

# CYBERSTUDIO

Платформа для управления производственными активами на основе гибридной аналитики

ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА  
ОБОРУДОВАНИЯ

ОПТИМИЗАЦИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

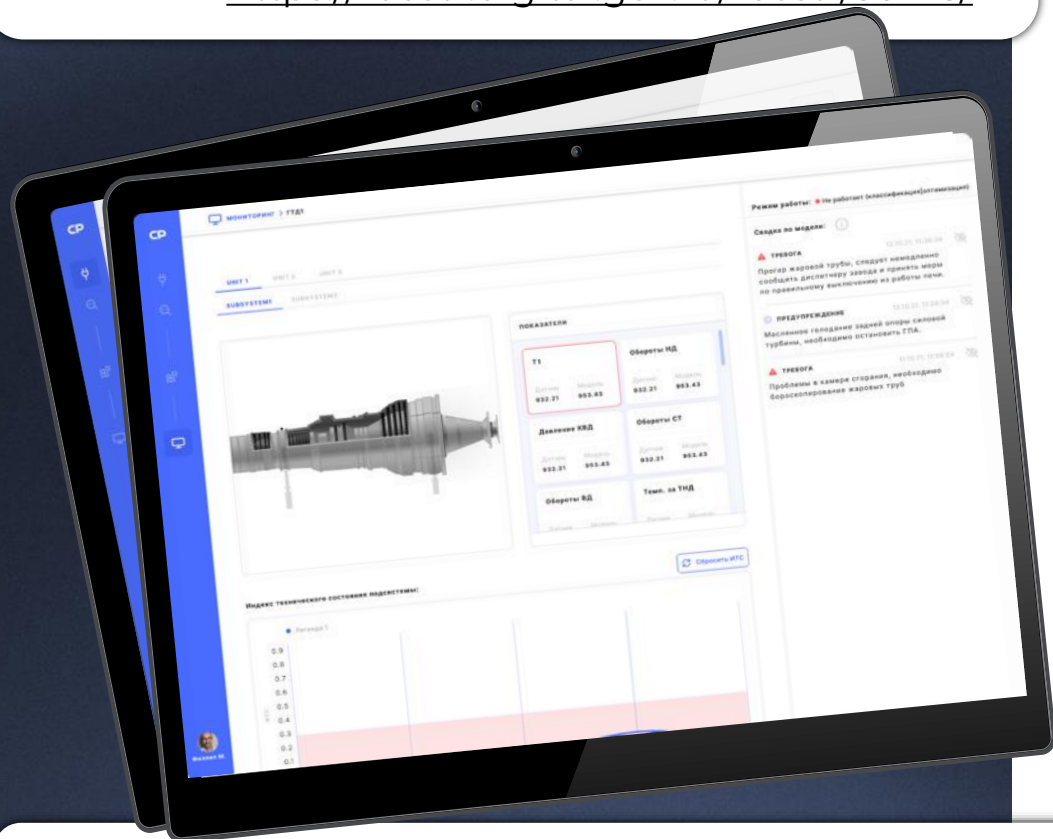




## ПО CyberStudio

для предиктивной аналитики  
оборудования и оптимизации  
технологических процессов

<https://reestr.digital.gov.ru/reestr/501115/>



# ПО CYBERSTUDIO



**Предприятия непрерывного цикла:**  
нефтегаз, химия, металлургия, энергетика



**Машиностроительные предприятия**

## Проблемы:



аварии и неисправности на предприятии



неоптимальные режимы работы оборудования



низкая прозрачность тех. состояния оборудования

## Суть решения:

- о построение и применение цифровых моделей с применением прикладного ИИ для оборудования
- о переход к управлению производством на основе цифровых моделей

Наши клиенты



УРАЛКАЛИЙ



# ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ CYBERSTUDIO



## 1 ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА

Раннее диагностирование **развивающихся дефектов** и аномалий

**Анализ и прогноз** технического состояния

**Снижение затрат** на ремонты оборудования

## 2 ОПТИМИЗАЦИЯ

Быстрая разработка **цифровых двойников** технологических процессов

**Контроль выхода** технологического процесса за допустимый регламент

**Локализация узких мест** производственных процессов с последующими рекомендациями на улучшение



Снижение финансовых затрат на **цифровую трансформацию** компании



Увеличение скорости внедрения за счет **библиотеки преднастроенных моделей**



Повышение эффективности производственного процесса **за счет рекомендаций**



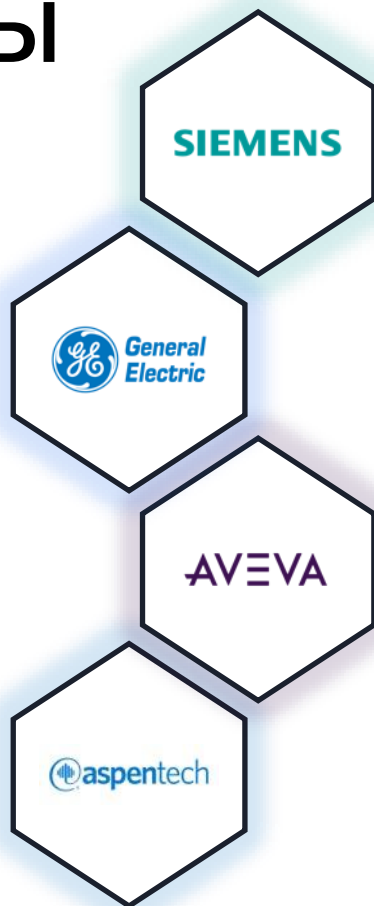
# МИРОВЫЕ ЛИДЕРЫ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ

Принцип работы: «План-факт»

«План», прогнозируется  
моделью

«Факт» идет с датчиков

Разладка между показаниями  
телеметрии и моделью говорят  
о неисправности оборудования



Неточности в срабатывании  
Проблемы с обобщаемостью

## CYBERSTUDIO

Точность моделей улучшает  
предиктивную диагностику



Разделение  
дефектов

Прогноз  
развития дефектов

Рекомендации  
по оптимизации

# МЕЖДУНАРОДНЫЕ РЕШЕНИЯ

Aspen  
Mtell



GE  
SmartSignal



Aveva  
PRISM



CyberStudio



Дорабатываемый  
функционал ПО:

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕДСТАВЛЕНЫ НА РЫНКЕ

Нейронные сети



Преднастроенные шаблоны  
моделей оборудования



Прогноз технического состояния  
оборудования



## ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ НА РЫНКЕ

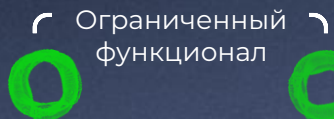
Физ.-мат. модели, построенные  
на основе уравнений и зависимостей



Функционал оптимизации  
режимов вместе  
с предиктивным анализом



Трансферное обучение для  
масштабирования на парк  
оборудования



• **Прогноз технического состояния оборудования**  
- комплексный прогноз тех. состояния оборудования

• **Технология Transfer Learning**  
- позволяет обучать модели с возможностью переноса информации из ранее обученных суррогатных моделей.

**Масштабирование на уровне цеха**  
- сейчас возможно масштабирование на уровне отдельных единиц оборудования

— имеется в ПО

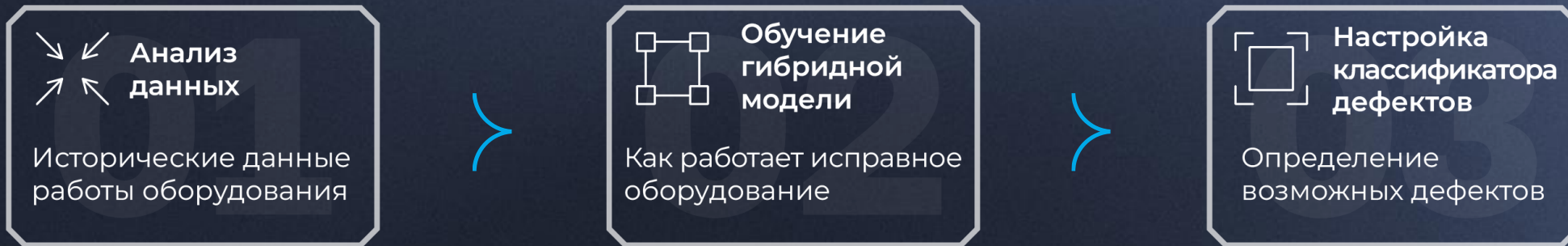
— не имеется в ПО

— в доработке



# КЛЮЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

## ГИБРИДНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ



**Детектирование и классификация**  
типа дефекта



**Демонстрация предупреждения**  
о развитии дефекта



**Устранение неполадки**  
на раннем этапе  
без потерь и простоев



**Без платформы CYBERSTUDIO**  
Аварийный останов



- ⚠ Позднее обнаружение дефекта
- ⚠ Развитие до критического состояния и аварийный останов

# РЕАЛИЗОВАННЫЕ ПРЕДИКТИВНЫЕ И ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПЛАТФОРМЕ CYBERSTUDIO



Газоперекачивающий агрегат



Шаровые мельницы



Печи



Паротурбинная установка



Электродвигатели



Турбины



Электродвигатель



Турбовоздуходувка

# ПРИМЕРЫ КЕЙСОВ CYBERPHYSICS

Предиктивная диагностика тех. состояния на парке газоперекачивающих агрегатов



- Распознавание дефекта за **400 часов** до поломки
- Предсказана аварийная остановка — **50-60 млн руб.**

Оптимизация расхода газа в печах



- Экономия расхода газа — **10%**;
- **1 млн руб./мес.** на 1 печь

Предиктивная диагностика энергогенерирующего оборудования ТЭЦ



- Внедрение ПО для предиктивной диагностики на 10 ТЭЦ

Оптимизация работы цеха **химического производства**



- Оптимизировано **35%** неоптимальных режимов
- Повышение производительности: **40%** времени достигается выработка продукции

Предиктивная диагностика тех. состояния **валкового пресса**



- Экономия от аварийного останова — **50 млн** рублей
- Предотвращено **2 аварийных останова**



# ЭТАПЫ РАБОТЫ

Аудит

2 месяца

Технологический аудит предоставляемых Заказчиком данных

Разработка

4-8 месяцев

Разработка моделей оборудования / технологического процесса

Измерения

1-1.5 месяца

Интеграция ПО CyberStudio с системой сбора данных Заказчика для работы в реал-тайм

ОПИ

3-6 месяцев

Осуществление пуско-наладки и опытно-промышленной эксплуатации

Тех. поддержка

Осуществление методологической и технической поддержки работы ПО в контуре Заказчика

# РЕЗУЛЬТАТЫ

1

Проведен аудит данных с точки зрения их полноты для дальнейшего использования

2

Разработаны модели оборудования / технологического процесса

3

Проведена интеграция для работы в режиме реального времени

4

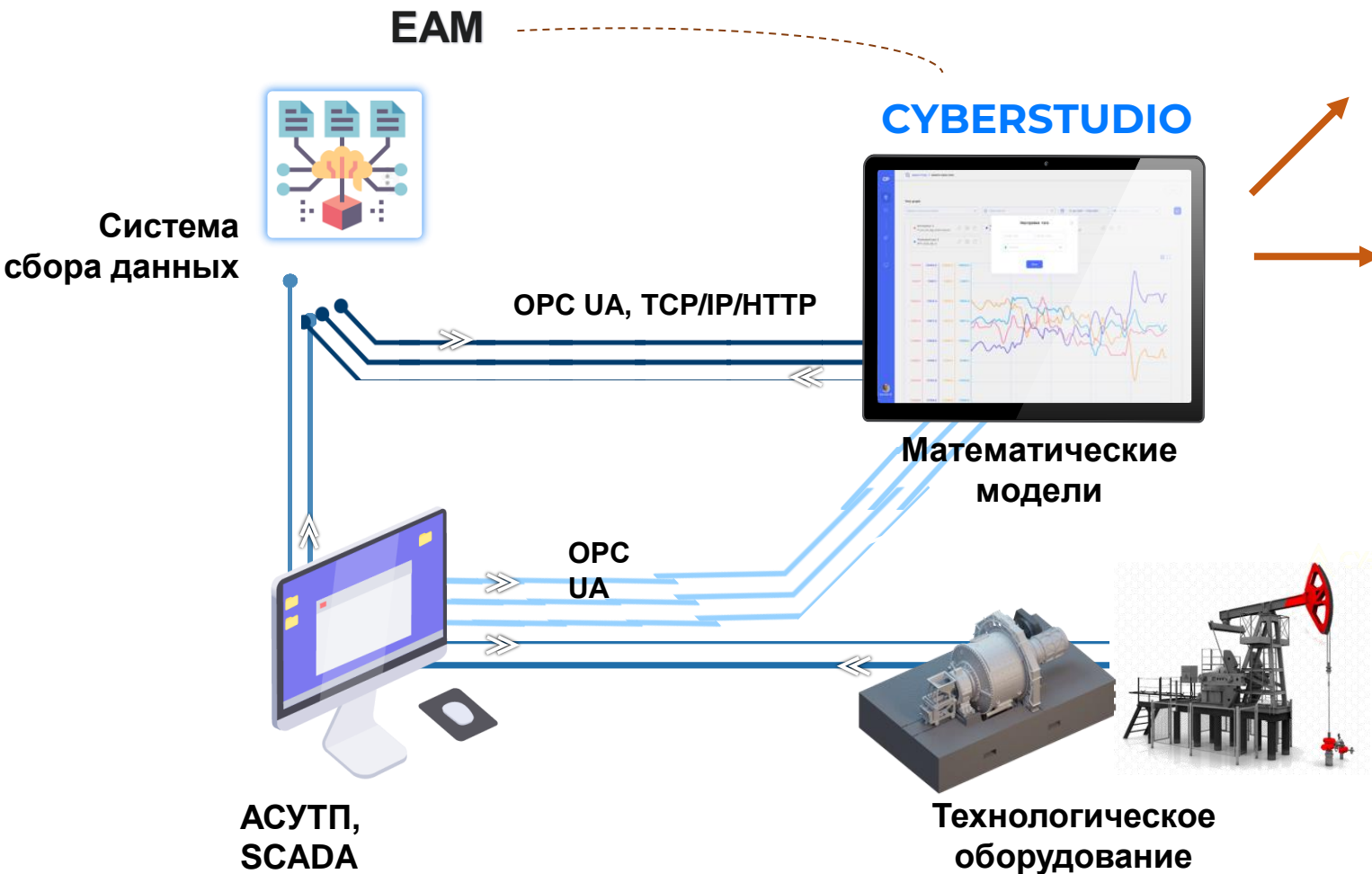
Проведены пуско-наладочные работы и ОПИ

5

На постоянной основе



# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ CYBERSTUDIO



  
**Инженеры по эксплуатации,  
Инженеры по диагностике**

Получение рекомендаций для  
предотвращения  
неисправностей



**Технологический  
персонал**

Получение рекомендаций  
по оптимизации

1

**Определение разладок  
с нормальным режимом**

2

**Прогнозирование  
индекса технического  
состояния оборудования**

3

**Оптимизация режимов  
работы оборудования**



# КОМАНДА



## Сергей Николаев

Генеральный директор

к.т.н., эксперт в области промышленного ИИ



## Сергей Белов

Технический директор

Эксперт в области прикладного искусственного интеллекта и физического моделирования



## Михаил Гусев

Директор по развитию

к.т.н. в прикладной механике  
Эксперт по оптимизации производства



## Игорь Ужинский

Научный руководитель

к.ф.м.н., 25-летний опыт работы в ведущей аэрокосмической компании США



## Фабио Каччатори

Стратегическое развитие

Серийный предприниматель, 20 лет в ИТ-бизнесе ЕС:  
**Компания Intellegent Ideas**

19



Команда разработчиков

20



Команда инженеров

5



Продажи и маркетинг

4



Операционный департамент



# ПРИМЕРЫ ПРОЕКТОВ





## Примеры реализованных кейсов

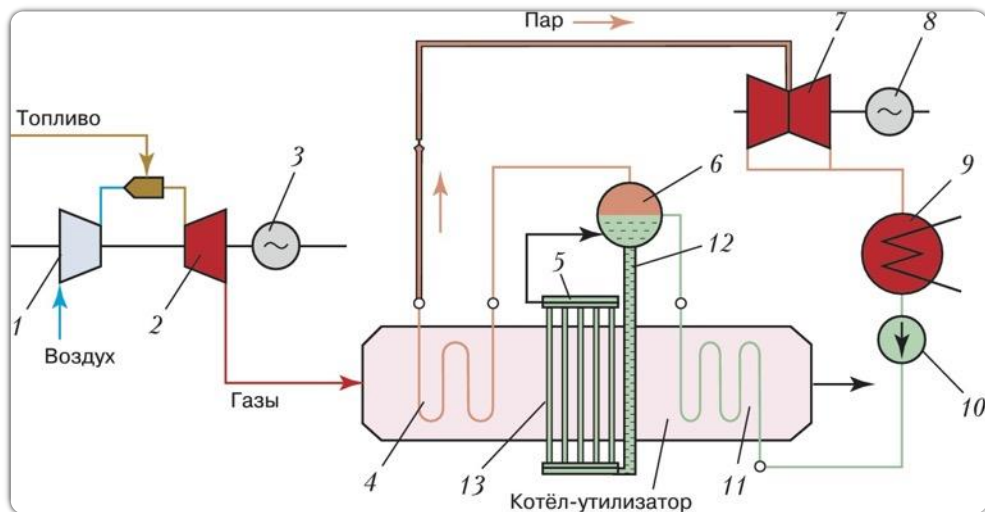
Предиктивная диагностика энергогенерирующего оборудования ТЭЦ

# Объект

ТЭЦ с блоком ПГУ мощностью — 230 МВт

## Задача

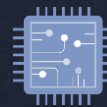
⚠ Раннее диагностирование дефектов оборудования ТЭЦ



## Результат

🔍 Внедрение ПО для предиктивной диагностики на 10 ТЭЦ

# Решение



## Создание классификатора дефектов для оборудования ТЭЦ с блоком ПГУ:

- Газовая турбина с генератором и вспомогательным оборудованием;
- Дожимная компрессорная станция из двух трехступенчатых осерадиальных компрессоров;
- Двухконтурный котёл-утилизатор с вспомогательным оборудованием;
- Паротурбинная установка с вспомогательным оборудованием и генератором.



## Ожидаемый экономический результат:

Предупреждение вынужденных и аварийных остановов



## Срок реализации:

6 месяцев



# ОБЩАЯ СХЕМА МОДЕЛЕЙ ТЭЦ

SR
МОНИТОРИНГ

ВППГ...акция	Датчик	Модель
Давл...Pa(a)	-	-
Давл...Pa(a)	-	-
Давл...Pa(a)	-	-
Давл...Pa(a)	-	-
Давл...Pa(a)	-	-

ГДК А...тем.	Датчик	Модель
Темп...2, C	12.39	-
Темп...м, C	-9.524	-
Темп...ст, C	12.83	-
Давл...Pa(a)	1221	-
Расхо...kg/h	25200	-
Оборо...м, %	79.87	-
Оборо...м, %	28.07	-
Темп...м, C	11.74	12.13
Давл...Pa(a)	1182	1150

ГДК А...тем.	Датчик	Модель
Оборо...м, %	79.87	-
Давл...2, C	2959	-
Темп...м, C	-9.524	-
Оборо...м, %	28.07	-
Расхо...kg/h	25070	-
Темп...ст, C	95.35	-
Давл...Pa(a)	2959	-
Темп...м, C	51.28	50.88
Давл...Pa(a)	2894	2884

ГДК А...тем.	Датчик	Модель
Темп...м, C	-	-
Давл...Pa(a)	-	-
Давл...Pa(a)	-	-

ГДК А...тем.	Датчик	Модель
Темп...м, C	-	-
Расхо...kg/h	-	-
Давл...Pa(a)	-	-
Давл...Pa(a)	-	-

ГТУ...я вид	Датчик	Модель
Полож...deg	-	-
Расхо...kg/h	-	-
Давл...bar	-	-
Темп...deg C	-	-
Давл...bar	-	-
Темп...deg C	-	-

ГТУ...я вид	Датчик	Модель
Полож...deg	-	-
Вращ...м, %	-	-
Темп...deg C	-	-
Давл...rbar	-	-
Давл...bar	-	-
Темп...deg C	-	-

КУ...т.п.к.	Датчик	Модель
Темп...C	-	-
Кор...X, %	-	-

КУ...т.п.к.	Датчик	Модель
ПОЛСК...deg	-	-
РДВ...kg/h	-	-
dT на...3, C	-	-
dT на...3, C	-	-
dT на...2, C	-	-

Датчик	Модель
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-

КУ...т.п.к.	Датчик	Модель
Темп...У, °C	-	-

КУ...т.п.к.	Датчик	Модель
Ок...в, °C	-	-
Т...в, °C	-	-

**Общая сводка** Фильтр

**⚠ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ** 15.11.2022, 15:41:09

ГДК-2  
Расход втор уплот газа 1 ст выше нормы

---

**⚠ НЕИСПРАВНОСТЬ** 15.11.2022, 15:40:43

ГДК-2  
Расход втор уплот газа 1 ст выше нормы

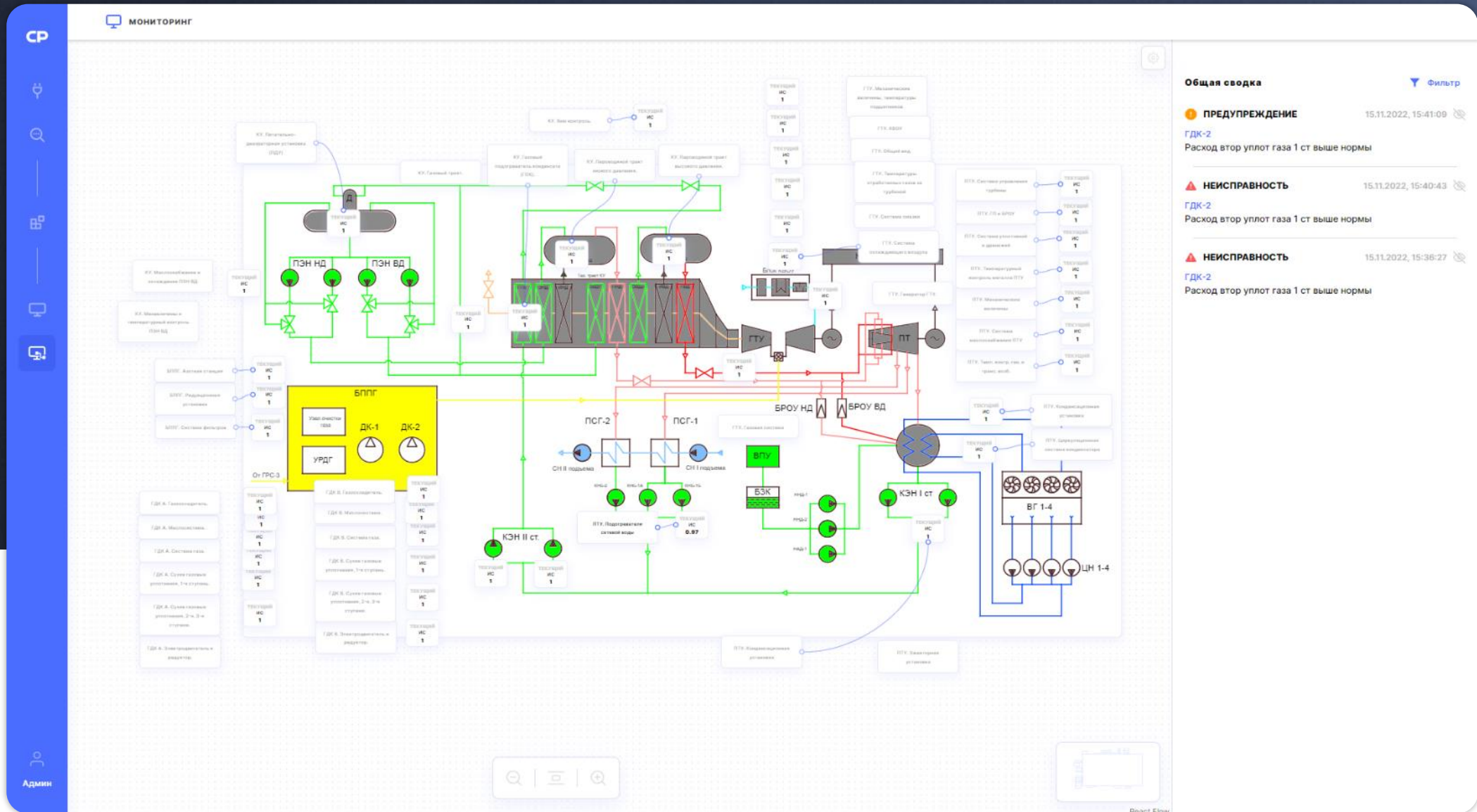
---

**⚠ НЕИСПРАВНОСТЬ** 15.11.2022, 15:36:27

ГДК-2  
Расход втор уплот газа 1 ст выше нормы



# МНЕМОСХЕМА МОДЕЛЕЙ ТЭЦ







# Примеры реализованных кейсов

Оптимизация работы химического оборудования



# Проблемы

**Уменьшение выработки продуктов (метиленхлорида и хлороформа):**  
объемы выработки не достигают целевого значения в N тонн.

**Пониженное содержание дихлорметана в смеси**

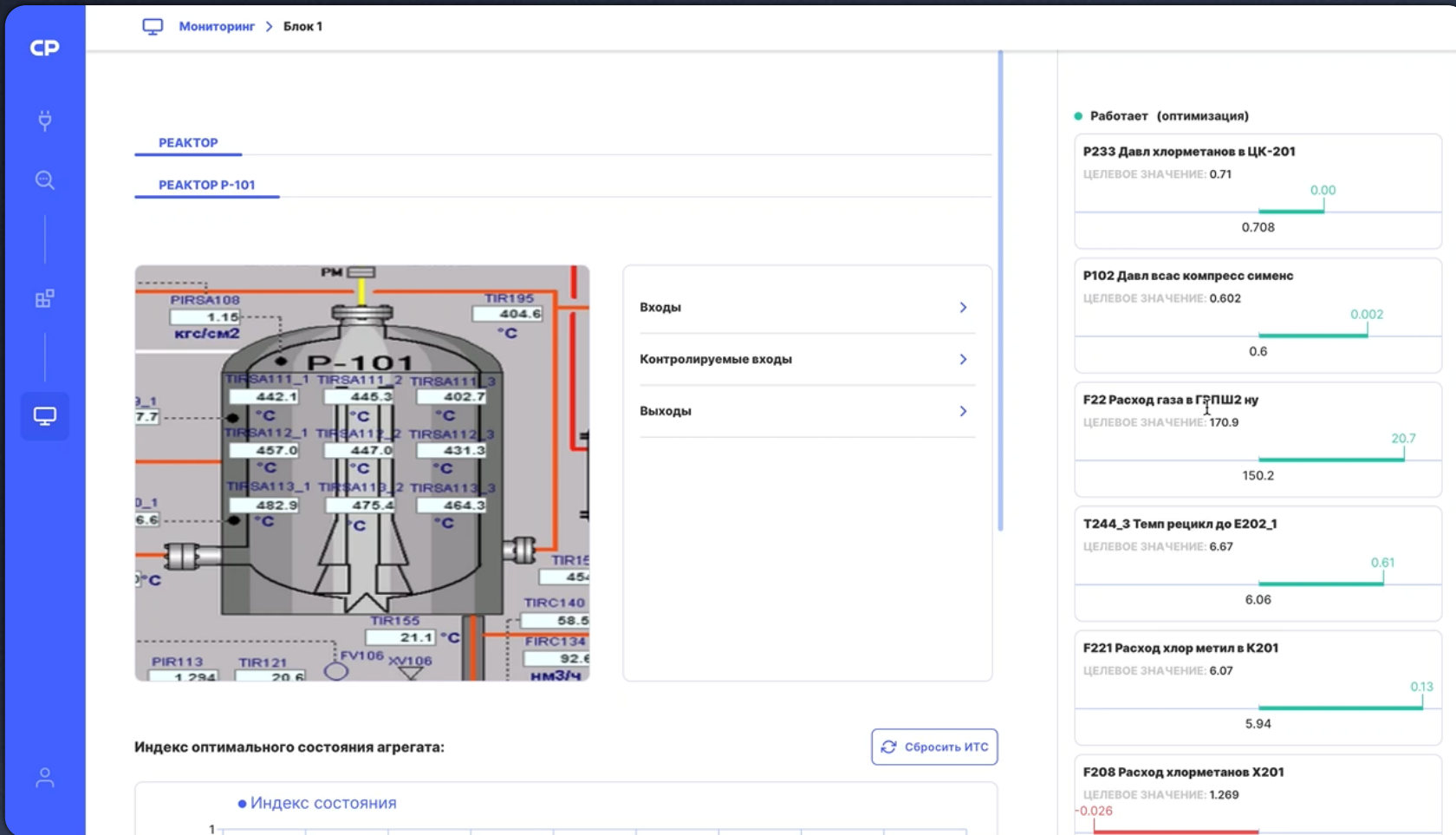
# Решение

Разработка и обучение математической модели на основе выбранных входов выходов

**Ожидаемые эффекты:**

- 1** **Повышение производительности**
- 2** **Повышение качества продукции**

# КОНФИГУРАЦИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ



## Входы

Расход газа

Давление нагнетания

Давление всасывающего компрессора

Давление хлорметанов

## Выходы

Температура газа после смеси

Давление метана

Температура хлорметанов

## Управляющие входы



Давление



Расход

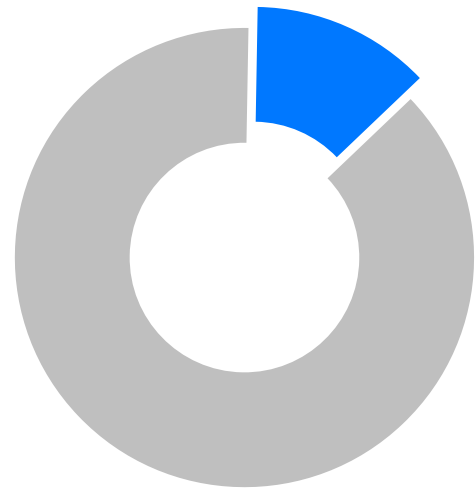


Температура

# РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

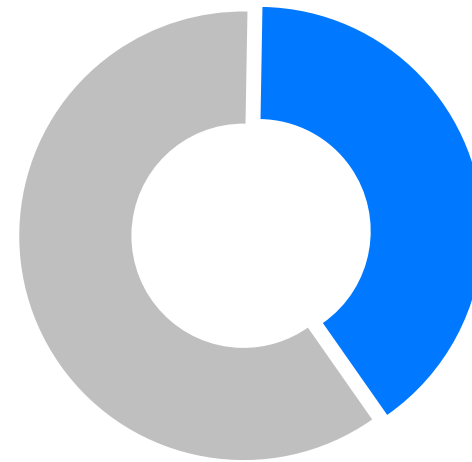
До оптимизации



**13%**

*Достигается  
выработка > N т*

После оптимизации



**40%**

*Достигается  
выработка > N т*

 Выработка > N тон

 Выработка меньше оптимальных значений





## Примеры реализованных кейсов

Диагностика технического состояния валкового пресса



# Проблемы

1

**Аварийные остановки и простои прессы**  
Ведущие к повышенным издержкам

2

**Повышенные расходы на обслуживание**  
Из-за отсутствия рекомендаций  
по устранению и профилактике дефектов

3

**Низкая прозрачность технического состояния  
и сложность прогнозирования запасов прессы**  
У большого количества единиц оборудования

# ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ

За 2 недели до остановки

ОПОВЕЩЕНИЯ СИСТЕМЫ:  
ухудшение параметров соосности валов электродвигателя и редуктора и прогнозируемом снижении тех состояния

За 7 дней до остановки

ОСТАНОВКА ПРЕССА:  
прямые измерения соосности и подтверждение их ухудшения

1

Раннее диагностирование критической неисправности

2

Предотвращение потери готового продукта N тонн



# ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СЛАЙДЫ





# ПРИМЕРЫ ЗАВЕРШЕННЫХ ПРОЕКТОВ



## Основные проблемы

Решение  
CyberPhysics

## Результат

01

Аварийные остановки и простои

Построение гибридной модели

Экономия в среднем от 2 млн руб от одного аварийного останова

Ведущие к повышенным издержкам

На основе анализа вибраций и предиктивных моделей

Не включая стоимость ремонта оборудования

02

Повышенные расходы на обслуживание

Прескриптивный подход

Предотвращен останов и недополучение 2000 тонн продукции – 45 млн рублей

Из-за отсутствия рекомендаций по устранению и профилактике дефектов

Прогноз дефектов, выявление причин и рекомендации по устранению в рамках

03

Низкая прозрачность технического состояния

Real-time прогноз индекса технического состояния

На 80% меньше аварий

Большого количества единиц оборудования

С десятков до единиц аварийных остановов в год



## Основные проблемы

## Решение CyberPhysics

## Результат

01

Аварийные остановки и высокие расходы на обслуживание или ремонт оборудования

До 120 млн руб. в год на 10 агрегатах

Разработка цифровых моделей основных систем

Газовоздушный тракт, масляная система, комплексное воздухоочистительное устройство

Распознавание дефекта для наиболее критичной подсистемы – проточной части – за 400 часов до поломки

Предсказана аварийная остановка 50-60 млн руб.

02

Повышенные затраты

Вызваны невозможностью оперативной локализации узлов и причин дефекта

Классификатор дефектов

Для локализации дефектов в узлах и выдачи рекомендаций

Моделирование работы оборудования с погрешностью менее 2%

Предотвращение аварийных остановок и минимизация потерь на обслуживание

03

Высокое потребление топлива

Неоптимальные режимы работы оборудования

Физико-математическое моделирование

Для отслеживания динамики работы газотурбинных установок в режиме реального времени

До 3% снижение операционных затрат за счет снижения потребления топливного газа

\*Снижение на 4% (250 м3 в час – 100 тыс. руб. в сутки на один цех) – в проработке



## НЕФТЕГАЗОВАЯ ОТРАСЛЬ

Сравнение эффективности винтового забойного двигателя (ВЗД) и вентильного электродвигателя (ВЭД)

### Основные проблемы

### Решение CyberPhysics

### Результат

01

При стандартном бурении Винтовым Забойным Двигателем процесс работы двигателя **слабоконтролируем с поверхности**

Построение **суррогатной модели ВЗД** на основе данных бурения

Преимущество в применении ВЭД в плане его большей энергоэффективности

**В среднем энергопотребление можно снизить на 11%**

02

**Отсутствие обратной связи**, позволяющей подбирать более оптимальные режимы работы двигателя

Построение **имитационной модели ВЭД методом Бонд-Граф**

Возможность увеличения мощности на долоте **на 25% в критическом режиме** или **на 43% в номинальном режиме** при использовании ВЭД

03

**Зависимость работы от раствора и его физико-химических свойств**

Сравнение эффективности процесса бурения **по потребляемой мощности**

Мощность на долоте позволяет пропорционально увеличить скорость проходки



## Основные проблемы

## Решение CyberPhysics

## Результат

01

Пониженная  
производительность  
оборудования на  
производстве  
метиленхлорида

Выбор и добавление новых  
параметров для управления  
выработкой

Повышение производительности  
оборудования

**Выработка >38т в течение 40%  
времени от заданного периода (1 год)  
вместо 13%**

02

Низкая предсказуемость  
количества продукта  
на выходе из реактора

Достигается более  
прецизионное управление  
блоками 1,2, позволяющее  
повысить выработку и  
качество продуктов до  
заявленных значений

Увеличение среднего значения  
Дихлорметана в смеси

Увеличение доли содержания  
**с 50% до 65%**



## Основные результаты

01

Разработаны цифровые модели основных систем

Газовоздушный тракт, масляная система, топливная система, воздушная система, вибродиагностическая модель (как самописный код, так и модели разработанные в ином ПО, например, Amesim)

02

Апробированы методики и алгоритмы конфигурации, уточнения ФМ моделей и создание суррогатных моделей на их основе

Модель может быть сконфигурирована (например, газовоздушный тракт ГТД может быть собран из разных моделей узлов (КНД, КВД, ТНД и т.д.), уточнена под характеристики конкретного реального двигателя, а затем свёрнута для работы в режиме реального времени

03

Апробированы алгоритмы генерации и классификация дефектов

Классификатор дефектов, который определяет их появление в процессе мониторинга и прогнозирования может обучаться как на эксплуатационных данных, так и на данных, сгенерированных на ФМ модели (отклоняются значения основных параметров)

## Будущие работы

Интеграция ПО МПТС на стенде

Разработка счётчика ресурса узлов

Повышение точности работы моделей благодаря расширению базы эксплуатационных и расчётных данных



## Основные проблемы

## Решение CyberPhysics

## Результат

01

Перерасход ресурсов  
Для производства  
пластиковых деталей

Создание цифровой модели  
процесса литья пластика под  
давлением

Потенциал масштабирования €500 тыс.

02

Сниженная скорость и  
малая эффективность  
протекания технических  
процессов

Использование технологии  
глубокого обучения

Более, чем на 200 деталях

Предсказание оптимального режима  
за 2 секунды вместо 20 дней

03

Замедленные процессы  
подбора и прогноза  
оптимального режима литья

Комбинация знаний физики  
процесса растекания  
пластика  
и экспертные знания  
Заказчика

Оптимизация расстановки  
инжекторов и рекомендация по  
изменению режимов



## МЕТАЛЛУРГИЯ

Предиктивный анализ внеплановых простоев и оптимизация технологического процесса трубопрокатного агрегата

### Основные проблемы

### Решение CyberPhysics

### Результат

01

#### Аварийные остановки

Отсутствие ассистентов для снижения простоев прокатного стана

Разработка **диагностических моделей** работы оборудования для снижения простоев прокатного стана

**Снижение внеплановых простоев работы оборудования на 10-20%**

Распознавание 54% всех внеплановых простоев

02

#### Дефекты производства

Высокая доля дефектов в производимой продукции

Разработка **оптимизационных моделей** для минимизации доли дефектов в производимой продукции

Снижение доли дефектной продукции **на 1-5%**

03

#### Неоптимальные режимы работы оборудования

Низкая производительность трубопрокатного стана

Выработка рекомендации на управляющие параметры

Повышение производительности стана **на 0.5-2%**





## МЕТАЛЛУРГИЯ

Оптимизация процесса перемешивания стали  
в вакууматоре (4.3 млн тонн стали в год)

### Основные проблемы

### Решение CyberPhysics

### Результат

01

Повышенный износ футеровки

Детализованная модель гидродинамики перемешивания и интенсивности износа футеровки

Снижение износа футеровки до 10%

Средняя экономия 90 млн руб/год

02

Повышенное время перемешивания стали

Создание подробной динамической модели производственных процессов

Увеличение скорости перемешивания стали с ферросплавами в 2 раза

03

Низкая производительность

Оптимальные параметры на основе сочетания цифровых моделей и реальных эксплуатационных данных

Повышение производительности на 0.5%

Увеличение выпуска продукции на 40-50 млн руб на 1 вакууматоре в год



## Основные проблемы

## Решение CyberPhysics

## Результат

01

Неоптимальный выбор  
сочетания шлака и футеровки

Использование уникальной  
методики физических  
испытаний в сочетании  
с цифровым моделированием

Увеличение стойкости футеровки  
за счет оптимально подобранного  
шлака на не менее чем 5 %

До 90 млн руб в год

02

Длинный цикл пуско-наладки  
процесса выплавки стали

Из-за испытаний различных  
типов футеровки (до 1 месяца)

Платформенное решение в  
виде математической модели,  
рекомендующей  
оптимальный шлак для  
данного типа футеровки

Прогноз ресурса огнеупорной  
продукции различных поставщиков  
на модельных/реальных шлаках

03

Проблема подбора/выбора  
поставщиков

Шлак и футеровка, их  
комбинация на предмет  
эффективности

Уникальное оборудование  
собственной разработки для  
отработки и уточнения  
модели износа футеровки

Рекомендации к химическому  
составу шлака для повышения  
стойкости огнеупоров при  
сохранении технологических  
свойств шлака

