



The background features abstract geometric shapes in red and blue. At the top left, there are two parallel diagonal lines, one red and one blue. In the center, a semi-circular fan shape is composed of several red segments separated by white lines. To the right, a large red wedge shape points towards the top right. At the bottom, a thick blue arc curves across the width of the page. Several 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.

## Проект № 1

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



Консультанты в  
области IT (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 IT (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

Передача

Потребление

Средства цифрового проектирования оборудования	Средства цифрового проектирования объектов



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



- 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

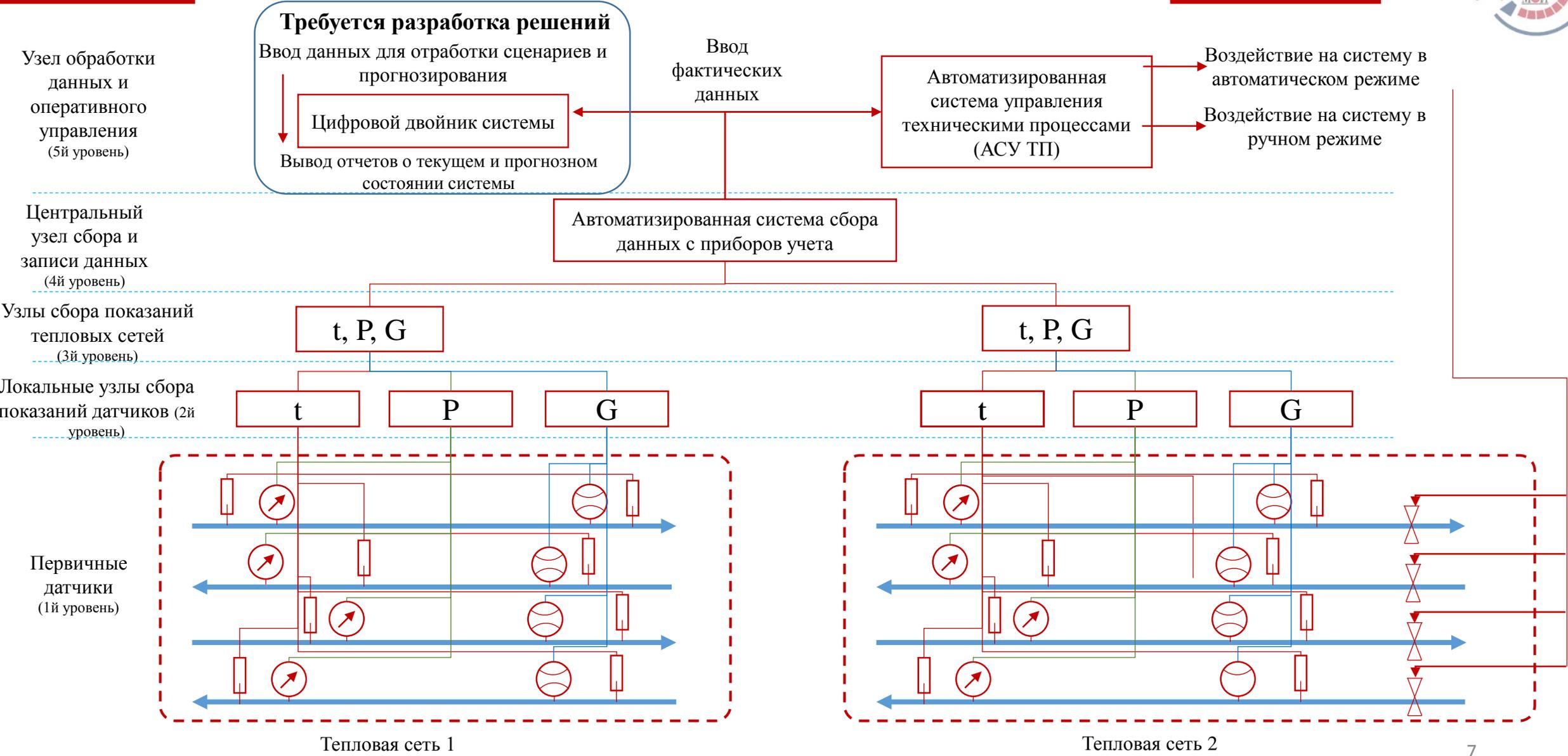


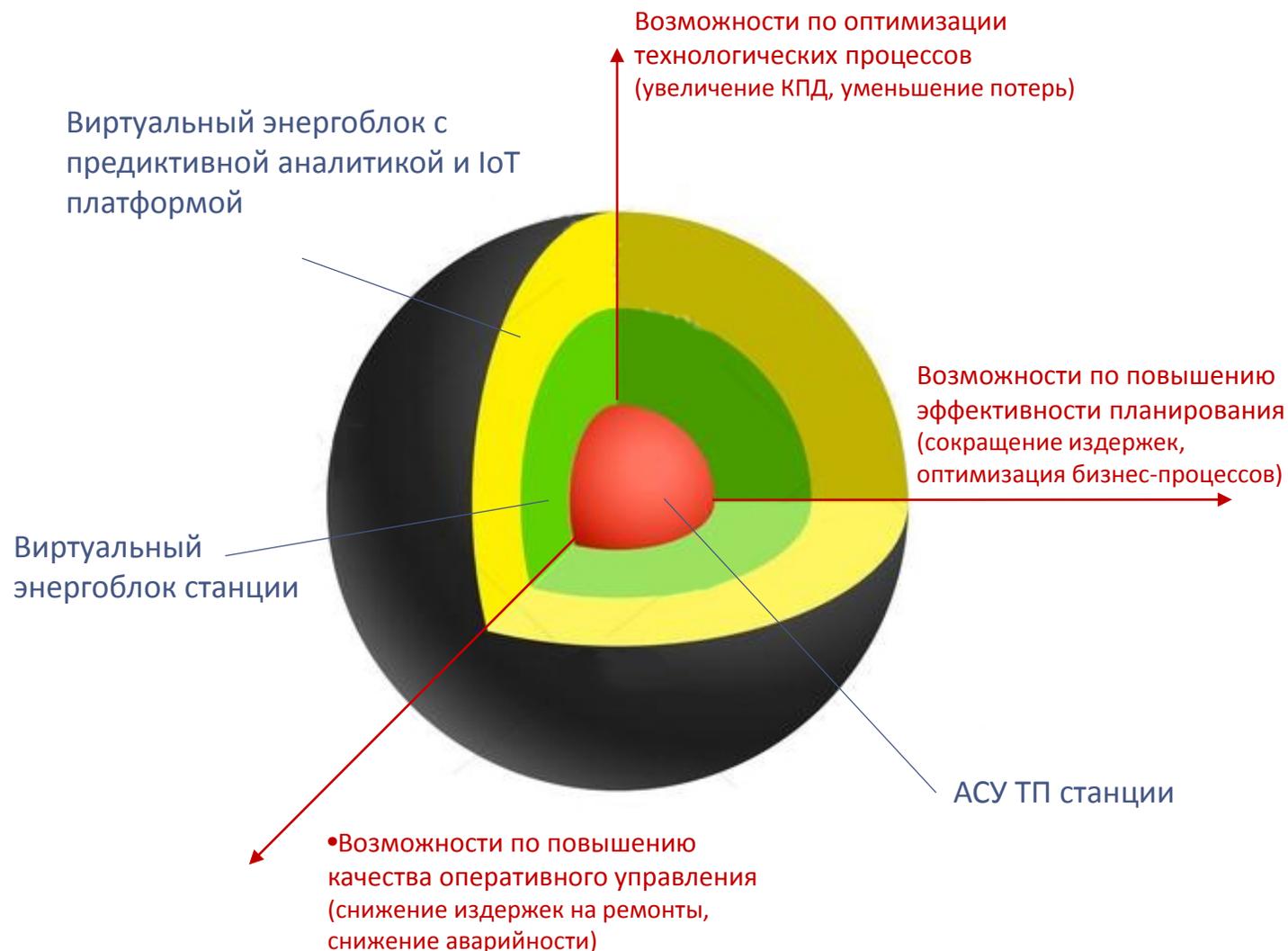
## Потребление энергии:

- 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

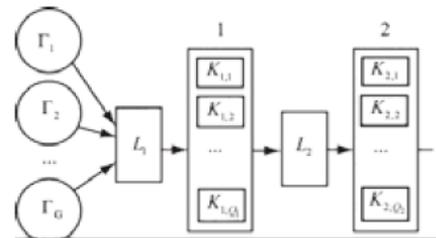
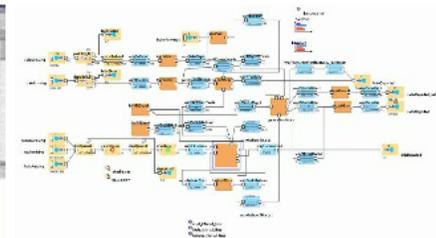
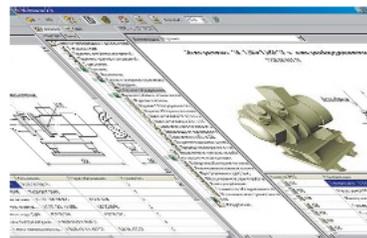
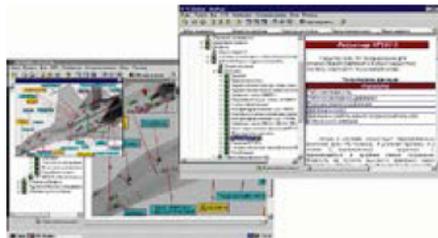
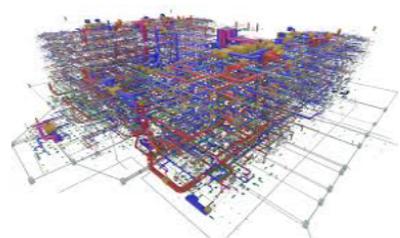
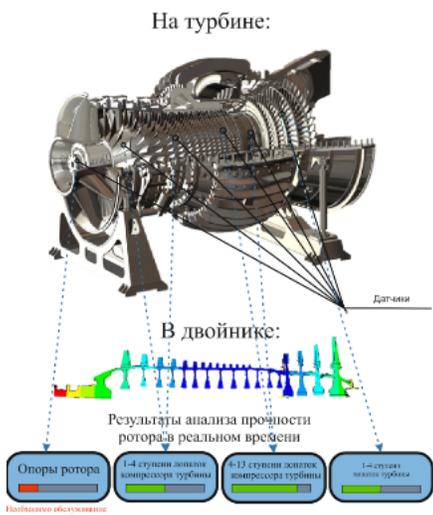
Проактивное обслуживание оборудования

3D модель

Интерактивные электронные технические руководства

Имитационная модель тепловой схемы

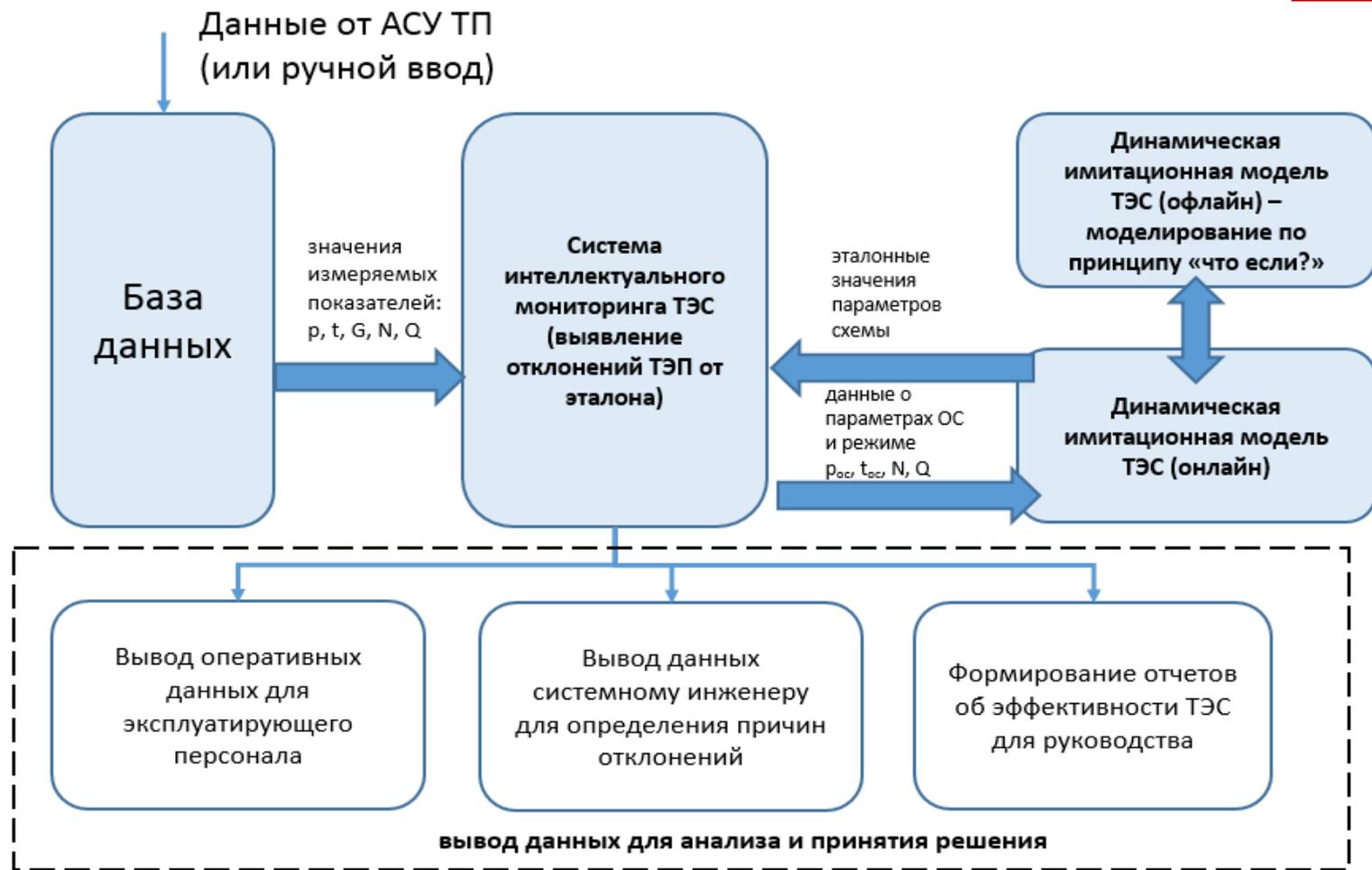
Финансовая модель



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

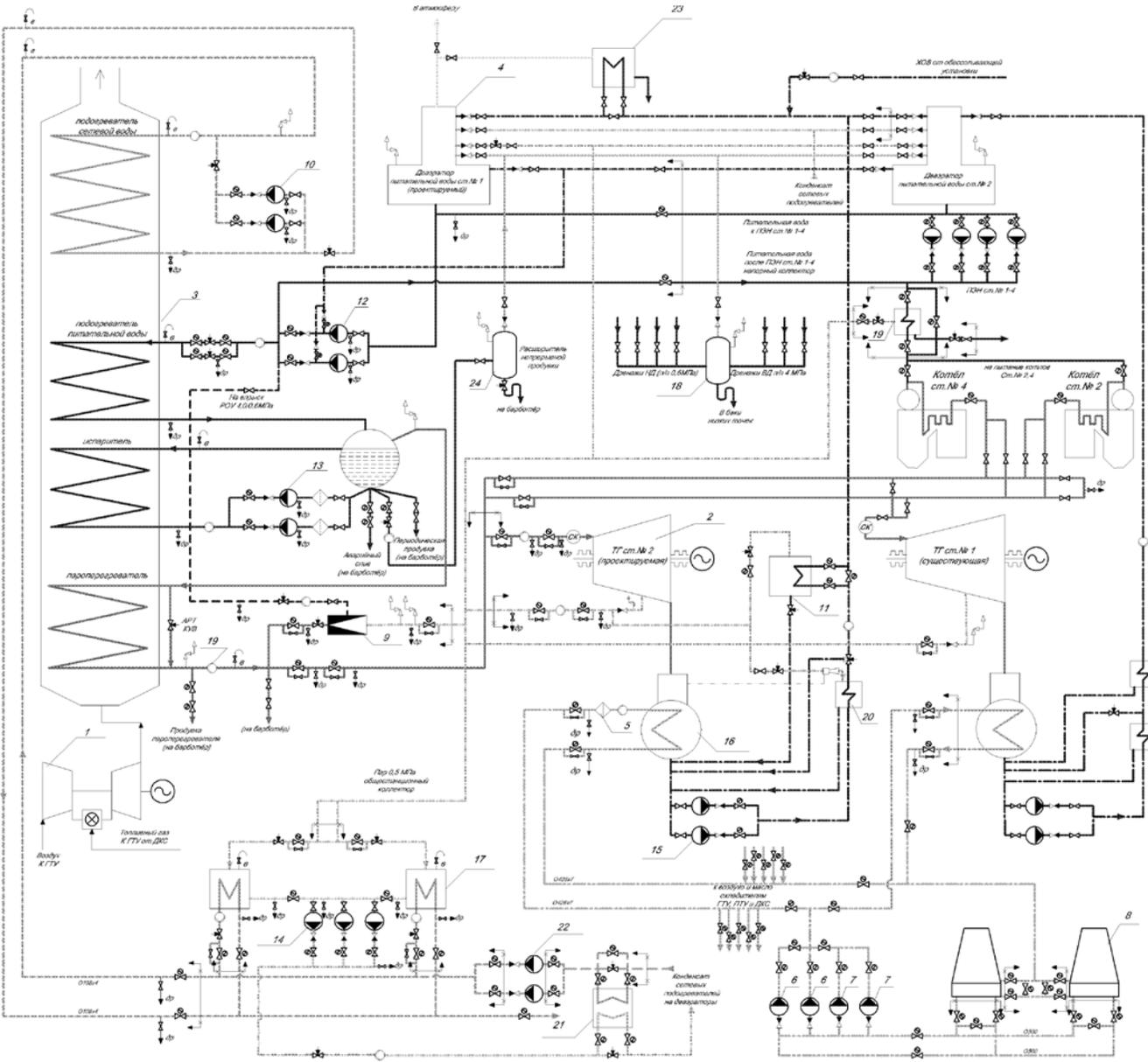


# Принципы функционирования цифрового двойника ТЭС



**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.

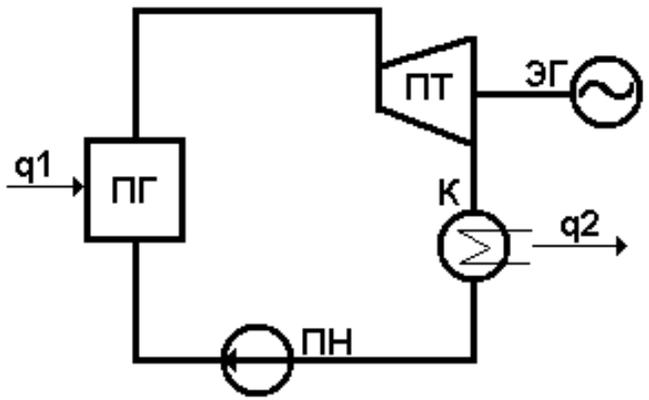
# Тепловая схема ТЭС



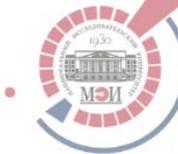
Принципиальная тепловая схема ТЭС



Упрощенная тепловая схема ТЭС

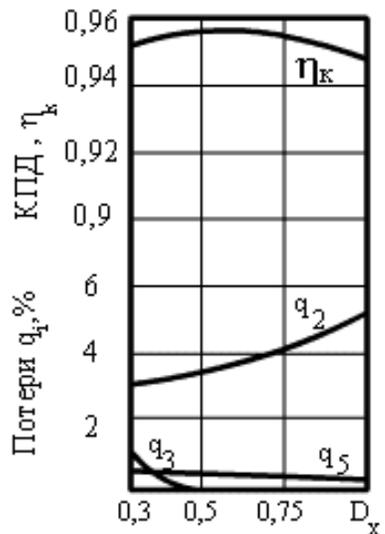


# Цифровой двойник ТЭС

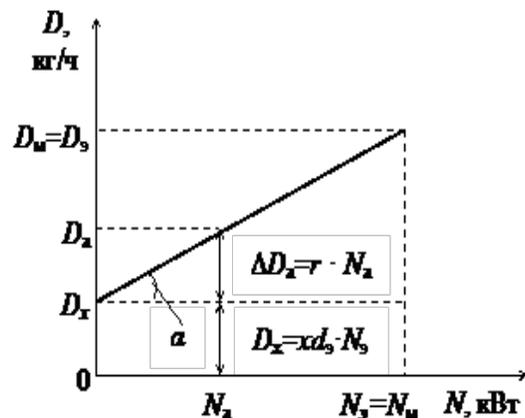


Задачи в рамках ПНИ «Цифровая энергетика» для разработки цифрового двойника ТЭС:

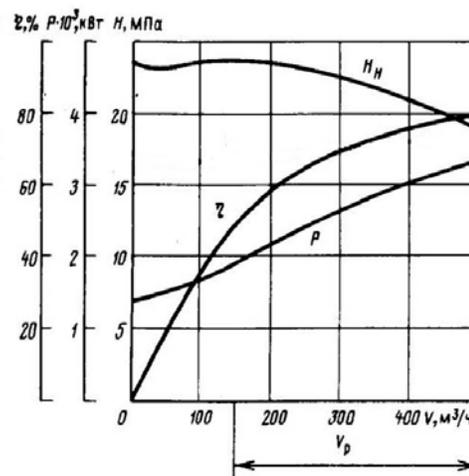
Разработка имитационной модели парового котла



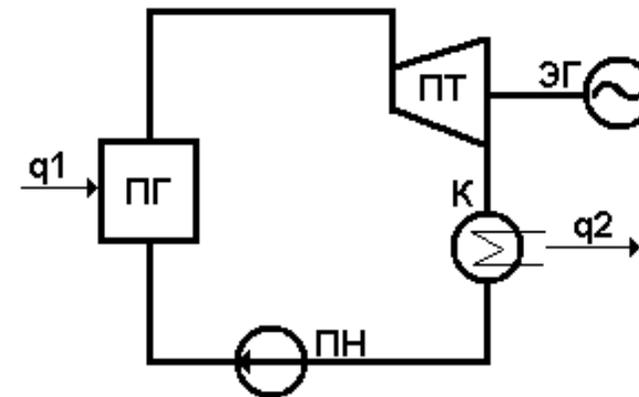
Разработка имитационной модели паровой турбины



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:

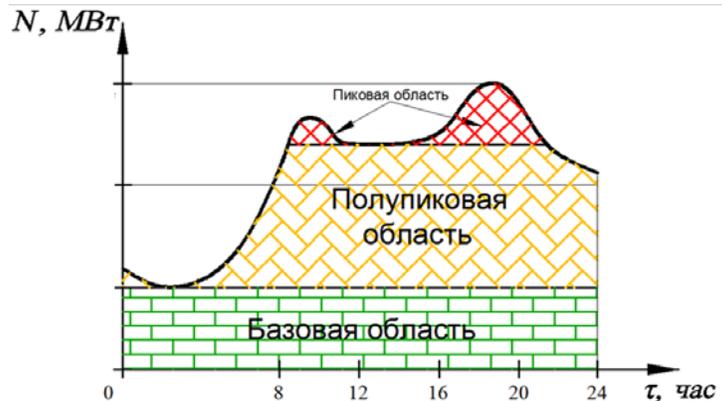
Система интеллектуального мониторинга для простейшего паротурбинного цикла ТЭС



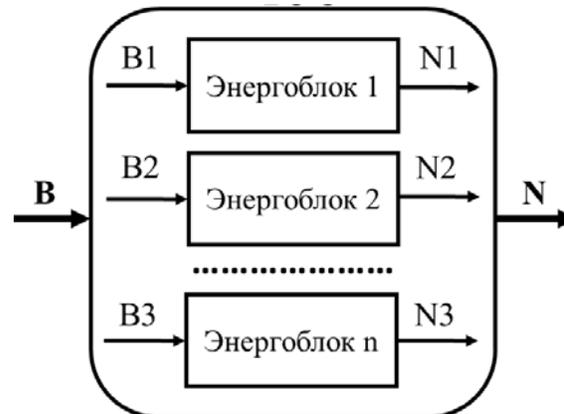
Создание системы интеллектуального мониторинга для ТЭС МЭИ

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

## Неравномерный график электрической нагрузки



## Множество энергоблоков в составе ТЭС



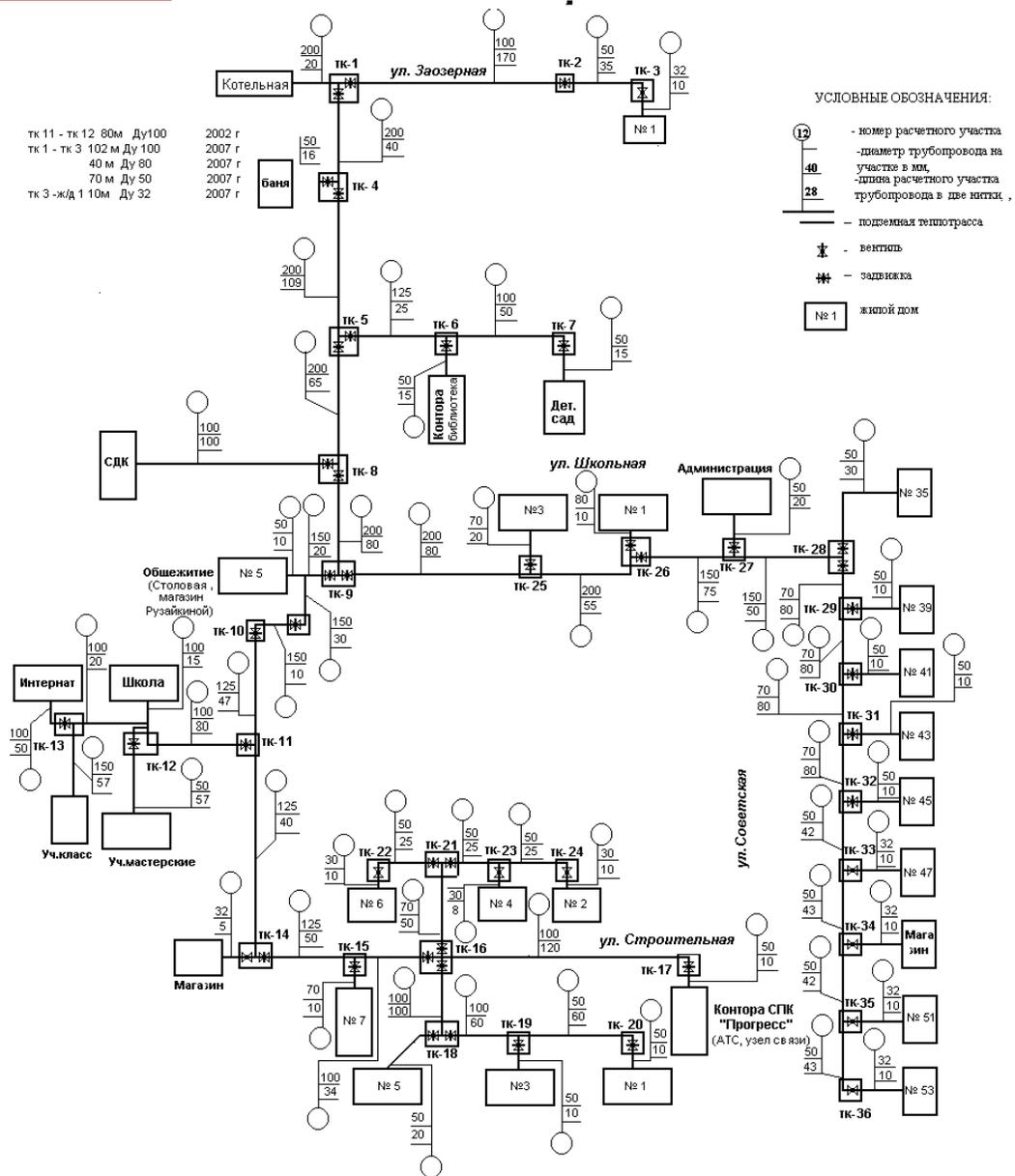
## Зависимость КПД энергоблоков от нагрузки

Турбоустановки типа К	Типовые энергетические характеристики турбоустановок ( $G_{\text{отд.в.}}=\text{const}$ , $t_{\text{отд.в.}}=\text{const}$ , $p_{\text{в.}}=\text{var}$ )	Зависимость удельного расхода условного топлива на выработку электроэнергии нетто от электрической мощности нетто	
		Природный газ	Уголь
К-50-90-3 ЛМЗ	$Q_0=9,8+2,048*N_T+0,230*(N_T-36,15)$ , 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	$Q_0=15,2+1,971*N_T+0,160*(N_T-75,66)$ , 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	$Q_0=19,66+1,959*N_T+0,108*(N_T-109,78)$ , 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	$Q_0=20,12+1,866*N_T+0,095*(N_T-190)$ , 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	$Q_0=47,44+1,775*N_T+0,176*(N_T-251,83)$ , 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.

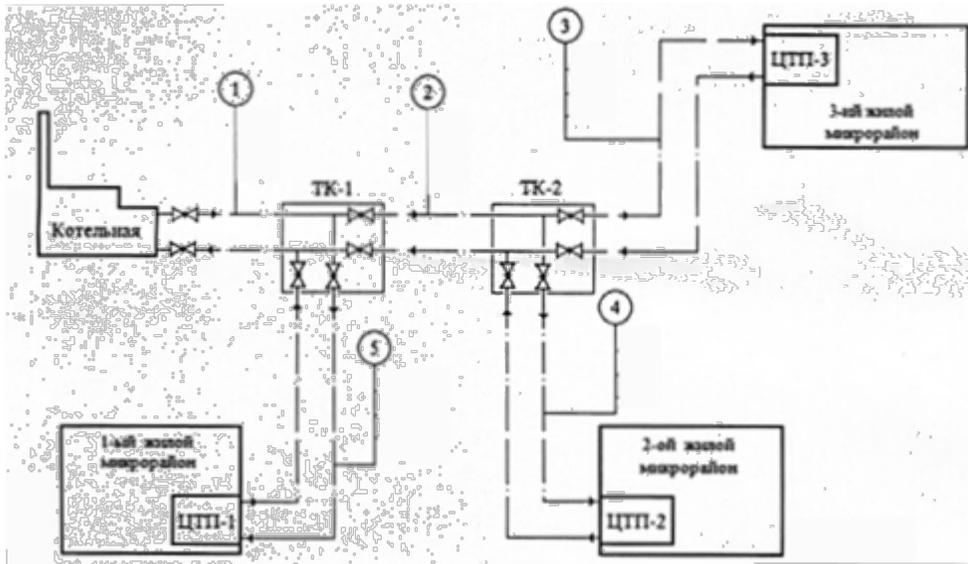
# Принципиальная схема тепловой сети



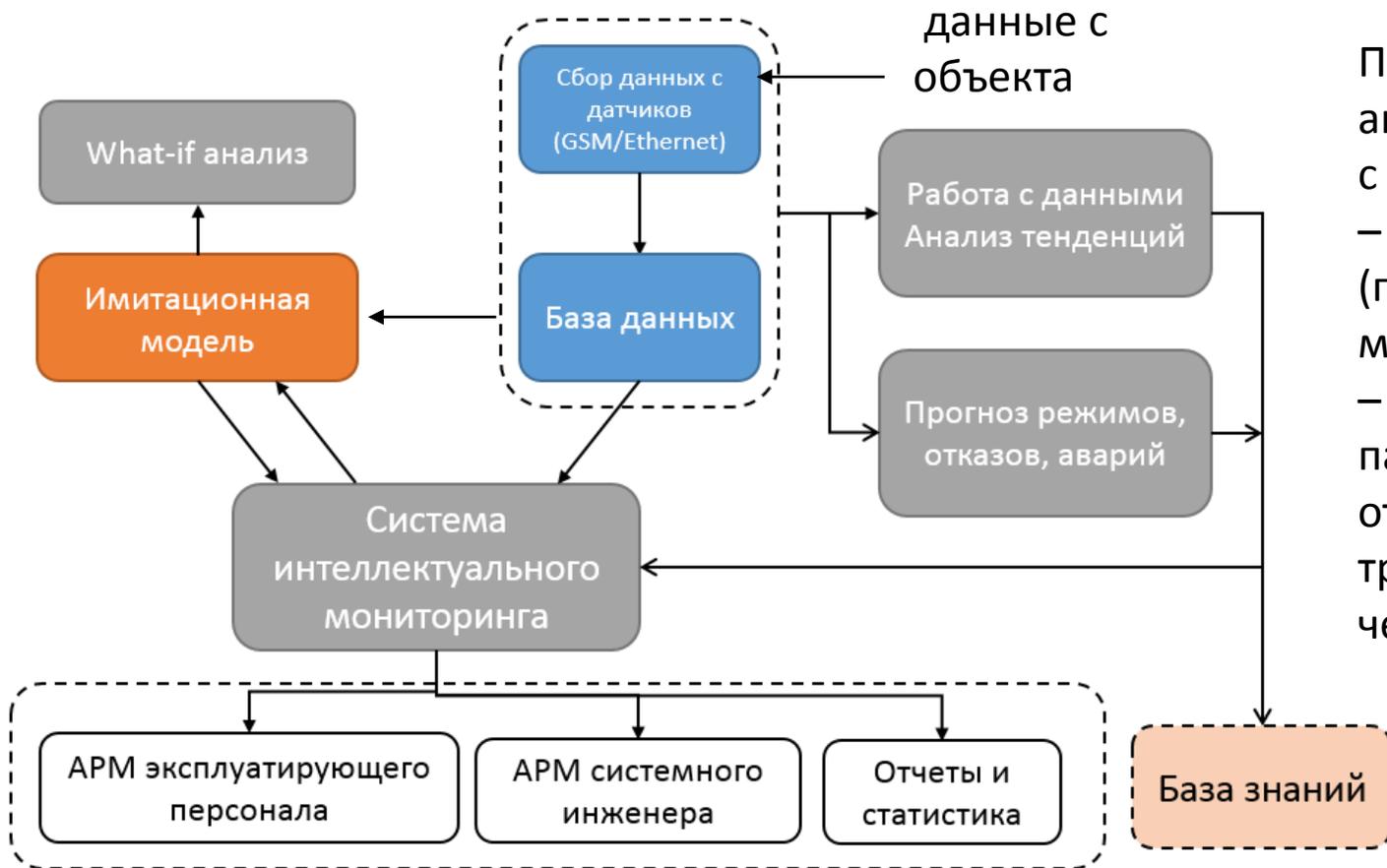
Принципиальная расчетная схема городской тепловой сети



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)

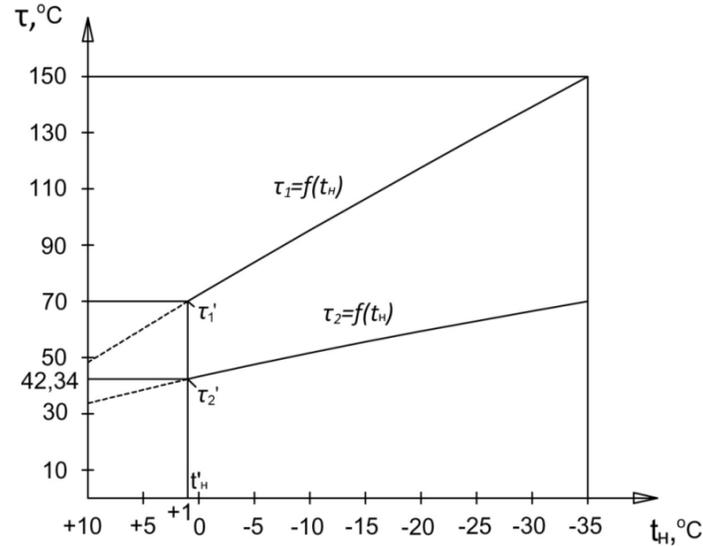
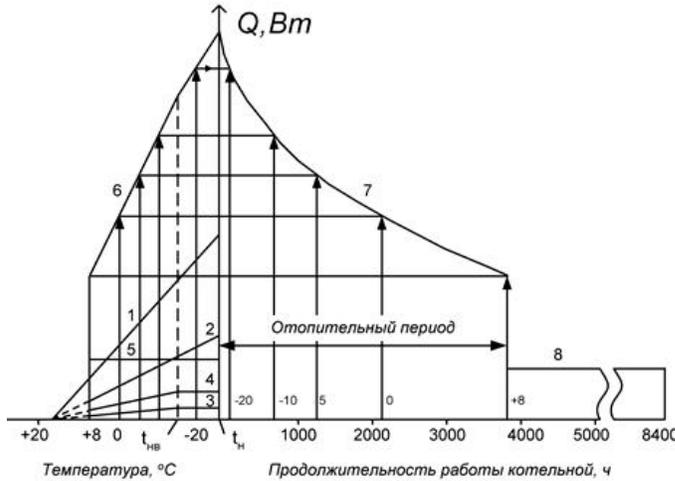
**Проблема**, решаемая цифровым двойником тепловой сети: отсутствие системы автоматизированного анализа данных о работе тепловой сети для определения соответствия режима работы тепловой сети оптимальному, выработки рекомендаций для эксплуатирующего персонала и прогнозированию возникновения аварийных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

# Задачи для создания цифрового двойника тепловой сети

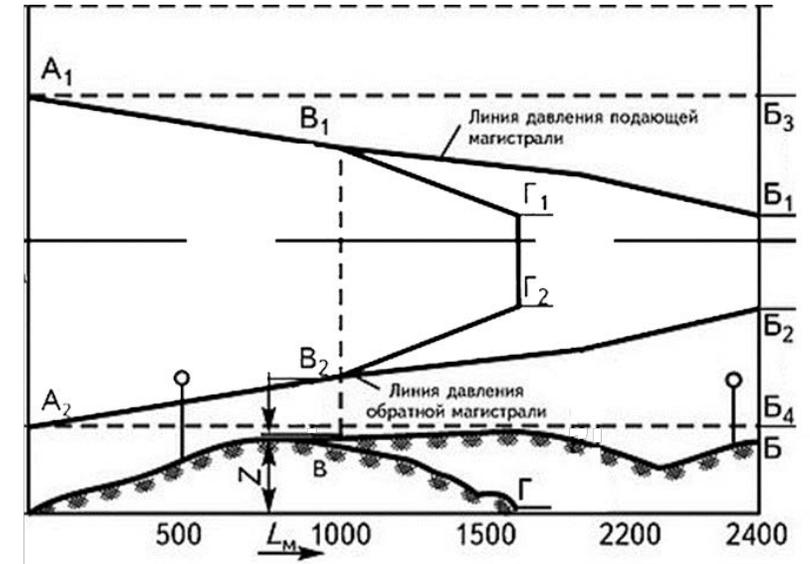


Задачи в рамках ПНИ «Цифровая энергетика» для разработки цифрового двойника тепловой сети:

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



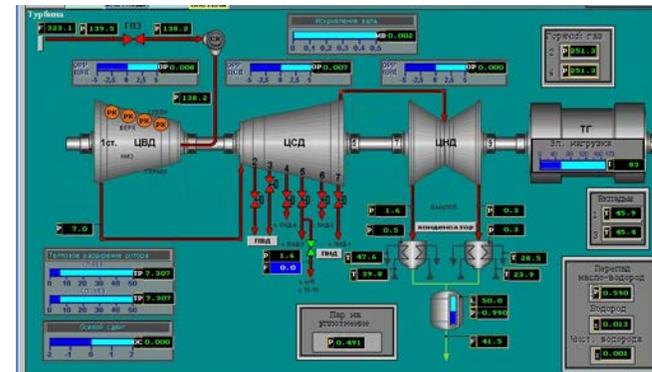
Система автоматического управления

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

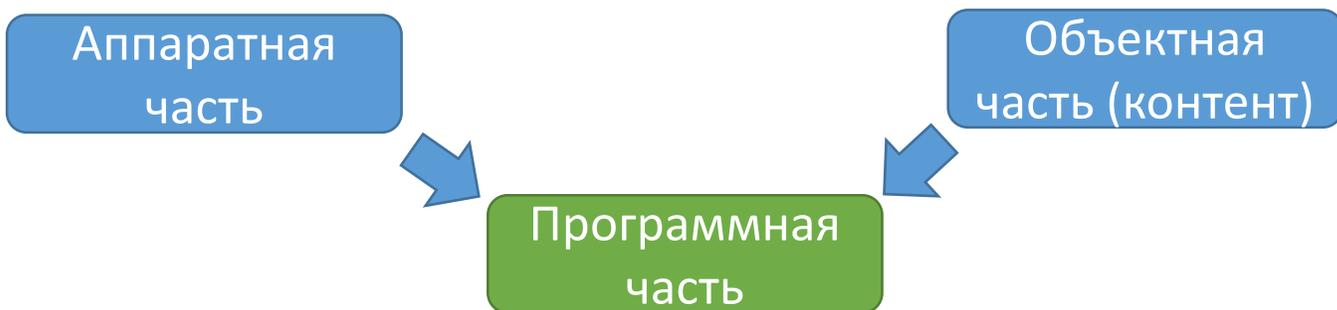
# Технологии AR/VR для энергетики



**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:

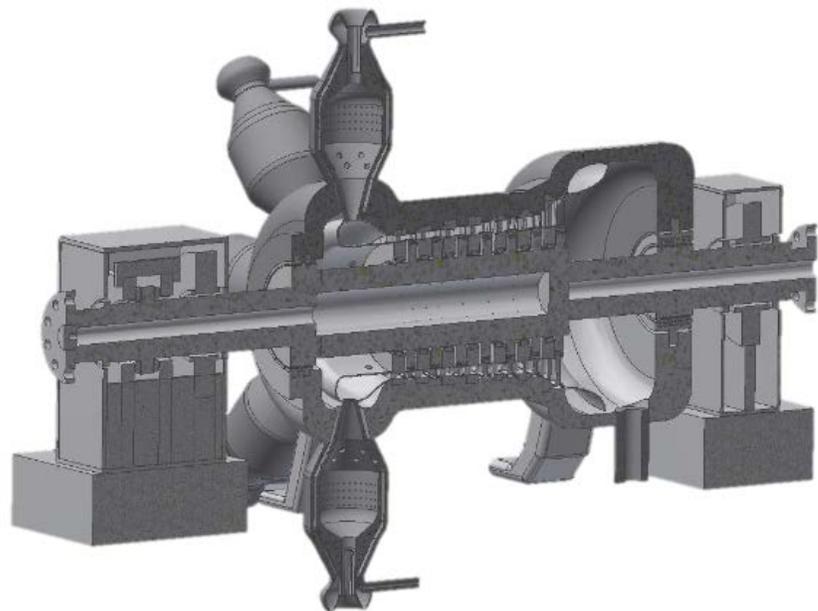
- поддержка принятия решений, быстрая адаптация персонала к конкретному объекту;
- возможность работы с большим количеством различных моделей и модификаций оборудования;
- возможность оперативного доступа к требуемой документации по оборудованию;
- возможности использования новых методик обучения персонала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

# Технологии AR/VR для энергетики

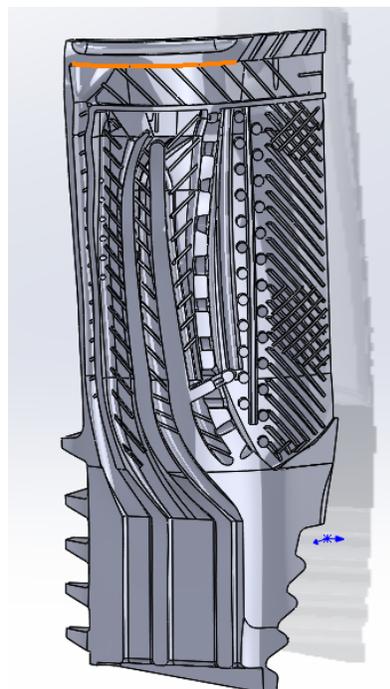


Задачи в рамках ПНИ «Цифровая энергетика» для разработки AR/VR технологий: создание AR приложения для демонстрации имеющихся 3d моделей энергетических объектов.

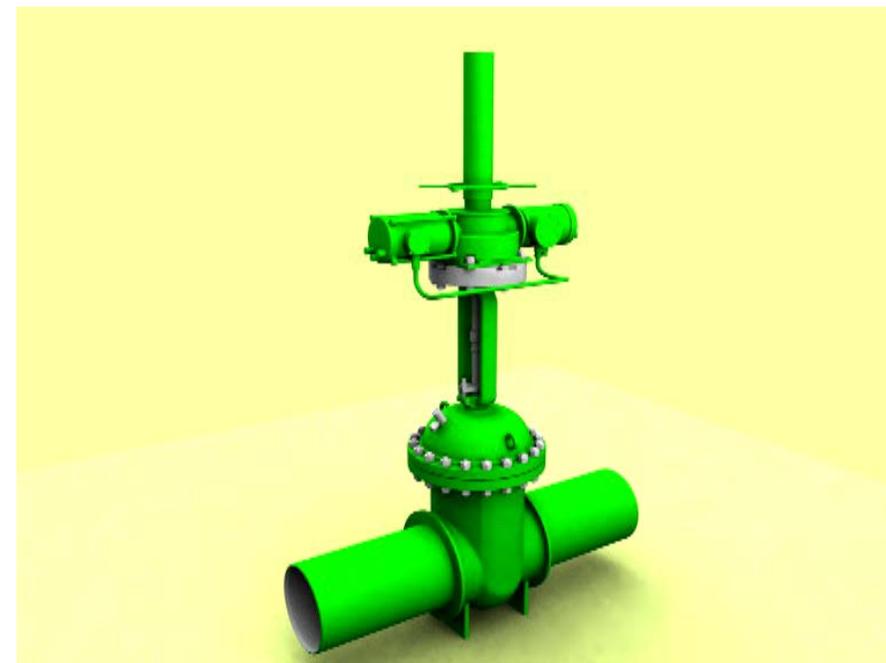
Турбина на сверхкритическом диоксиде углерода



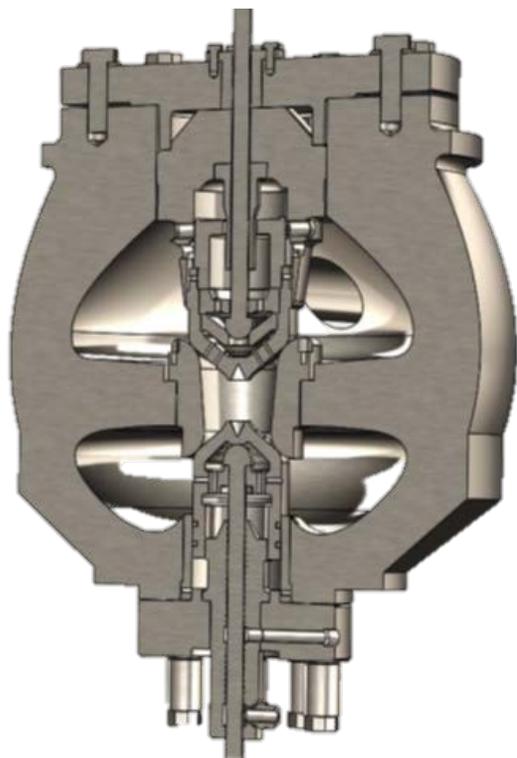
Разрез охлаждаемой лопатки газовой турбины



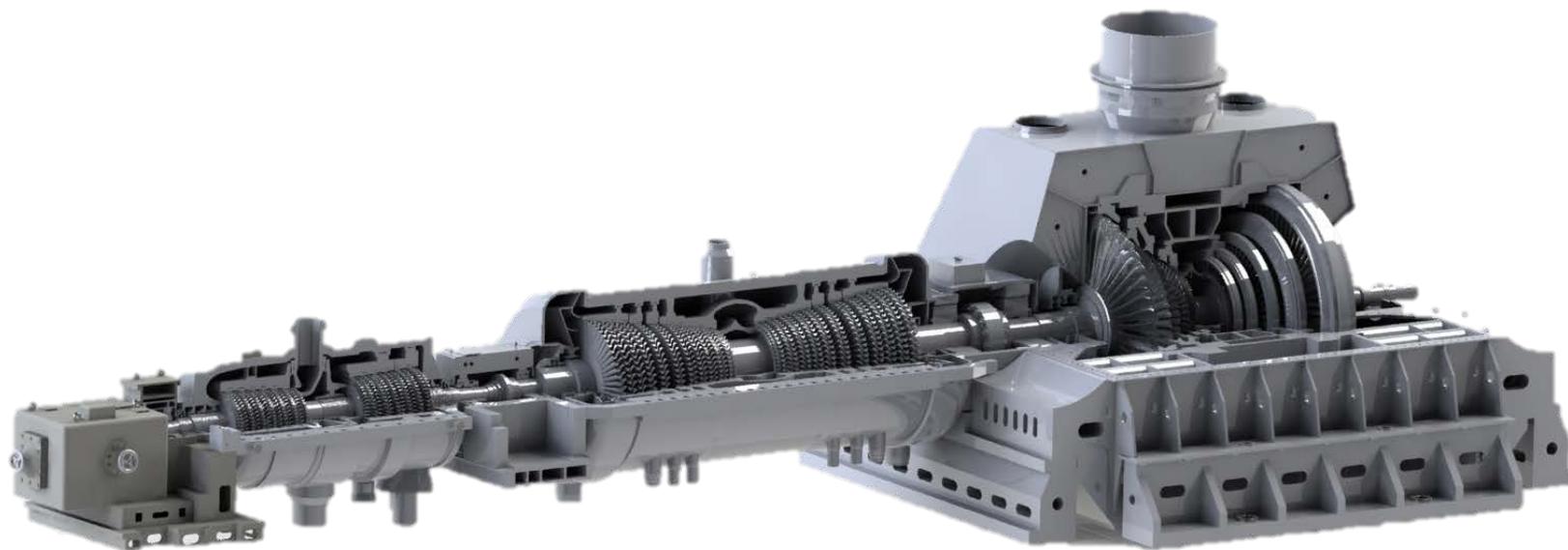
Разборка клиновой задвижки



Стопорно-регулирующий клапан паровой турбины



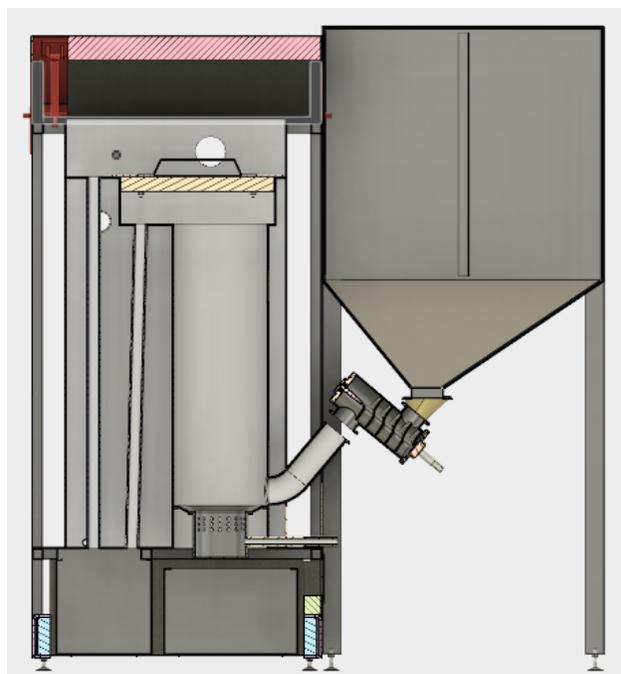
Паровая турбина на ультрасверхкритические параметры пара



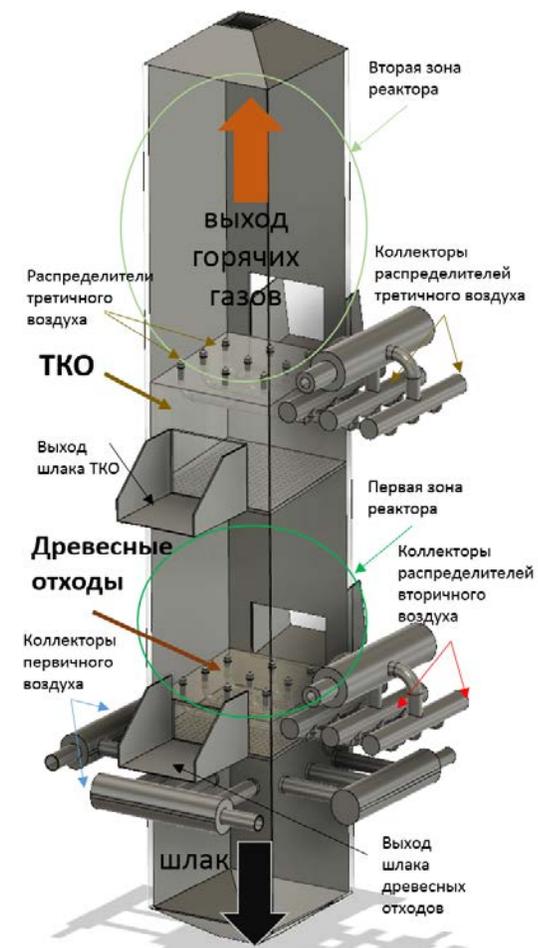
ГТУ с детандерным приводом



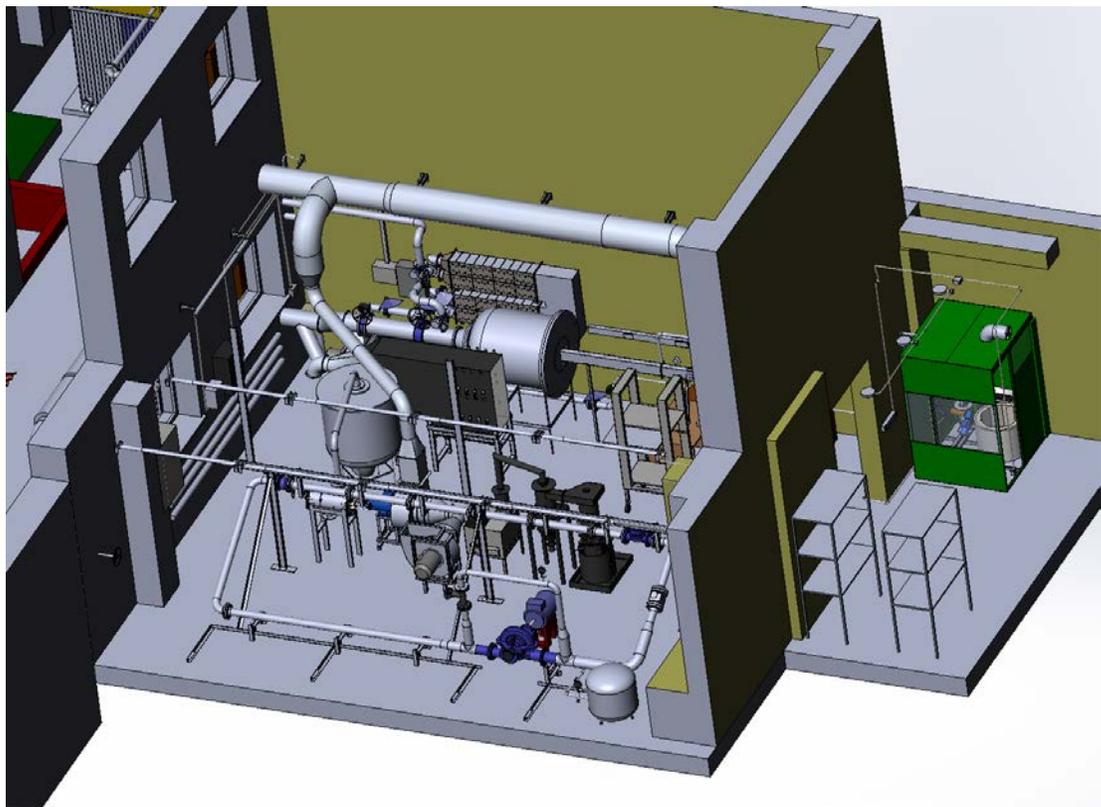
Пеллетный котел



Эскиз реактора для утилизации ТКО



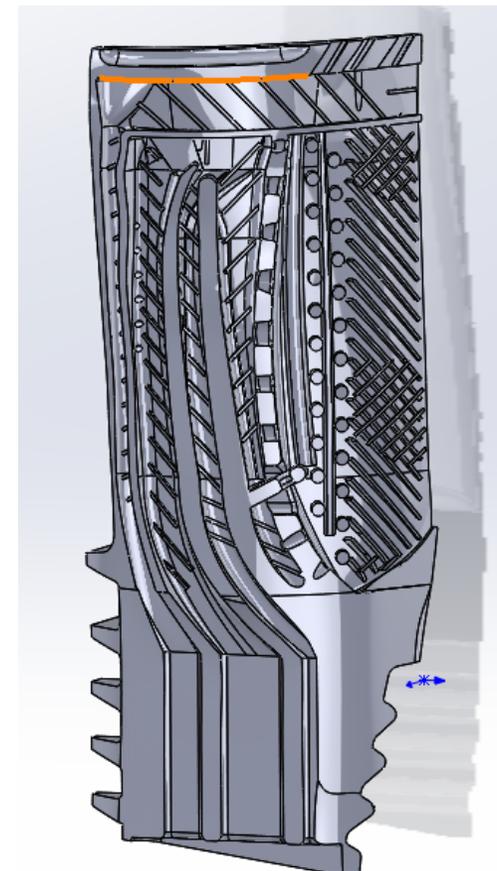
3D модель лаборатории



Двухъярусная лопатка  
паровой турбины



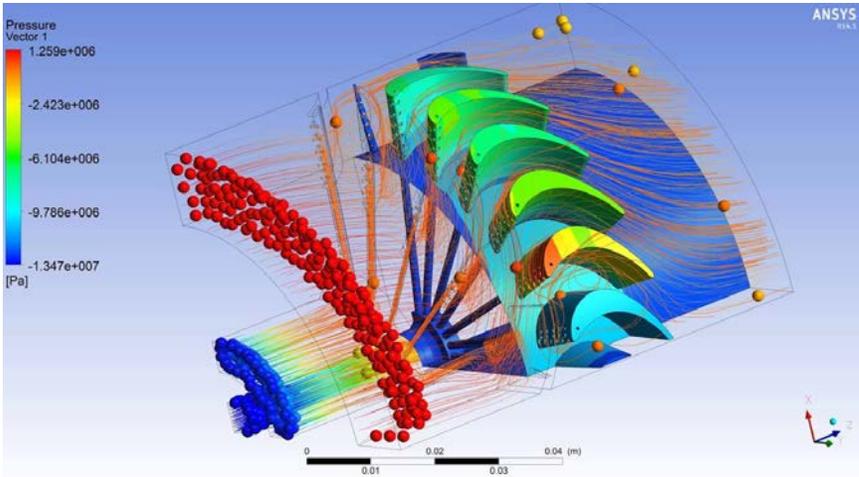
Разрез охлаждаемой  
лопатки газовой турбины



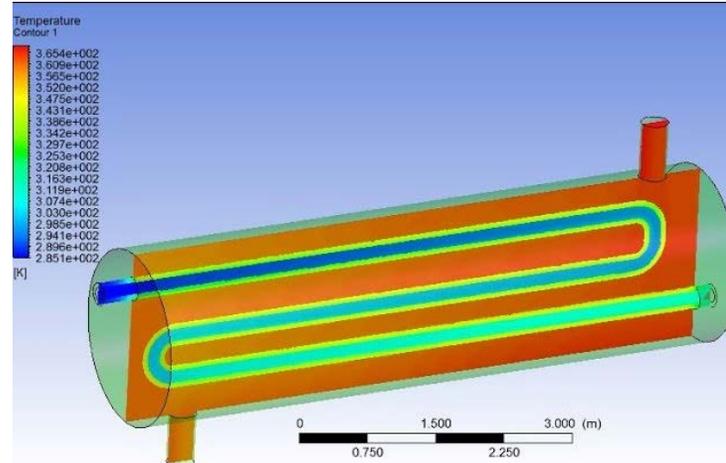
# Цифровое проектирование для энергетики



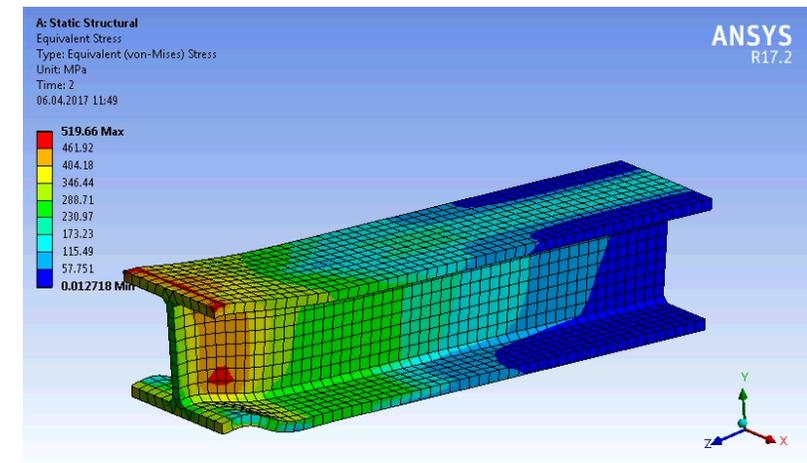
В настоящее время одним из важнейших элементов для анализа и проектирования деталей и узлов объектов энергетики стали CAE (computer-aided engineering) системы, зачастую базирующиеся на методах конечно-элементного анализа (КЭА), такие как: Ansys, COMSOL Multiphysics, NX и др.



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.

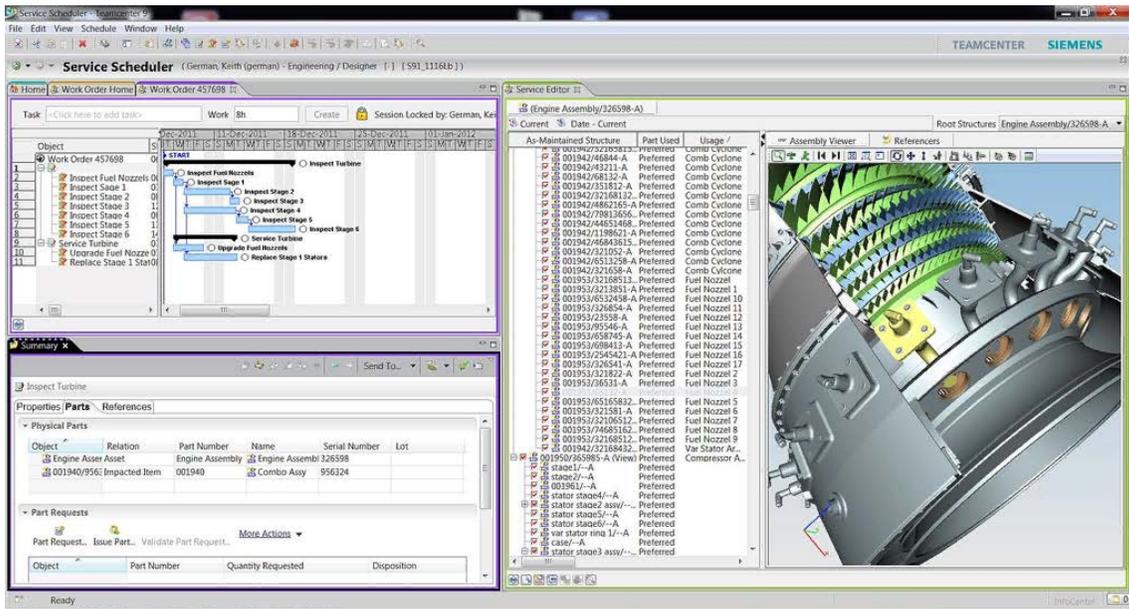
Данные об изделии  
(3D модели, чертежи,  
документация, ПО)

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



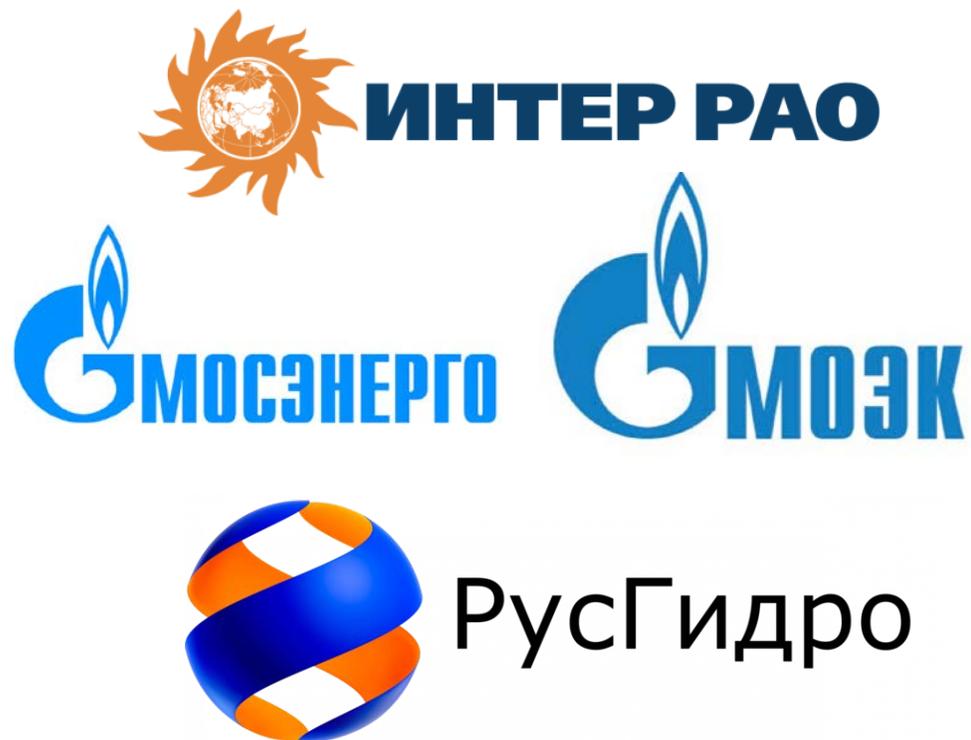
Задача в рамках ПНИ «Цифровая энергетика»:  
реализация полного цикла выполнения  
проекта ПНИ с использованием ПО Siemens  
Teamcenter на примере конкретной  
разработки.

# 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





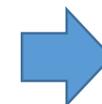
## Возможности для участников программы:

- 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!