов
- Ускорение подготовки кадров
- Увеличение прибыли за счет оптимизации производственных процессов
- Сокращение затрат времени на работу с технической документацией

Основные компоненты энергетической системы



Производство энергии:

- теплота (ТЭЦ, котельная)
- электроэнергия (ТЭЦ, КЭС, АЭС и т.д.)



Передача/распределение

энергии:

- тепловые сети
- электрические сети

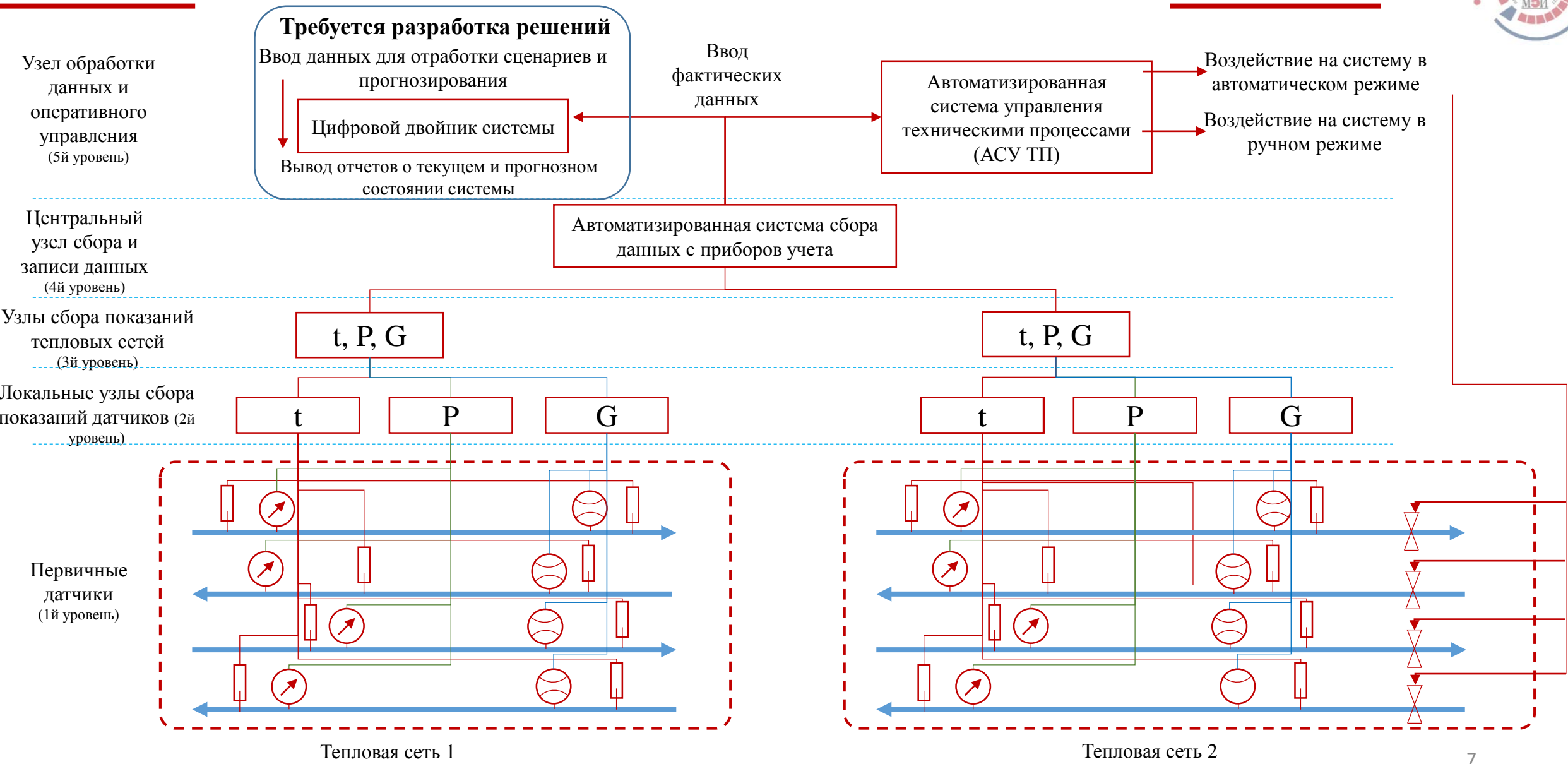


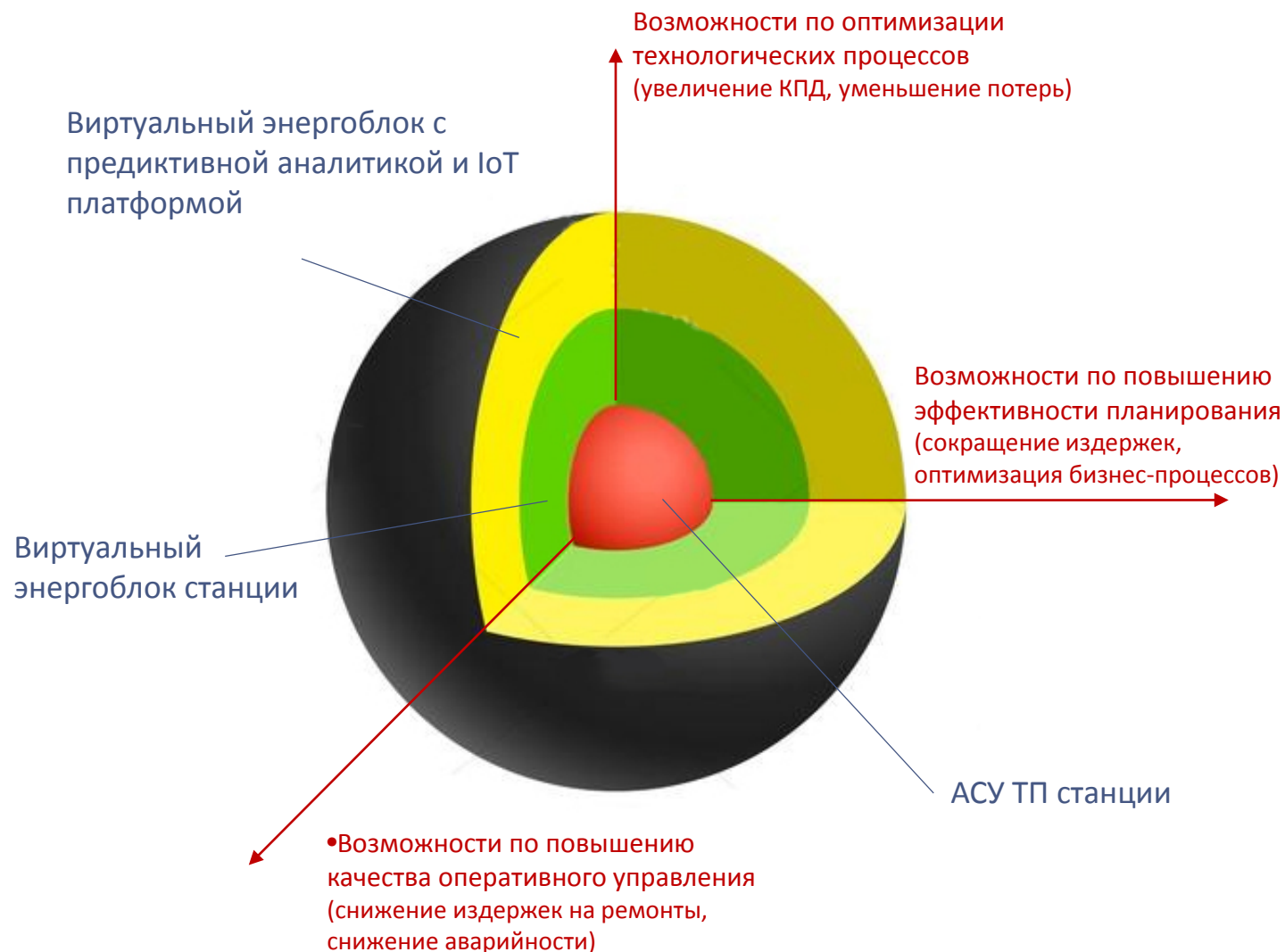
Потребление энергии:

- промышленные потребители
- коммунальные потребители



Основные компоненты АСУ ТП на примере тепловой сети





Цифровые решения базируются на информации об объекте и предусматривают создание различных моделей:

- 3D модель;
- имитационная модель технологических процессов;
- информационная модель (информация характеристиках объекта и истории его обслуживания);
- экономико-математическая модель;



1. Решение должно устранять существующие проблемы или проблемы, которые неизбежно возникнут в будущем при эксплуатации технической системы.
2. Решение не должно дублировать уже имеющиеся способы устранения проблем, должен быть показан количественный и (или) качественный прирост в техническом уровне объекта после внедрения.
3. Решение должно быть совместимо с другими элементами технической системы, являющихся по отношению к новой технологии источником и потребителем информации, материальных и энергетических потоков.
4. Решение должно обеспечивать получение экономического эффекта и окупаться в короткий срок.

Проекты по цифровой трансформации энергетики



Для пилотного запуска ПНИ «Цифровая энергетика» сформулированы следующие проекты:

1. Цифровой двойник ТЭС
2. Тренажер оперативного персонала ТЭС
3. Цифровой двойник тепловой сети
4. Технологии AR/VR для энергетики
5. Цифровое проектирование для энергетики
6. Аналитические системы для управления объектами энергетики
7. Решения для поддержки жизненного цикла изделий

Основа цифровой трансформации тепловой энергетики

Перечень проектов не окончательный и может быть дополнен

Цифровой двойник энергетического объекта



Цифровой двойник

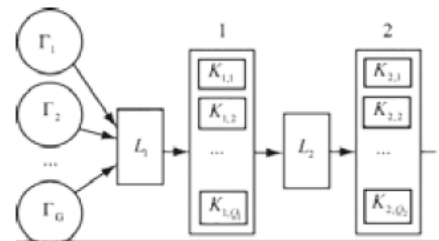
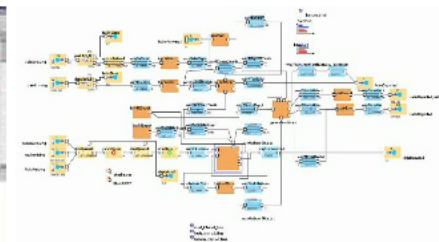
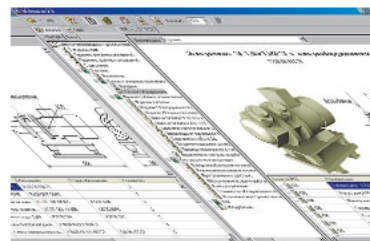
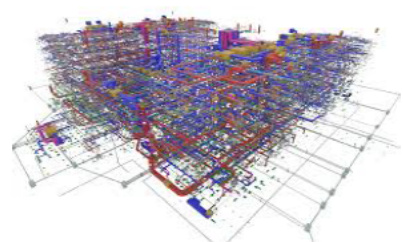
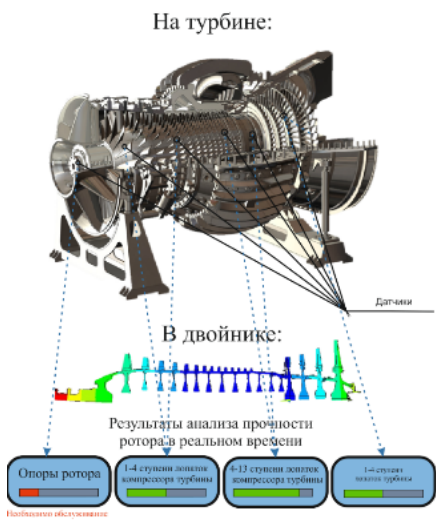
Проактивное обслуживание оборудования

3D модель

Интерактивные электронные технические руководства

Имитационная модель тепловой схемы

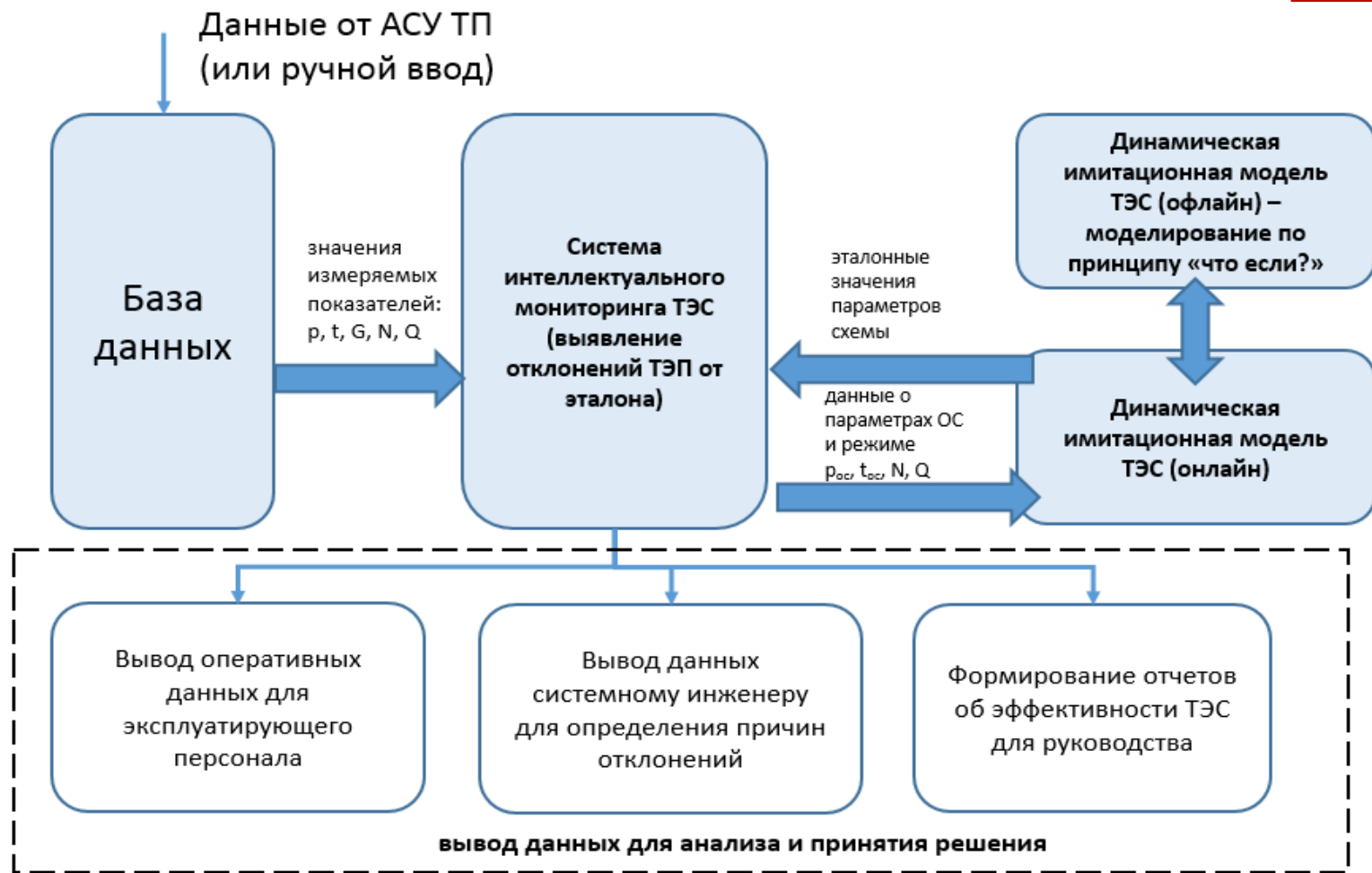
Финансовая модель



Индикатор	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Индикатор 1	1 200 000	12 470 000	26 100 000	20 100 000	20 100 000	20 100 000	20 100 000	20 100 000	20 100 000	20 100 000
Индикатор 2	0	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1 800 000
Индикатор 3	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1 800 000	1 800 000

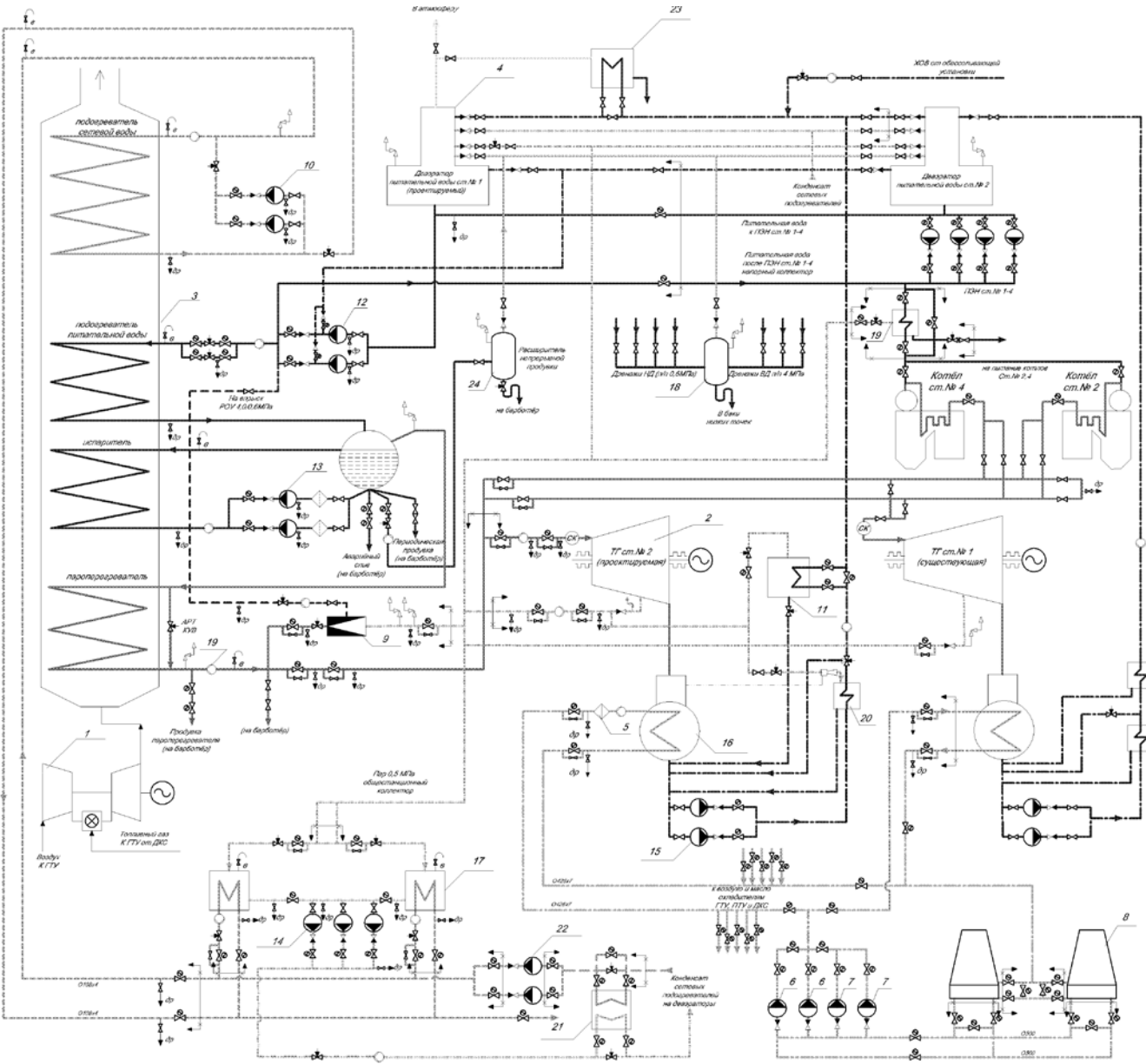


Принципы функционирования цифрового двойника ТЭС



Проблема, решаемая цифровым двойником ТЭС: отсутствие автоматического анализа данных, поступающих от АСУ ТП, о работе оборудования для оценки качества режима работы ТЭС, фиксации и определения дефектов не заметных для эксплуатирующего персонала, прогнозирование отказов и аварий.

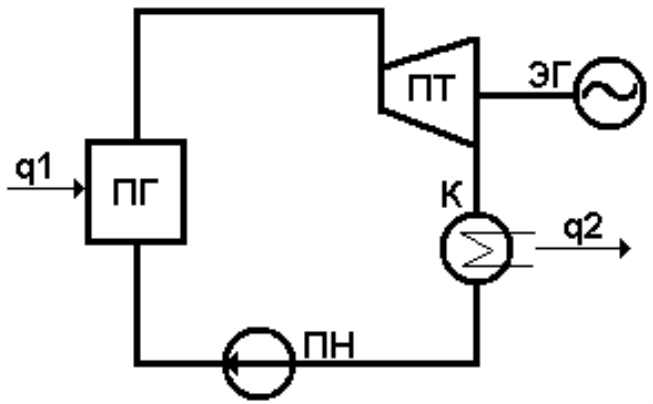
Тепловая схема ТЭС



Принципиальная тепловая схема ТЭС



Упрощенная тепловая схема ТЭС

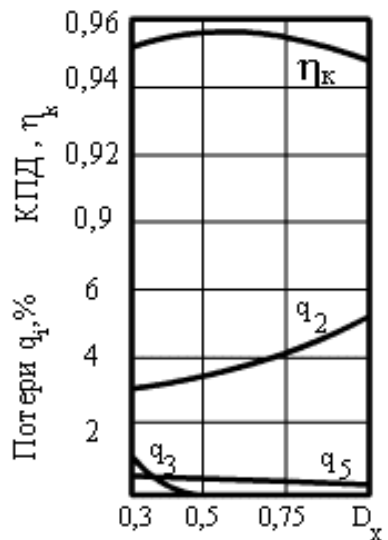


Цифровой двойник ТЭС

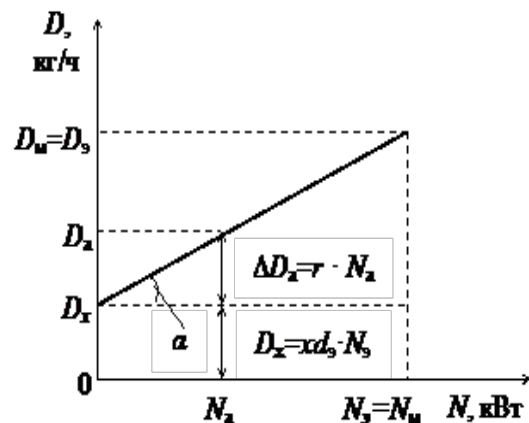


Задачи в рамках ПНИ «Цифровая энергетика» для разработки цифрового двойника ТЭС:

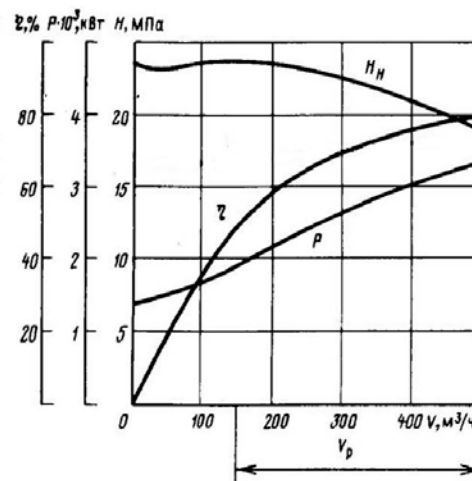
Разработка имитационной модели парового котла



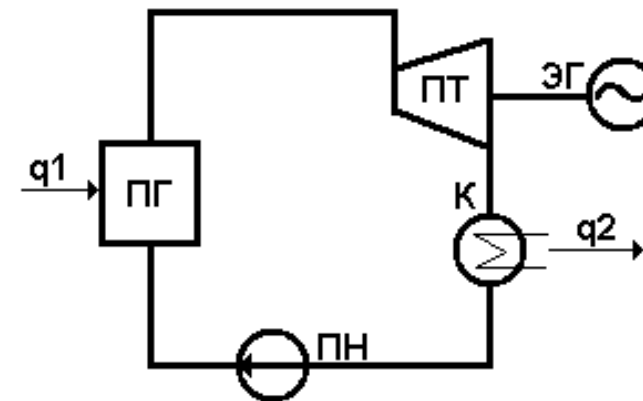
Разработка имитационной модели паровой турбины



Разработка имитационной модели питательного насоса



Определение основных энергетических показателей энергоблока при переменных режимах работы



- разработка упрощенных цифровых моделей энергетического оборудования для расчета их параметров работы в зависимости от внешних условий на основе характеристик оборудования
- создание программных прототипов элементов цифрового двойника ТЭС на основе разработанных моделей

Траектория развития проекта:

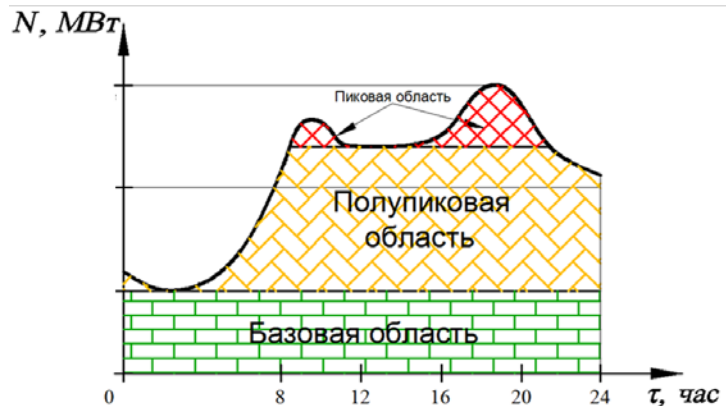
Система интеллектуального мониторинга для простейшего паротурбинного цикла ТЭС



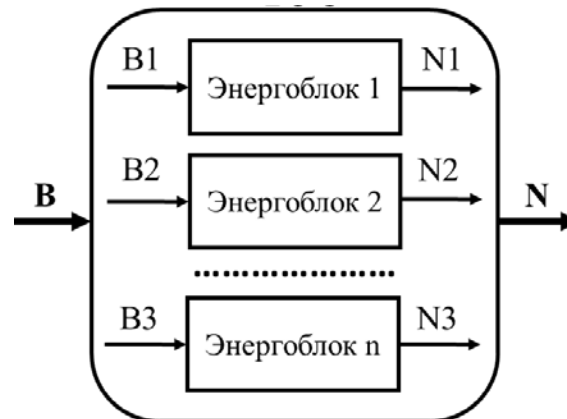
Создание системы интеллектуального мониторинга для ТЭС МЭИ

Задачи в рамках ПНИ «Цифровая энергетика»: оптимальное распределение нагрузки между энергоблоками.

Неравномерный график электрической нагрузки



Множество энергоблоков в составе ТЭС



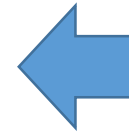
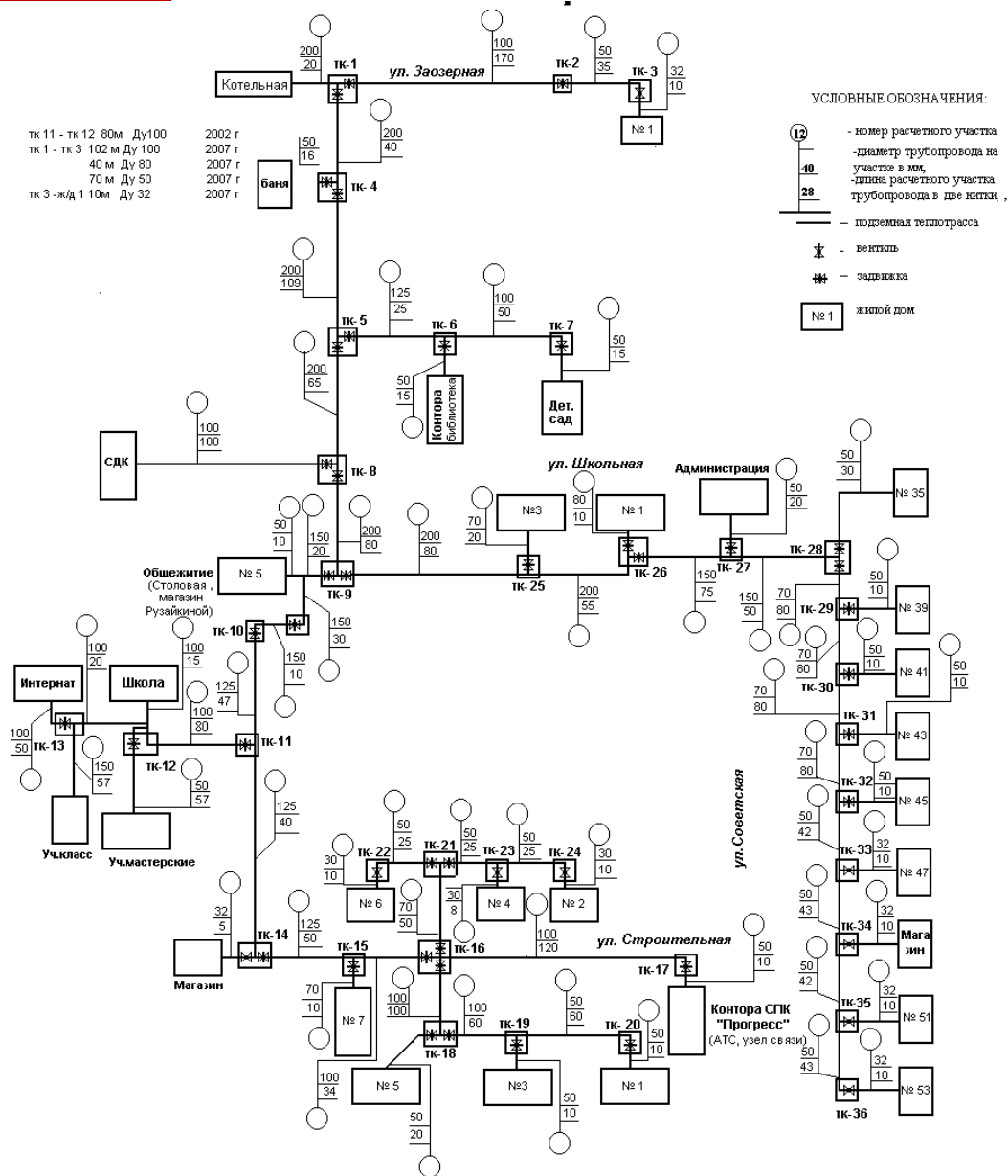
Зависимость КПД энергоблоков от нагрузки

Турбоустановки типа К	Типовые энергетические характеристики турбоустановок ($G_{\text{отд.в.}}=\text{const}, I_{\text{отд.в.}}=\text{const}, p_{\text{в}}=\text{var}$)	Зависимость удельного расхода условного топлива на выработку электроэнергии нетто от электрической мощности нетто	
		Природный газ	Уголь
К-50-90-3 ЛМЗ	$Q_0=9,8+2,048 \cdot N_T+0,230 \cdot (N_T-36,15), \text{ Гкал/ч, МВт}$	$y = -0,0022x^3 + 0,2976x^2 - 13,627x + 589,3$	$y = 0,0235x^2 - 2,5455x + 462,27$
К-100-90-6 ЛМЗ	$Q_0=15,2+1,971 \cdot N_T+0,160 \cdot (N_T-75,66), \text{ Гкал/ч, МВт}$	$y = -0,0002x^3 + 0,0535x^2 - 5,0636x + 517,63$	$y = 0,0063x^2 - 1,3356x + 439,93$
К-160-130 ХТЗ	$Q_0=19,66+1,959 \cdot N_T+0,108 \cdot (N_T-109,78), \text{ Гкал/ч, МВт}$	$y = -6E-05x^3 + 0,0244x^2 - 3,2949x + 500,9$	$y = 0,0023x^2 - 0,7858x + 426,76$
К-200-130 ЛМЗ	$Q_0=20,12+1,866 \cdot N_T+0,095 \cdot (N_T-190), \text{ Гкал/ч, МВт}$	$y = -2E-05x^3 + 0,0082x^2 - 1,585x + 427,94$	$y = 0,0014x^2 - 0,6265x + 395,51$
К-300-240 ХТЗ	$Q_0=47,44+1,775 \cdot N_T+0,176 \cdot (N_T-251,83), \text{ Гкал/ч, МВт}$	$y = -2E-06x^3 + 0,0026x^2 - 1,0164x + 440,62$	$y = 0,0013x^2 - 0,7621x + 440,14$

Задачи

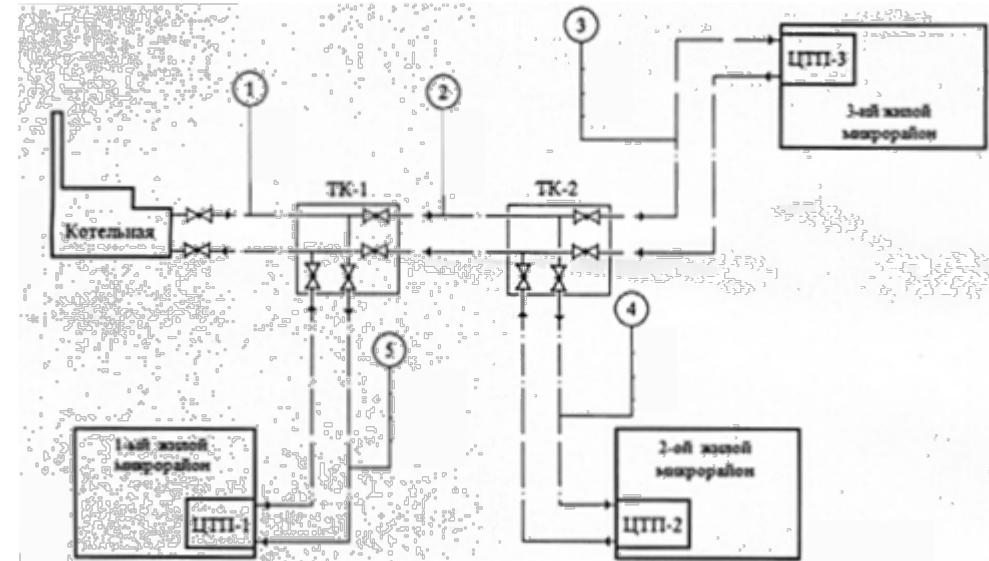
- 1) Распределение нагрузки между энергоблоками для минимизации расхода топлива.
- 2) Распределение нагрузки между энергоблоками для максимизации прибыли от продажи электроэнергии.

Принципиальная схема тепловой сети

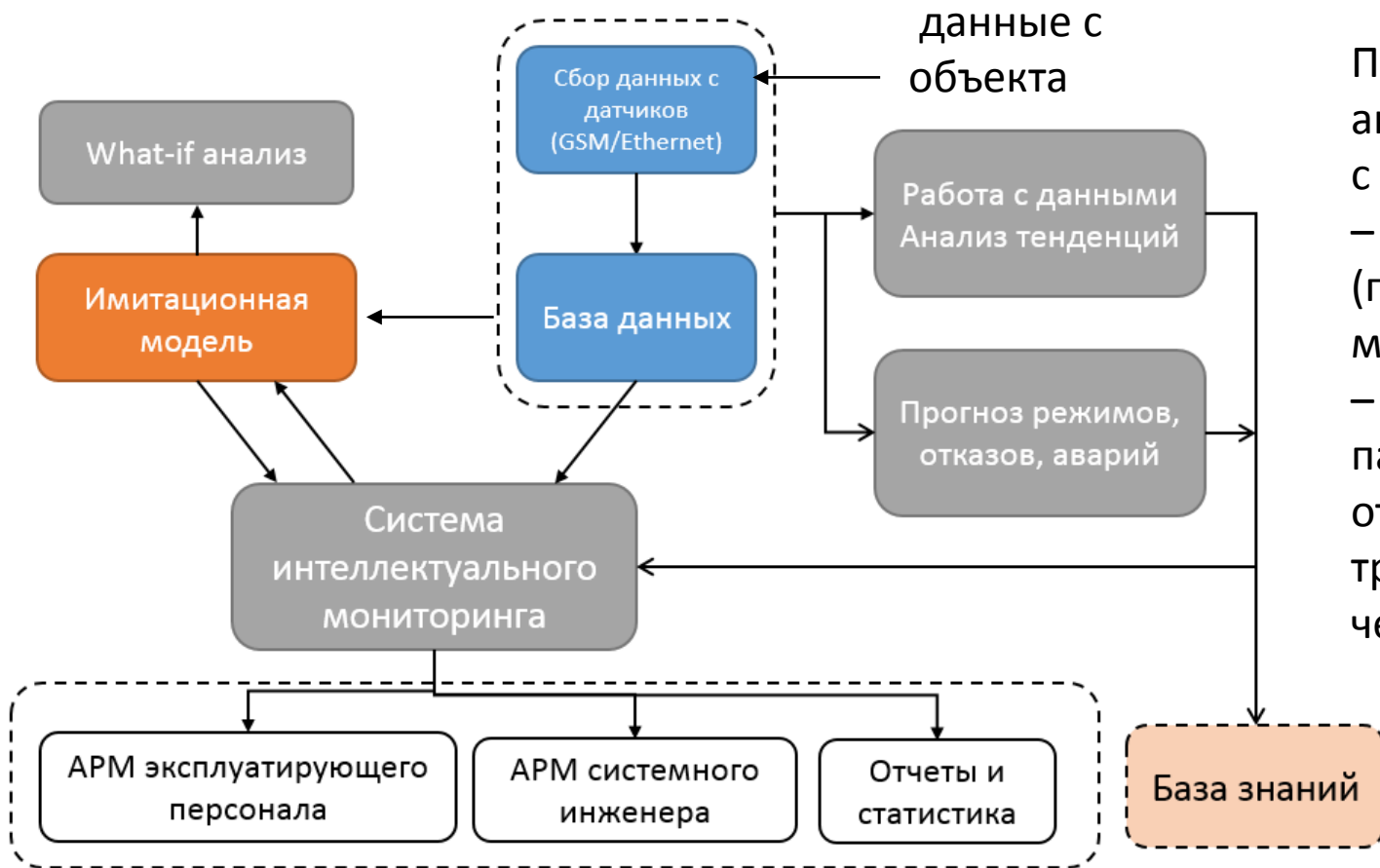


Принципиальная расчетная схема городской тепловой сети

Упрощенная расчетная схема городской тепловой сети



Принципы функционирования цифрового двойника тепловой сети



Принципы функционирования ЦД тепловой сети аналогичны принципам функционирования ЦД ТЭС с учетом специфики объекта, а именно:

- физической распределенности по площади (протяженность тепловых сетей от одного источника может достигать десятков километров);
- наличие проблемы оперативного сбора параметров работы объекта и их анализа (в отличие от ТЭС в тепловых сетях отсутствует развитая АСУ ТП, требуется организация сбора данных с датчиков через каналы GSM/Ethernet)

Проблема, решаемая цифровым двойником тепловой сети: отсутствие системы автоматизированного анализа данных о работе тепловой сети для определения соответствия режима работы тепловой сети оптимальному, выработки рекомендаций для эксплуатирующего персонала и прогнозированию возникновения аварийных ситуаций.

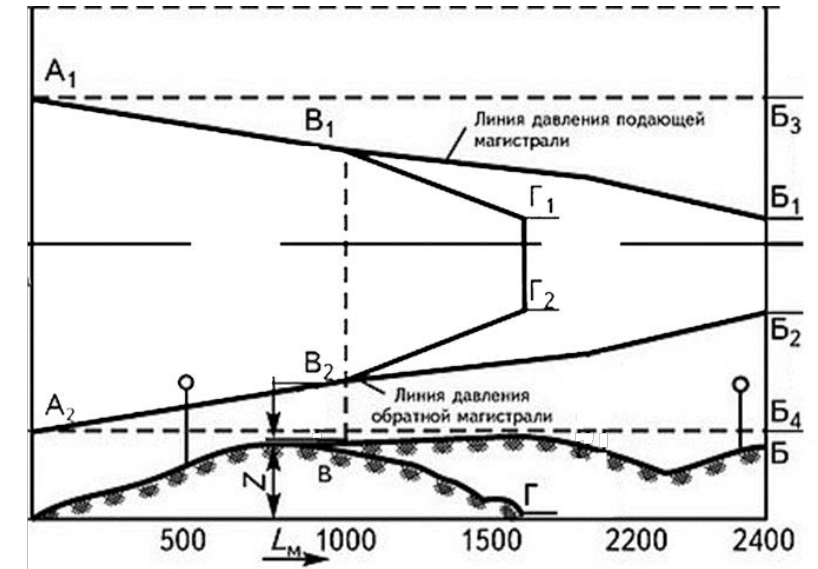
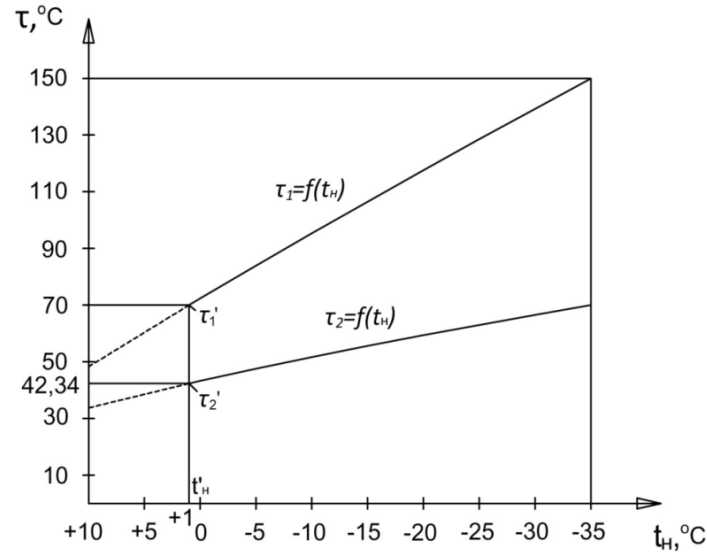
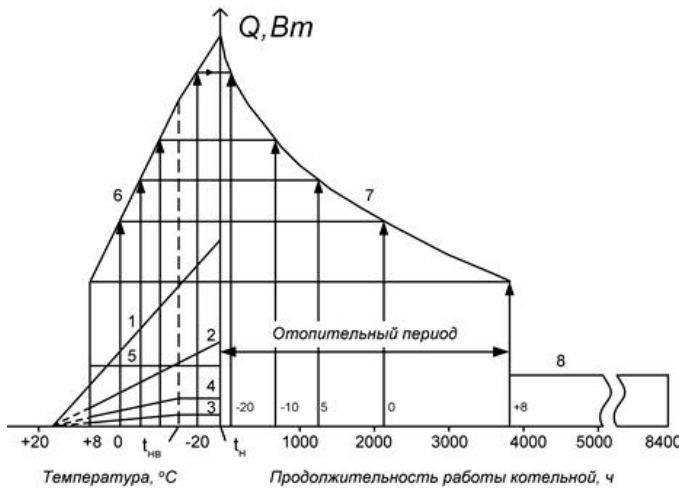
Задачи для создания цифрового двойника тепловой сети



Задачи в рамках ПНИ «Цифровая энергетика» для разработки цифрового двойника тепловой сети:

Разработка модели для расчета распределения температур и расходов теплоносителя по потребителям в тепловой сети

Разработка модели для расчета гидравлического режима тепловой сети



- разработка упрощенных цифровых моделей для расчета распределения температур и расходов у потребителей в зависимости от текущих климатических параметров
- разработка упрощенных цифровых моделей для расчета изменения гидравлических режимов работы тепловой сети при изменениях в объектах (переключение регулирующих задвижек, отключение потребителей)
- создание программных прототипов элементов цифрового двойника тепловой сети на основе разработанных моделей

Тренажер оперативного персонала ТЭС



Решение о необходимости регулирования, внесение управляющего воздействия

Моделирование управляющего воздействия

Турбина

Питательный насос



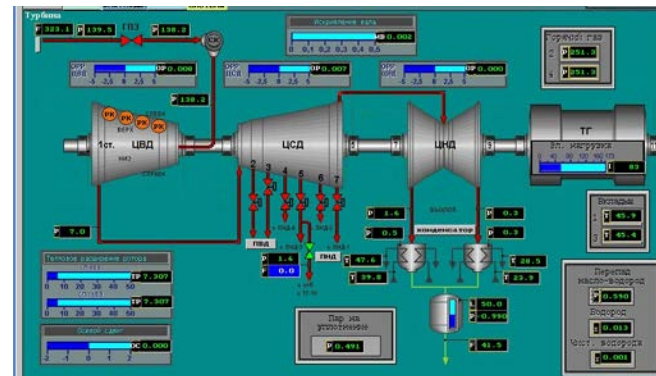
Система автоматического управления

Объект управления

Моделирование нового режима работы

Новое состояние объекта

Задача: разработка упрощенных моделей оборудования ТЭС, включающих САУ и КИП



Контрольно-измерительные приборы

Моделирование показаний КИП

Оператор

проверка соответствия / состояния объекта необходимому



Котел-утилизатор

Данные с КИП о режиме работы объекта

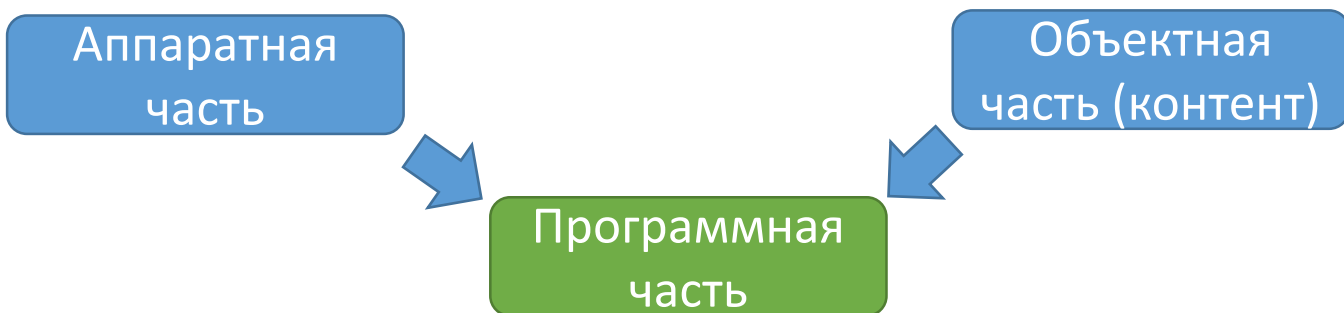
Технологии AR/VR для энергетики



Augmented Reality (AR) – технологии дополненной реальности (размещение в поле зрения человека сенсорных данных с целью дополнения сведений об окружении и улучшения восприятия информации).

Virtual Reality (VR) – технологии виртуальной реальности (создание цифрового окружения (объектов и субъектов), которое создаётся с помощью технических устройств, воздействующих на основные органы чувств человека, в основном зрение, слух и осязание).

AR ставит своей целью дать дополнительную информацию об объекте, в то время как VR создает виртуальную модель объекта.



Применение в энергетике:

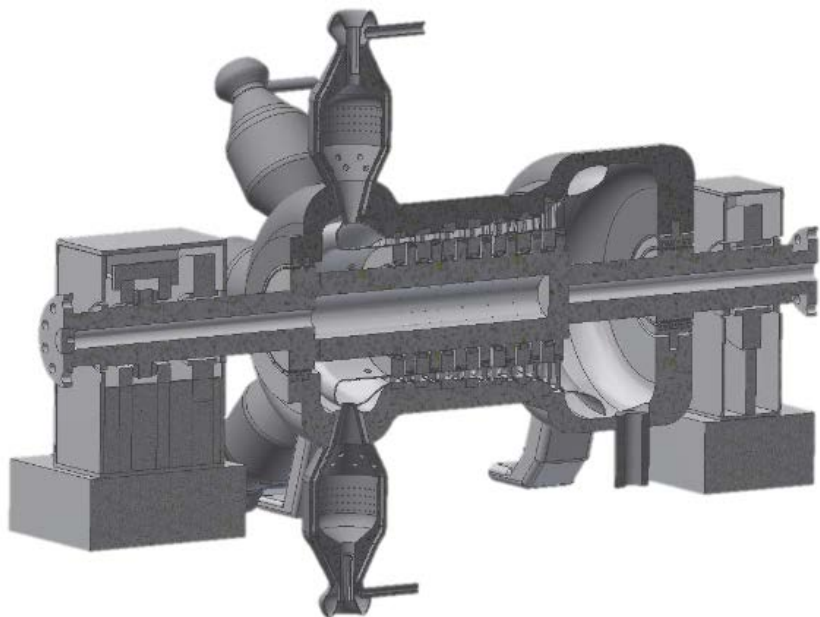
- поддержка принятия решений, быстрая адаптация персонала к конкретному объекту;
- возможность работы с большим количеством различных моделей и модификаций оборудования;
- возможность оперативного доступа к требуемой документации по оборудованию;
- возможности использования новых методик обучения персонала и контроля последовательности операций;
- обеспечение персонала информацией о состоянии основного и вторичного оборудования объекта в режиме реального времени.

Технологии AR/VR для энергетики

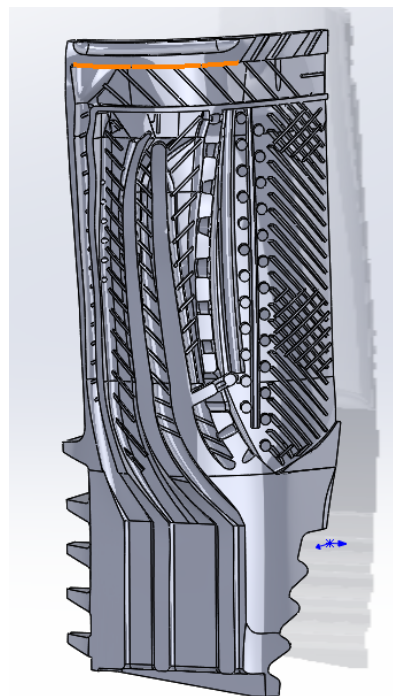


Задачи в рамках ПНИ «Цифровая энергетика» для разработки AR/VR технологий: создание AR приложения для демонстрации имеющихся 3d моделей энергетических объектов.

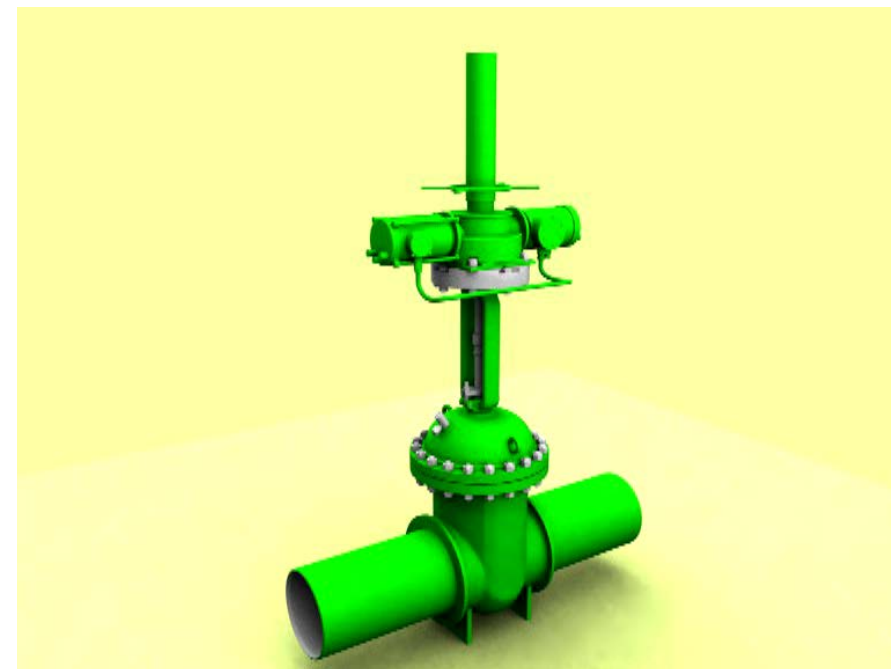
Турбина на сверхкритическом диоксиде углерода



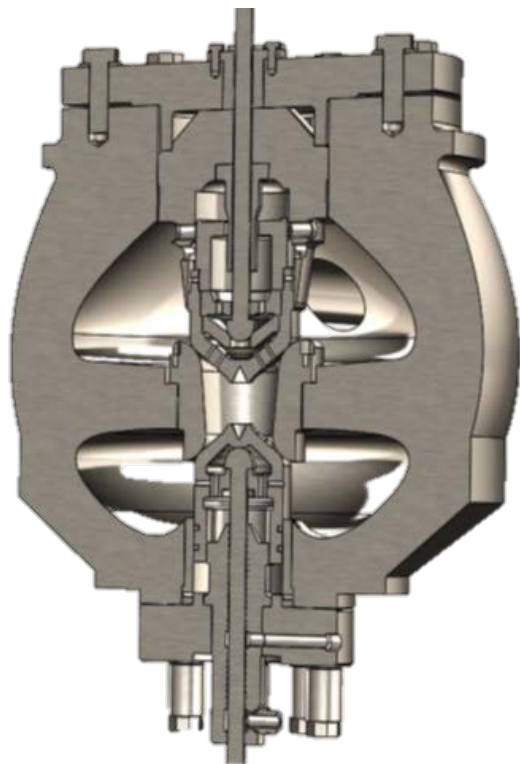
Разрез охлаждаемой лопатки газовой турбины



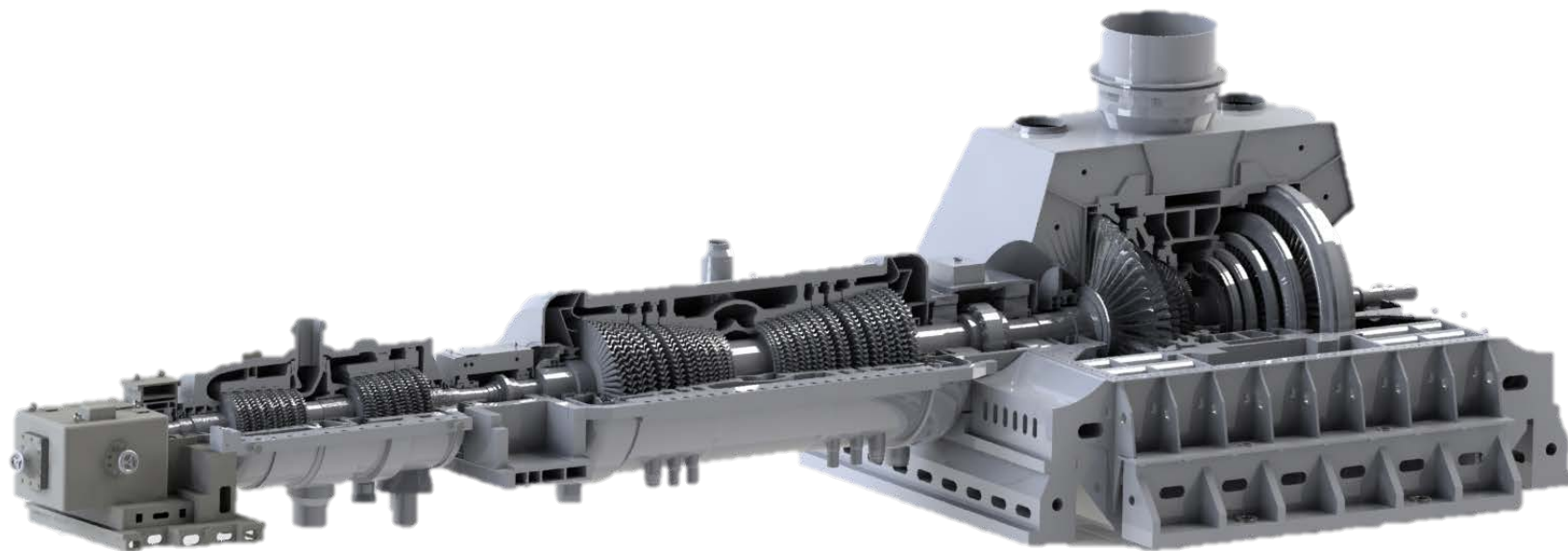
Разборка клиновой задвижки



Стопорно-регулирующий клапан паровой турбины



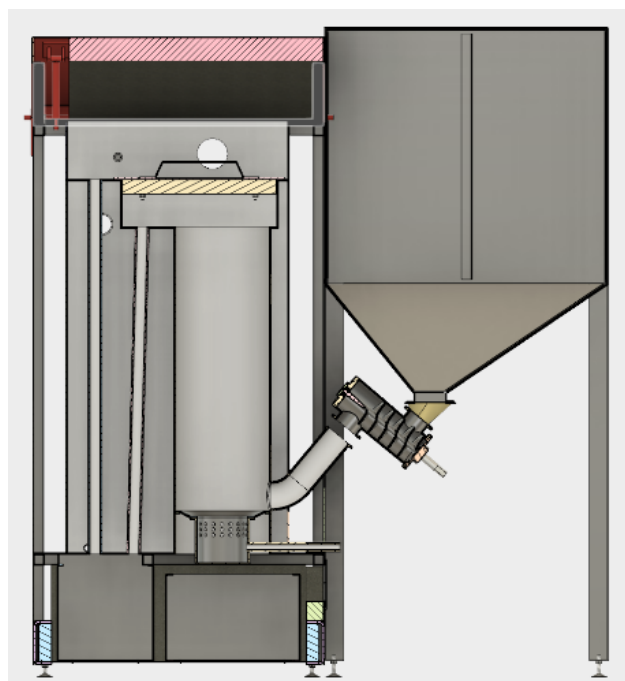
Паровая турбина на ультрасверхкритические параметры пара



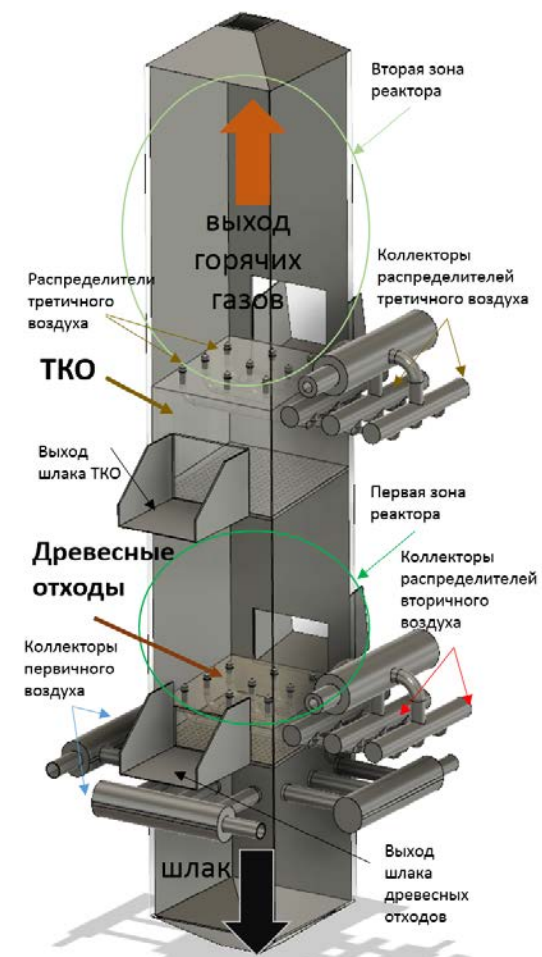
ГТУ с детандерным приводом



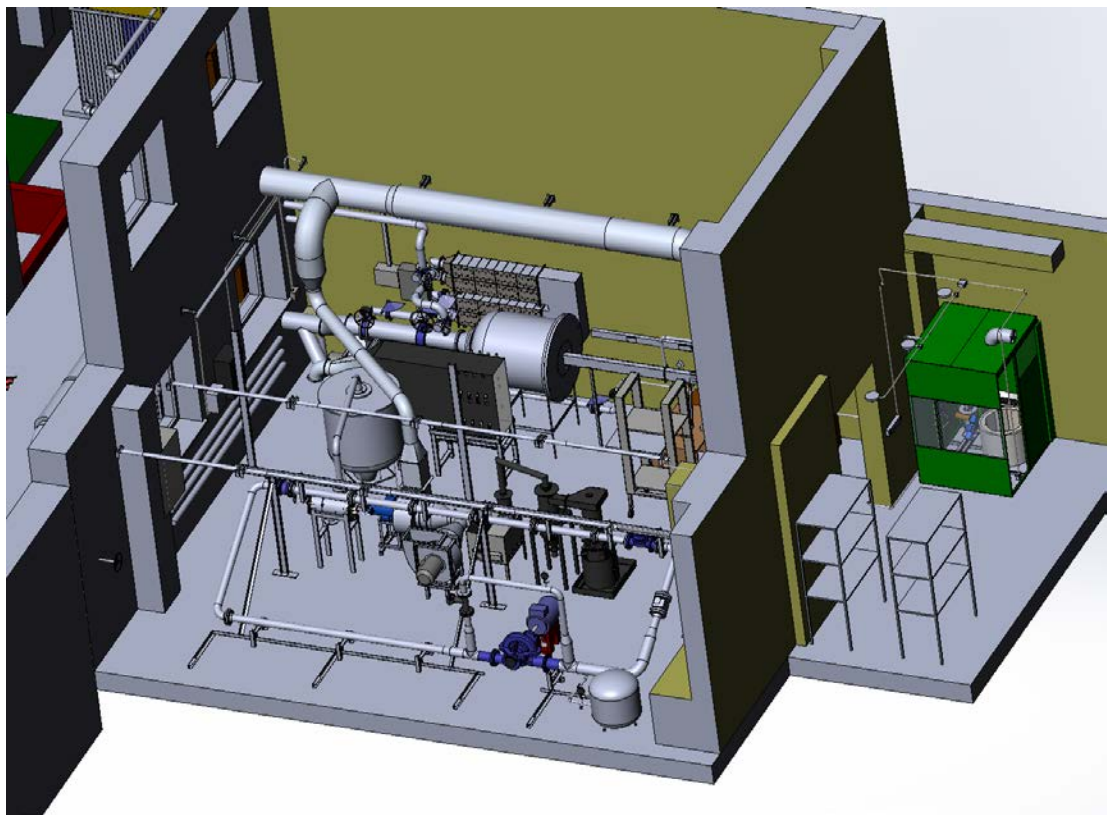
Пеллетный котел



Эскиз реактора для утилизации ТКО



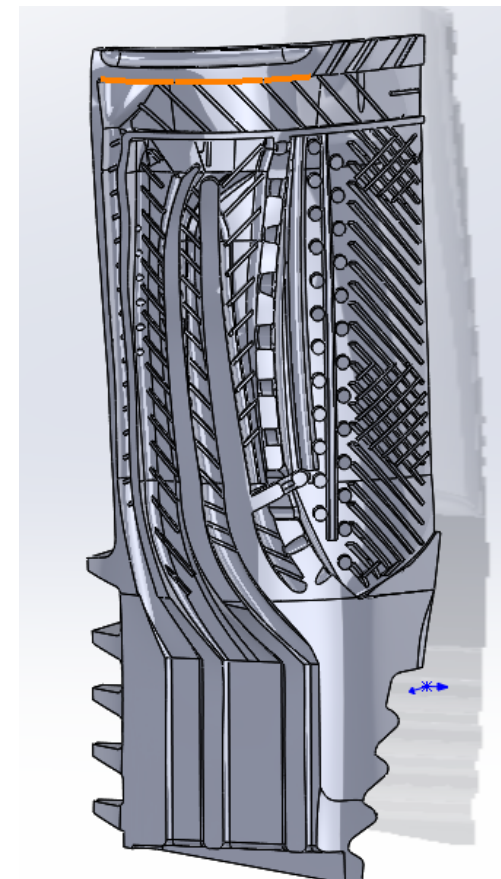
3D модель лаборатории



Двухъярусная лопатка
паровой турбины



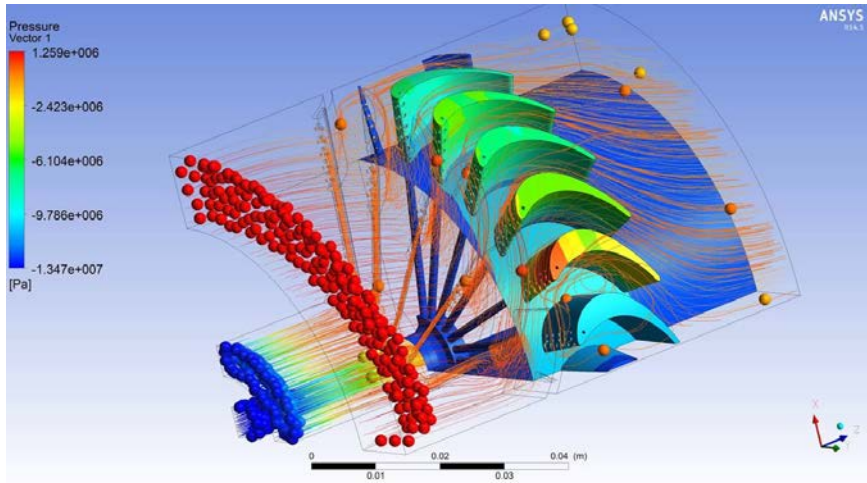
Разрез охлаждаемой
лопатки газовой турбины



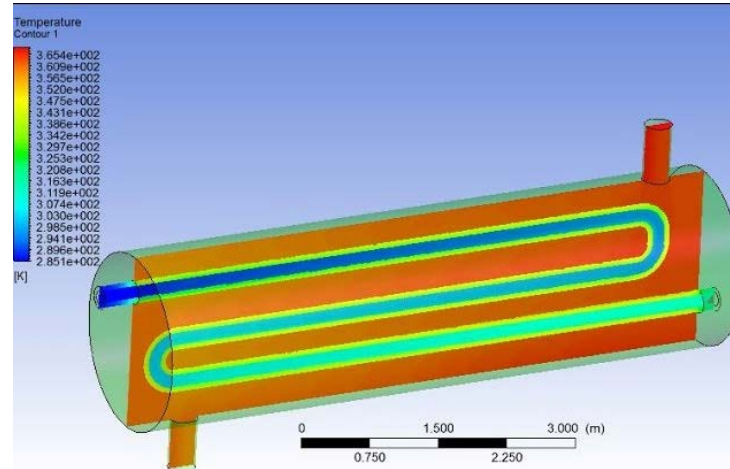
Цифровое проектирование для энергетики



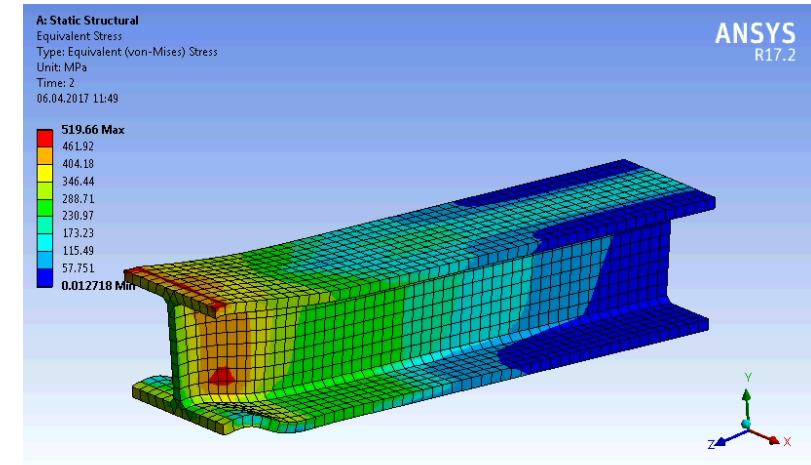
В настоящее время одним из важнейших элементов для анализа и проектирования деталей и узлов объектов энергетики стали CAE (computer-aided engineering) системы, зачастую базирующиеся на методах конечно-элементного анализа (КЭА), такие как: Ansys, COMSOL Multiphysics, NX и др.



Моделирование аэродинамики обтекания лопаток проточной части турбины



Моделирование теплопередачи в теплообменнике



Прогнозирование распределения напряжений в прочностных расчетах

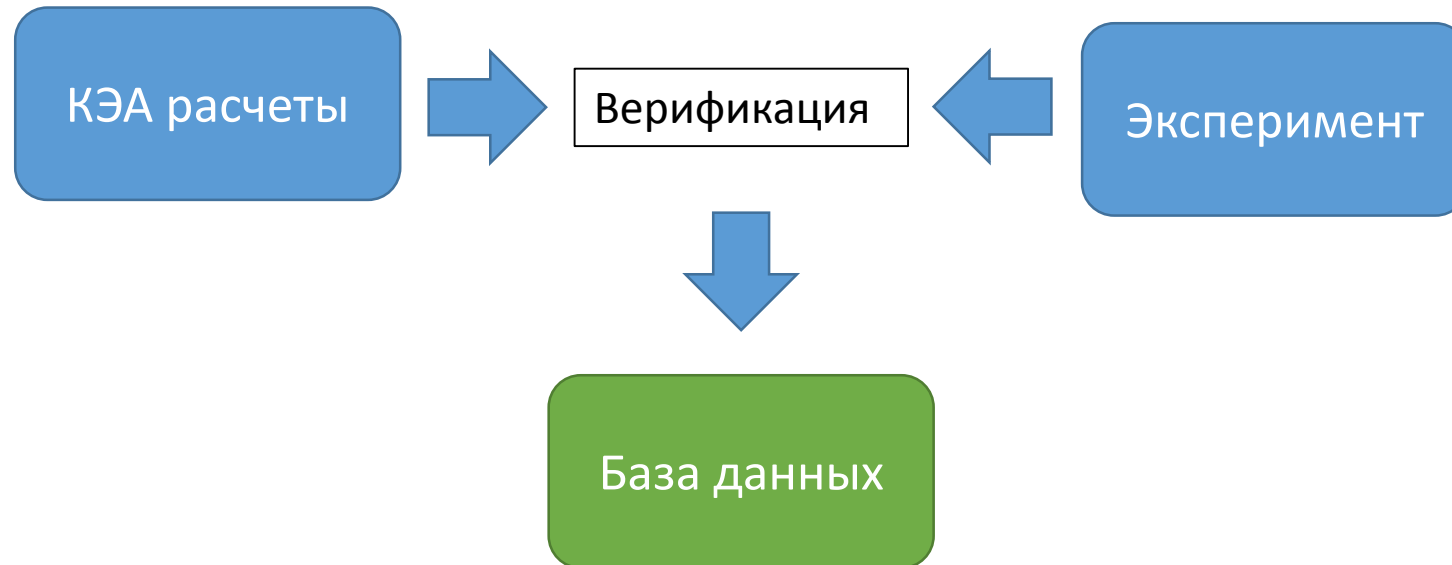
Существующие проблемы подхода:

- современные CAE системы позволяют получить **быстрый результат**, похожий на достоверное решение, однако они чрезвычайно высоко подвержены влиянию наличия опыта у пользователя (результат будет получен в любом случае, но **точность расчета неизвестна**);
- результаты КЭА расчетов зависят от **множества параметров**: размера расчетной сетки, высоты сетки в погранслойной области, величины u^+ , модели турбулентности, методов расчета и других факторов и часто требуют экспериментального подтверждения.

Цифровое проектирование для энергетики



Для осуществления рационального выбора инструментов и методов решения задач компьютерного САЕ инжиниринга, обеспечивающих отклонение результатов моделирования от экспериментальных данных не более чем на 10 % разрабатывается информационно-аналитическая система ИАСПлат.



- рекомендации для выбранного расчетного случая;
- обеспечение совпадения результатов моделирования с экспериментом до 10 % без применения *отдельной* экспериментальной верификации.

Решения для поддержки жизненного цикла изделий



Системы для организации процесса разработки техники и оптимизация использования ресурсов предприятия и поддержка процесса управления разработкой.

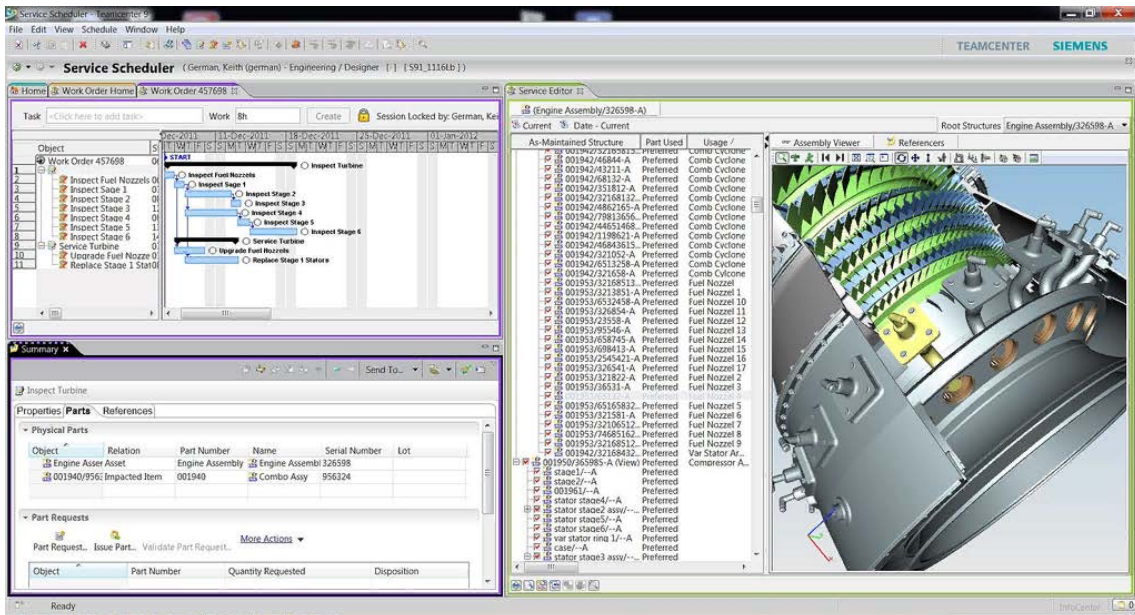
Данные об изделии
(3D модели, чертежи,
документация, ПО)

Данные о процессах
(этапы, задачи, сроки,
исполнители, ресурсы)

Базы данных
(результаты испытаний,
архив версий)

Отчеты
аналитика

Обеспечение эффективной передачи информации между сотрудниками и сопровождение непрерывного процесса проектирования в единой программной среде



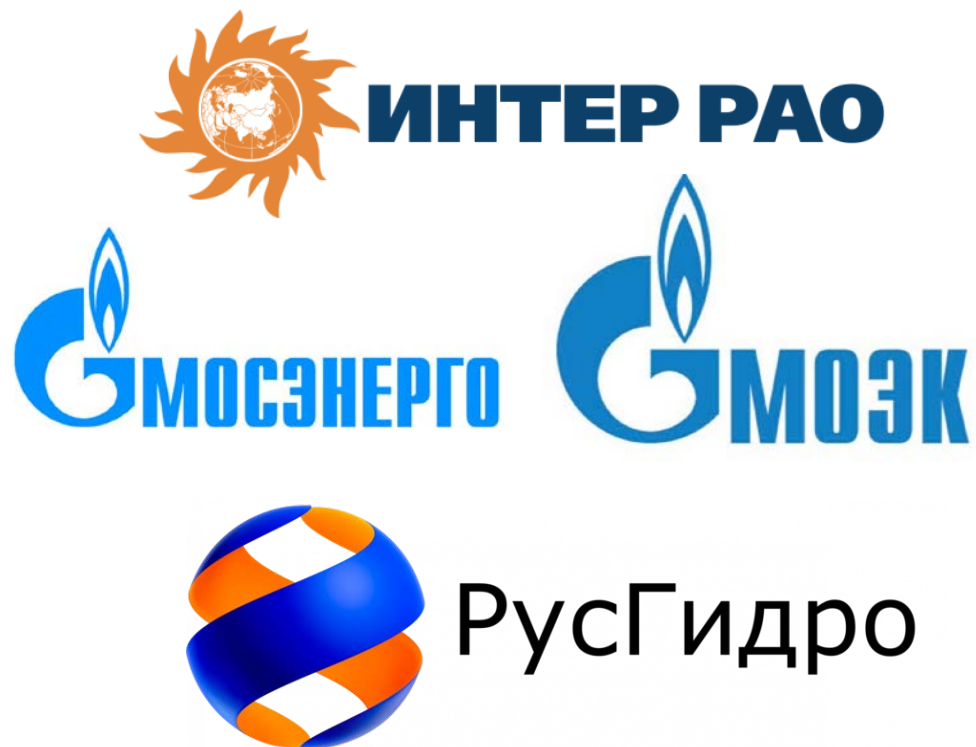
Задача в рамках ПНИ «Цифровая энергетика»:
реализация полного цикла выполнения
проекта ПНИ с использованием ПО Siemens
Teamcenter на примере конкретной
разработки.

Партнеры



Разработки по тематикам, входящим в ПНИ «Цифровая энергетика», являются актуальными и востребованными среди партнеров из числа компаний энергетического сектора, в т.ч. крупных разработчиков цифровых технологий для энергетики.

Энергетические компании



Разработчики ПО и АСУ ТП





Возможности для участников программы:

- актуальная тематика выпускной квалификационной работы (ВКР) с объектом из энергетики;
- получение уникальных междисциплинарных знаний (в области IT и в области энергетики);
- возможность получения опыта работы над проектами, выполняемыми по заказу энергетических компаний и разработчиков ПО;
- возможность получения в перспективе стипендий и грантов;

Регистрация в программе



Простая [форма регистрации](https://www.e-idea.mpei.ru/) на сайте информационной системы «кВт идей» <https://www.e-idea.mpei.ru/>



Ваше Имя

Ваша Фамилия

Ваше Отчество

Ваша группа

Ваш действительный адрес электронной почты

Ваш действительный номер телефона

Укажите проекты и задачи в рамках проектов, в которых вы бы хотели бы участвовать (в порядке убывания заинтересованности)

Дополнительные комментарии или пожелания

1. Укажите Ваши контактные данные ([ФИО, группа, e-mail, контактный телефон](#))



2. Укажите проекты из числа рассмотренных в презентации ([слайд 9](#)), в которых Вы хотели бы участвовать (один или несколько), на основе полученных заинтересованностей будут определены проекты, которые будут запущены в пилотной программе и сформированы коллективы.



3. При необходимости добавьте комментарии или пожелания (можно указать имеющиеся навыки работы с программными средствами, предложения по реализации собственных идей в рамках проектов и т.д.)



Спасибо за внимание!