



Современное состояние систем управления турбомашинами

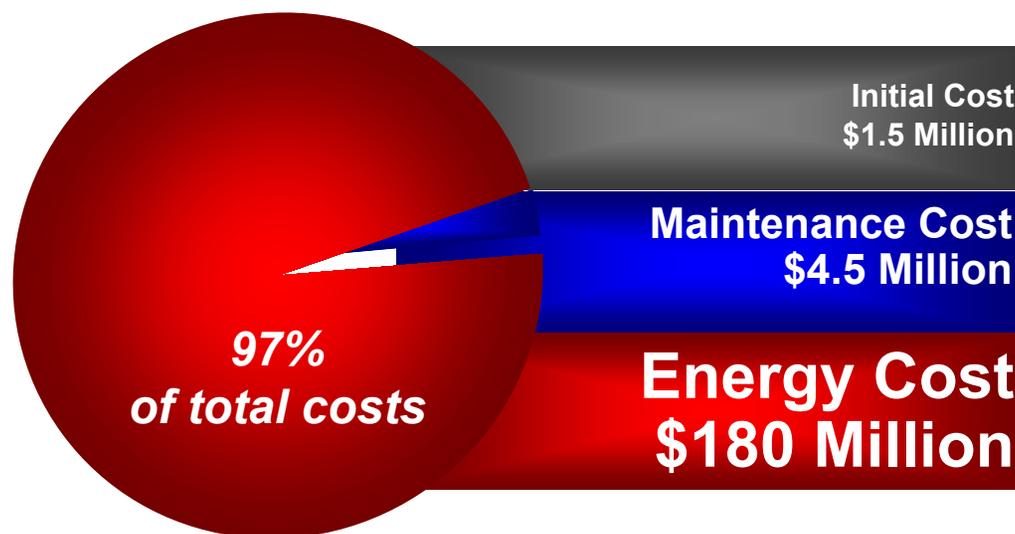


- **Экономический эффект, получаемый от системы управления турбомашинами с большими возможностями**
- **Задачи управления турбомашинами**
- **Общее представление о современном состоянии системы управления турбомашинами**
- **Проблемы применения системы управления в Бразилии**



Затраты в течение срока службы турбомашин

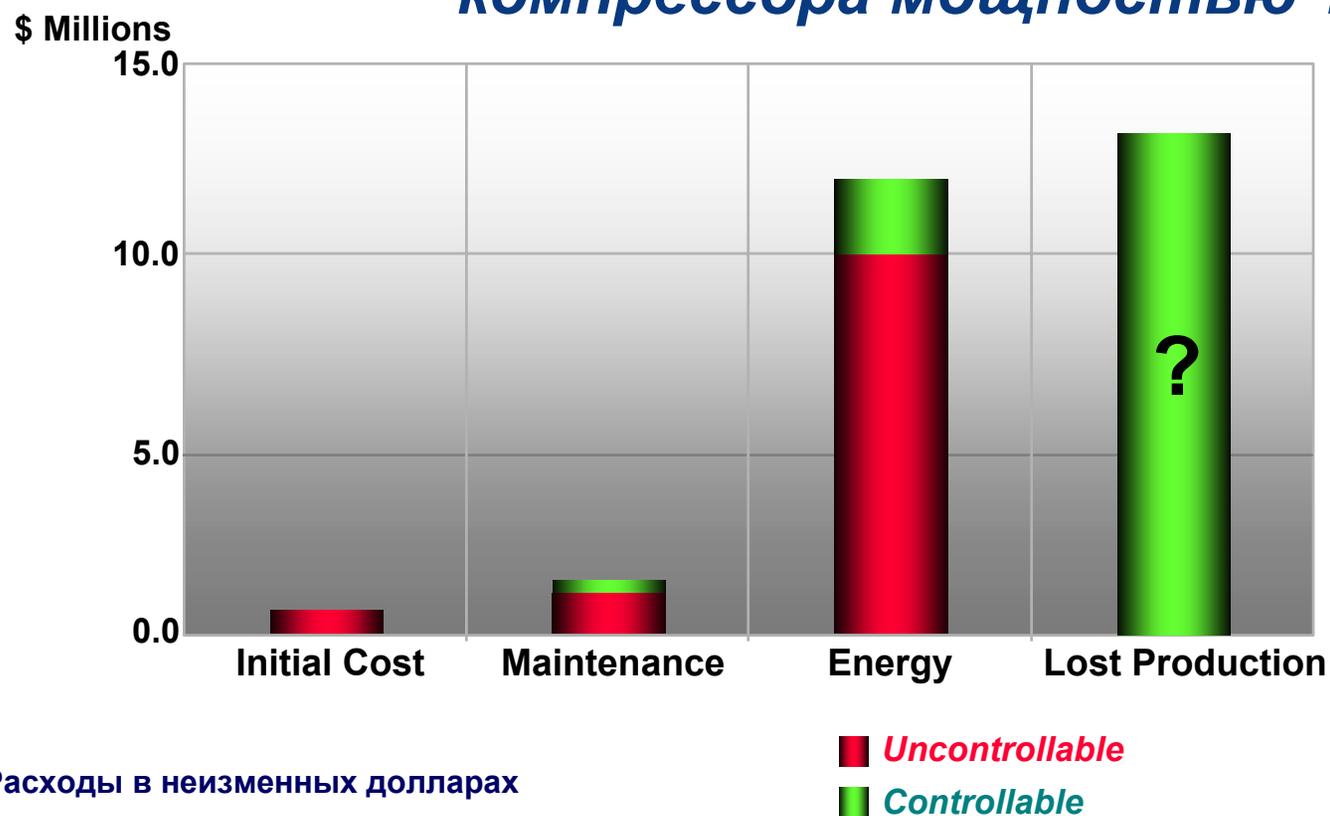
Затраты за 30-летний период работы компрессора мощностью 20 000 лс



Расходы в долларах базового периода

Источник: "Опыт управления и анализа работы компрессора"
Ben Duggan & Steve Locke , E.I. du Pont, Old Hickory, Tennessee
24-ый Симпозиум по Турбомашинам

Затраты за 30-летний период работы компрессора мощностью 1 000 лс



Расходы в неизменных долларах

Источник: "Опыт управления и анализа работы компрессора"
Ben Duggan & Steve Locke, E.I. du Pont, Old Hickory, Tennessee
24-ый Симпозиум по Турбомашинам



Потери на страхование в химической, нефтяной и газовой промышленности

- **36% убытков обусловлены повреждением турбооборудования.**
- **Ошибка оператора приводит к серьезным повреждениям в 20% случаях**
- **Ошибка оператора приводит к серьезным авариям на производстве в 90% случаях**
- **Ошибка оператора может быть предупреждена при использовании систем регулирования с большими возможностями**

**Источник: Rotating Equipment Loss Prevention-An Insurer's Viewpoint
Edward E. Clark, The Hartford Steam Boiler Inspection and
Insurance Company, 25-ый симпозиум по турбомашинам**



Повреждение паровой турбины в результате превышения частоты вращения

- Одно из наиболее серьезных нарушений процесса наблюдается в химической, нефтяной и газовой промышленности
- Обломки турбины могут пробить контейнеры и трубную обвязку, что приведет к сильному пожару и/или взрыву, а также к травматизму или смерти обслуживающего персонала
- Потеря от \$ 300,000 до более \$1 млн в день на большой установке каталитического крекинга или на крупной этиленовой установке
- На замену большой промышленной приводной паровой турбины может потребоваться от 6 до 15 месяцев

Источник: Rotating Equipment Loss Prevention-An Insurer's Viewpoint
Edward E. Clark, The Hartford Steam Boiler Inspection and Insurance Company, 25-ый симпозиум по турбомашинам



Вопросы регулирования и защиты от превышения частоты вращения

- **Частота отказов регулятора и несрабатывания системы защиты от превышения частоты вращения очень высокая**
- **«Наибольшее предпочтение отдается электронным регуляторам и электронным системам защиты от превышения частоты вращения»**
- **«Когда механические системы защиты от превышения частоты вращения следует заменить электронными системами или дополнительно ввести эти системы»**

**Источник: Rotating Equipment Loss Prevention-An Insurer's Viewpoint
Edward E. Clark, The Hartford Steam Boiler Inspection and
Insurance Company, 25-ый симпозиум по турбомашинам**



Проблемы, связанные с работой компрессора

- **В большинстве случаев оператор может вручную предотвратить помпаж компрессора.**
- **На замену большого турбокомпрессора может потребоваться от 6 до 15 месяцев.**
- **Осевые компрессоры более уязвимы к повреждениям в результате помпажа, чем центробежные компрессоры.**
- **Паровые турбины, используемые для приведения компрессоров, также могут претерпевать повреждения в результате помпажа.**

**Источник: Rotating Equipment Loss Prevention-An Insurer's Viewpoint
Edward E. Clark, The Hartford Steam Boiler Inspection and
Insurance Company, 25-ый симпозиум по турбомашинам**



Защита от помпажа на установке каталитического крекинга с утилизацией тепла

«Для одного конкретного применения требуется наиболее продуктивная система защиты от помпажа, независимо от типа используемого компрессора, например основного воздушного компрессора на нефтеперерабатывающей установке FCC. Такой компрессор должен быть оснащен надежной системой защиты от помпажа с резервированием, поскольку последствия помпажа могут быть чрезвычайно серьезными».

**Источник: Rotating Equipment Loss Prevention-An Insurer's Viewpoint
Edward E. Clark, The Hartford Steam Boiler Inspection and
Insurance Company, 25-ый симпозиум по турбомашинам**



Ключ к решению проблем в большинстве случаев - системы регулирования

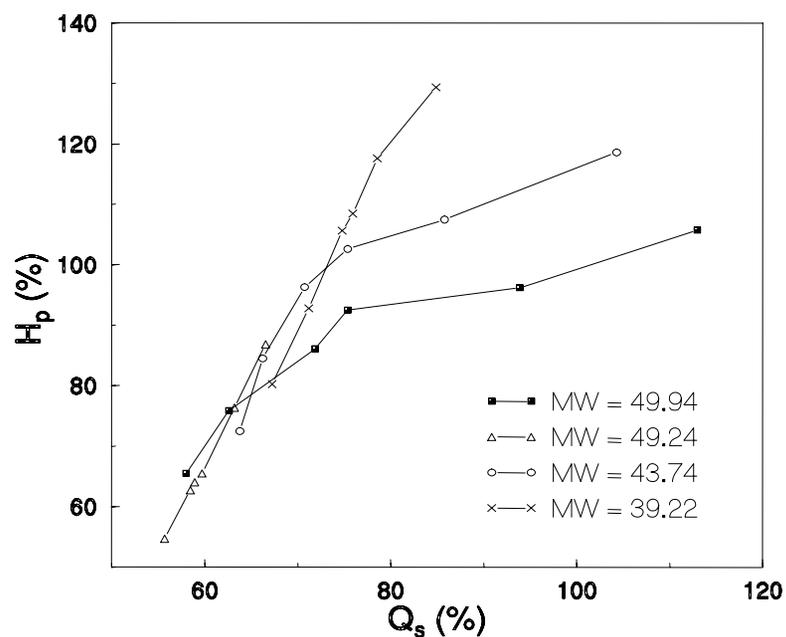
- **Системы управления турбомашинами с большими возможностями**
 - предотвращают превышение частоты вращения турбины
 - предотвращают помпаж компрессора
 - предотвращают повреждение машин
 - предотвращают простой в работе
 - значительно уменьшают нарушения процесса
 - повышают кпд
- **Большой экономический эффект применения систем регулирования**



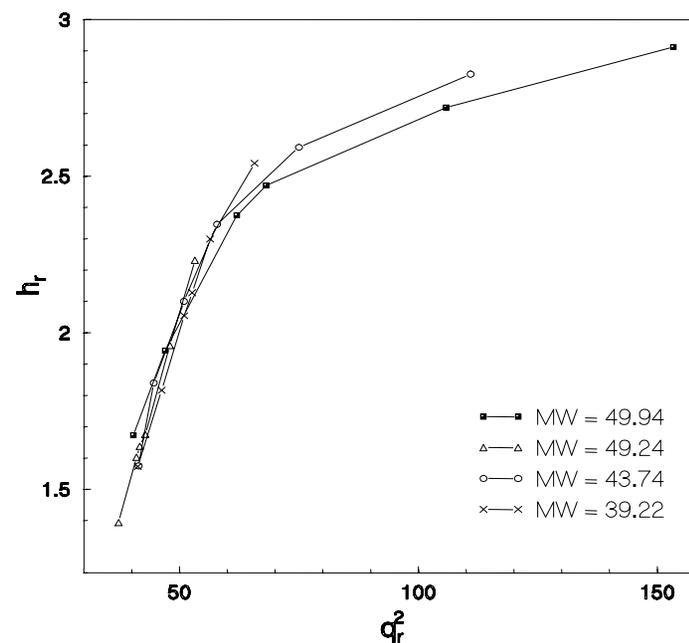
Основные задачи и возможности управления турбомашинами

- **Определение границы помпажа**
- **Высокая скорость приближения к помпажу**
- **Взаимодействие контуров регулирования**
- **Распределение нагрузки между компрессорами**
- **Дополнительные трудности в использовании системы регулирования у операторов Бразилии**
 - **комплексные системы компрессоров**
 - **максимальное уменьшение выпуска газа на наземных станциях и на платформе**

НЕ инвариантные координаты (H_p , Q_s)



Инвариантные координаты (h_r , Q_r^2)



где:

H_p = политропный напор
 Q_s = объемный расход на всасывании
 h_r = приведенный показатель политропы
 Q_r^2 = квадрат приведенного расхода

Выберите правильные координаты для противопомпажной системы регулирования

- **Если помпажные испытания проводятся**
 - не на объекте
 - без использования реальных сенсоров и датчиков
 - без использования технологического газа
- **Вы не сможете определить границу помпажа**
- **Помпажные испытания имеют большое значение**
- **Помпажные испытания можно осуществить без риска неустранения помпажа**



Как справиться с высокой скоростью приближения к помпажу

- **Максимально увеличить скорость реакции на управляющее воздействие**
 - Датчиков
 - Клапанов
 - Регуляторов
- **Максимально уменьшить объем системы трубной обвязки**
- **Использовать специализированную реакцию на управляющее воздействие**
 - Автоматическое управление по разомкнутому контуру (Recycle Trip)
 - Развязка контуров регулирования
 - Динамическая линия настройки антипомпажного регулятора
 - Адаптируемый коэффициент усиления



Взаимодействие между контурами регулирования

- **Управление турбомеханизмами является «отдельной операцией»**
- **Каждый контур регулирования взаимодействует со всеми другими связанными с ним контурами регулирования**
- **Эти взаимодействия должны быть «компенсированы» для достижения**
 - эффективной защиты машин
 - эффективной защиты технологического процесса
 - эффективного использования энергии
- **Непродуктивное решение, к которому часто приходят**
 - регулирование производительности в распределенной системе регулирования
 - использование регулятора скорости, полученного от поставщика комплексного оборудования
 - применение специализированного противопомпажного регулирования



Задачи и возможности управления паровой турбиной

- **Превышение частоты вращения представляет опасность**
 - можно предотвратить с помощью системы регулирования
 - обнаружение и защита в отдельной системе
- **Превосходство электронной системы регулирования при гидро-механическом регулировании**
 - более точное и воспроизводимое
 - может быть объединено с другими регуляторами
 - улучшенный интерфейс оператора
 - резервированное регулирование и защита по схеме голосования 2 из 3
- **API 670 обеспечивает соответствующее управление**

- Совместимый с API 670
- Цифровые тахометры для каждого модуля частоты вращения
- Статус аварийно-предупредительных сигналов и архива
- оперативное тестирование
 - Корпус IP-65 (NEMA4)
 - Сертификат CSA
 - Class 1, Div 2, Groups A, B, C, D
 - Class 1, Zone 2, Exn IIC T4



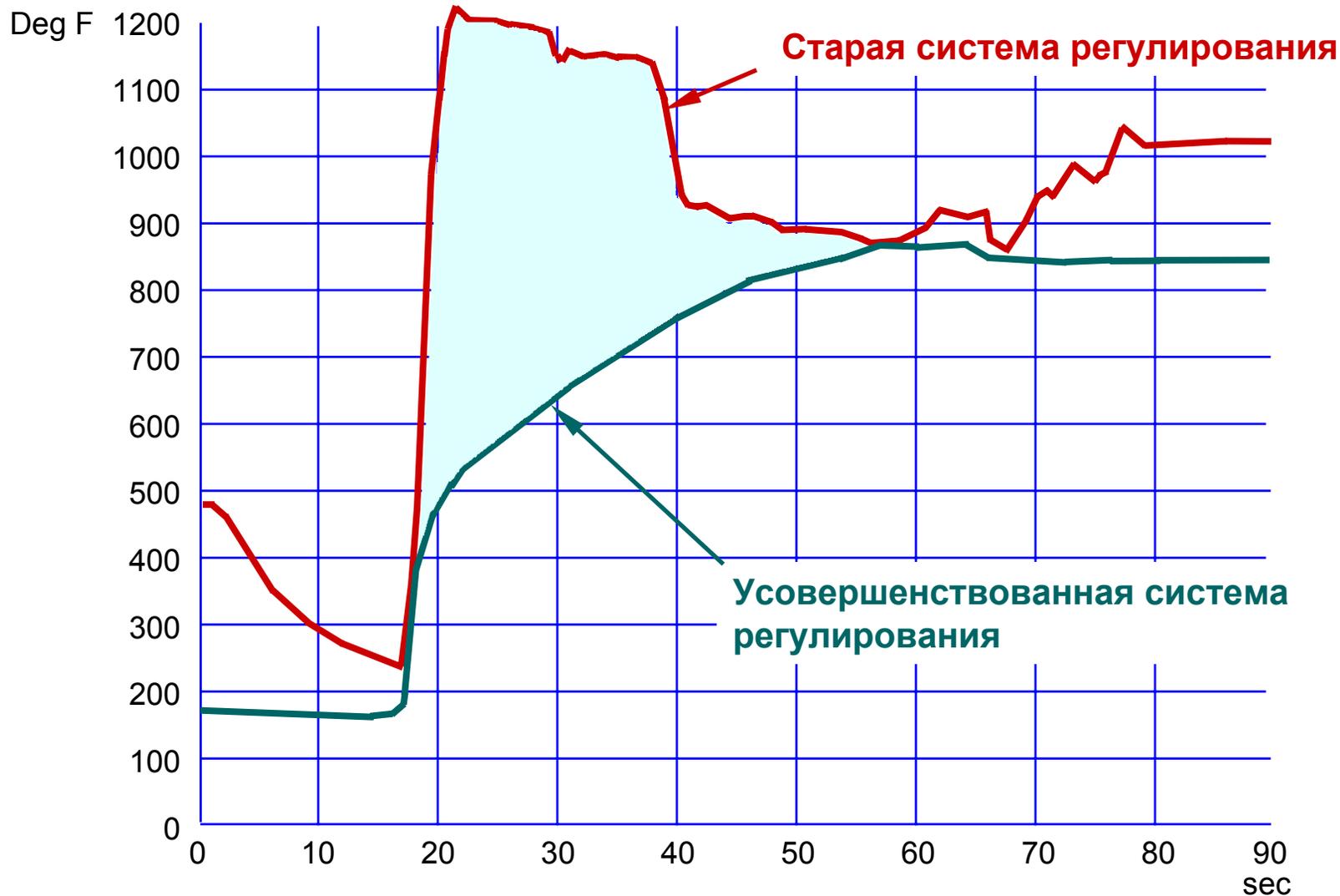


Задачи и возможности управления газовой турбиной

- **Объединение с системами управления приводимого объекта (компрессор, генератор или нагнетатель) для того, чтобы избежать:**
 - **воспламенения - ограничить передвижение топливного клапана во время помпажа компрессора**
 - **защиты от превышения температуры: снижение уставки ограничения температуры выхлопных газов (ТВГ) как функция производной ТВГ**
 - **приводимый компрессор (при помпаже)**
 - **приводимый генератор (при внезапном выключении генератора)**
 - **нарушения процесса**
 - **механические нагрузки на газовую турбину**
- **Более тщательное регулирование в период пуска с целью снижения механических нагрузок и увеличения срока службы высокотемпературных элементов**



Характеристики ТВГ во время горячего пуска до и после внедрения системы ССС



2009 Compressor Controls Corporation

© 2002 Compressor Controls Corporation



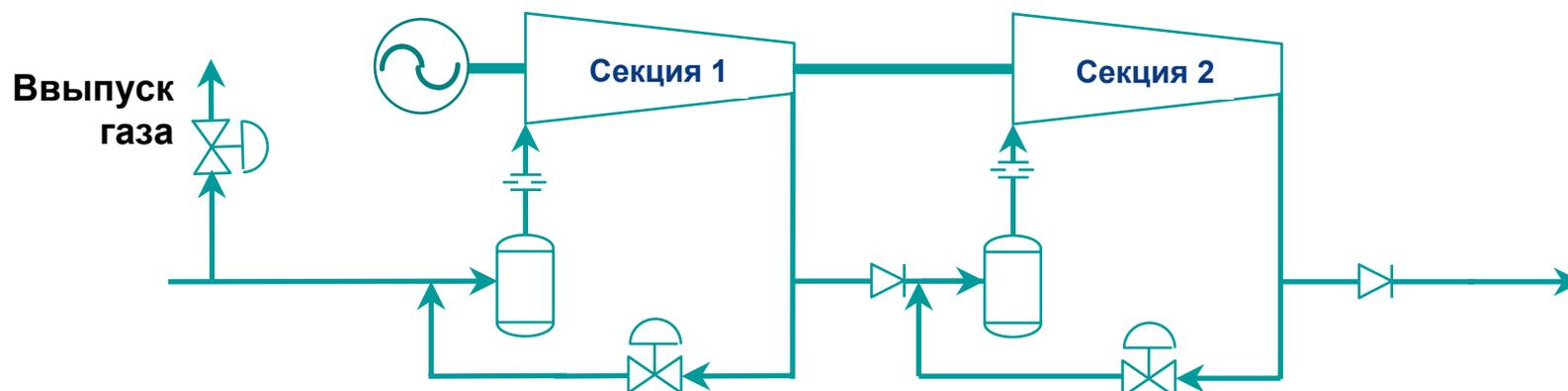
Модернизация систем управления экономически выгодна

- **Срок службы обычных турбомашин составляет более 30 лет**
- **Системы управления технически устаревают через 10 лет работы**
- **Старые системы управления могут быть неремонтопригодны в силу того что:**
 - электронные компоненты непригодны к работе
 - обслуживающий персонал утрачивает навыки и знания
- **Новые системы регулирования предлагают следующее:**
 - лучшие эксплуатационные качества
 - более совершенную защиту машин
 - улучшение работоспособности систем
 - усовершенствованные электронные компоненты
 - резервирование
- **Новые системы регулирования экономически выгодны**



CCC

Максимальное уменьшение выпуска газа



- **Ключевые факторы максимального уменьшения выпуска газа**
 - эффективный противопомпажный алгоритм
 - полностью автоматизированный пуск
 - как можно более быстрое введение компрессора в оперативный режим



Высокоскоростные цифровые системы для управления турбомашинами

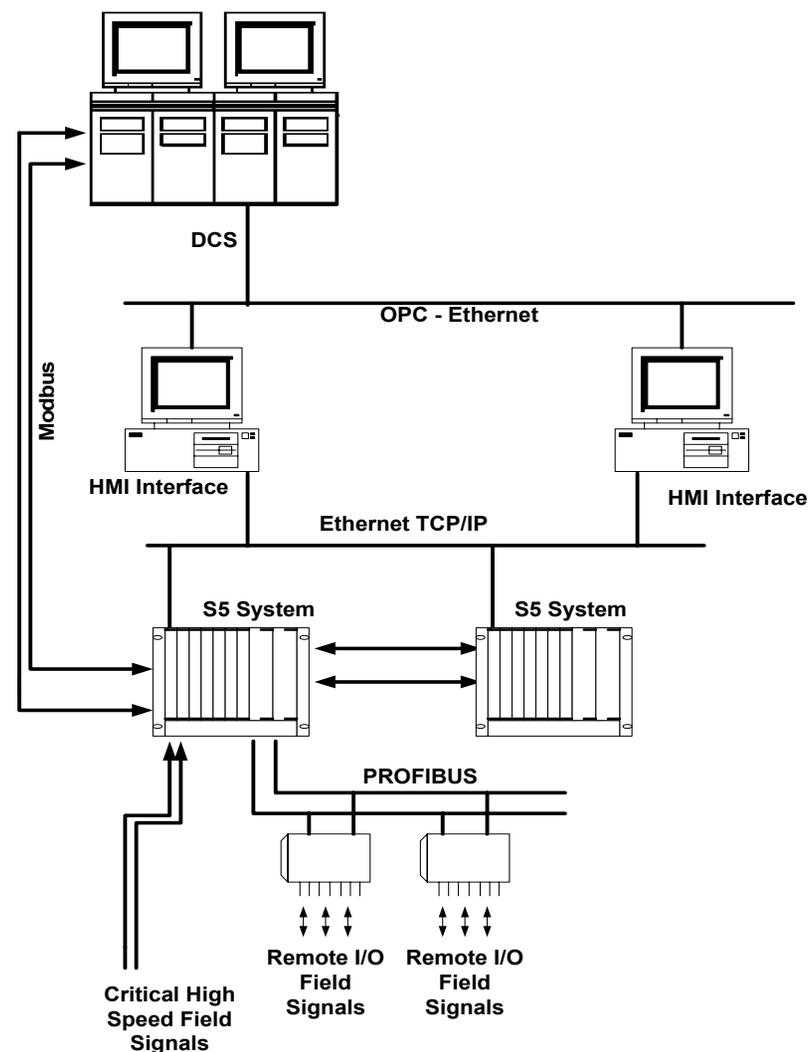
- **Преимущества специализированного оборудования перед универсальной распределительной системой управления или программируемой логической системой управления**
 - **обеспечивает оптимальную работу за счет высокой скорости исполнения**
 - **позволяет реализацию специальных алгоритмов**
 - **обеспечивает необходимый для применения уровень резервирования**



Структура современной системы управления турбомашинами

- **Модульный принцип**
- **Высокая скорость исполнения**
 - выборка входных сигналов, изменяющихся за время порядка менее миллисекунд
 - быстродействие контура регулирования - 10мс
- **Специфический для турбомашин набор высокоскоростных локальных входов/выходов для высокоскоростных сигналов**
- **Полная интеграция между непрерывным регулированием и заданием последовательности**
- **«Открытые» стандарты**
 - структура шины cPCI
 - IEC 61131 программируемая среда
 - связь через Ethernet
 - OPC (OLE для управления технологическим процессом)
 - шина Profibus для дистанционных входов/выходов

- **Высокоскоростные местные входы /выходы**
- **дистанционные входы/выходы на основе шины Profibus**
- **Ethernet OPC через станцию оператора TrainView**
- **Ethernet OI к TrainView**
- **Связь по протоколу Modbus с распределительной системой управления (главным компьютером)**
- **Применение и программирование IEC 6-1131**

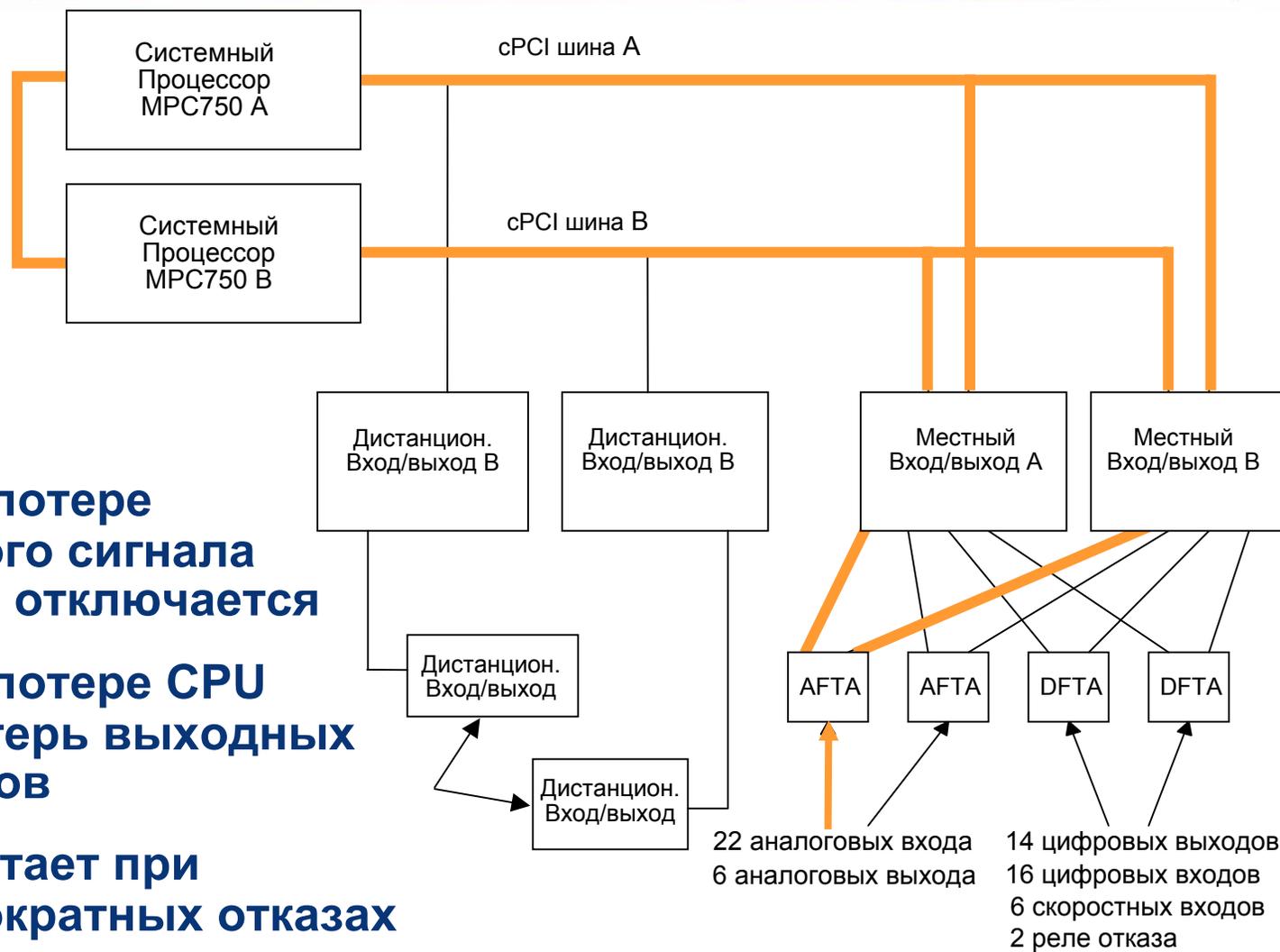




- Процессор
Motorola
PowerPC 750
- 32-битовый
процессор
- 233 МГц

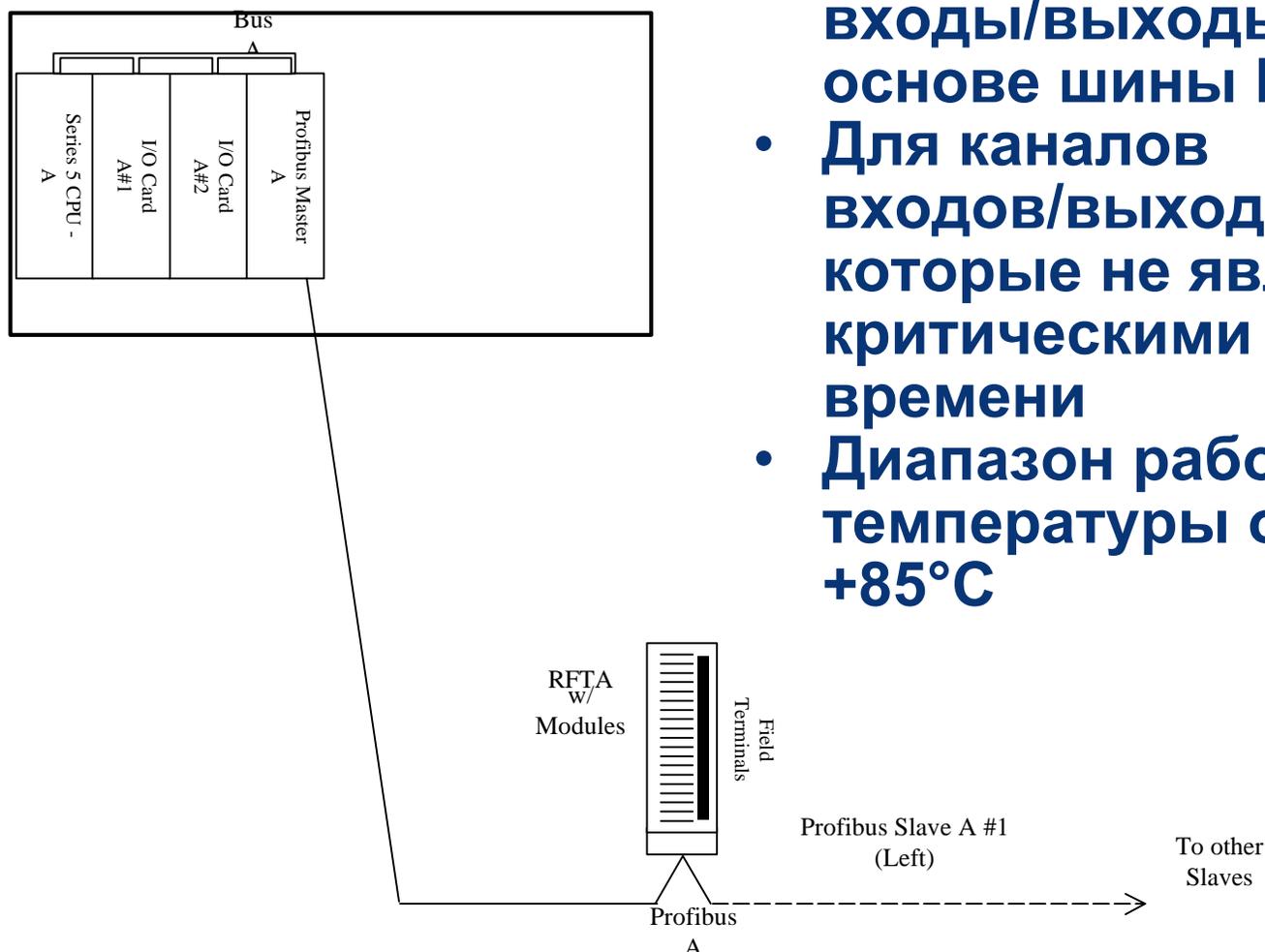
- Процессор
Motorola
PowerPC 555
- 32-битовый
процессор
- 40 МГц





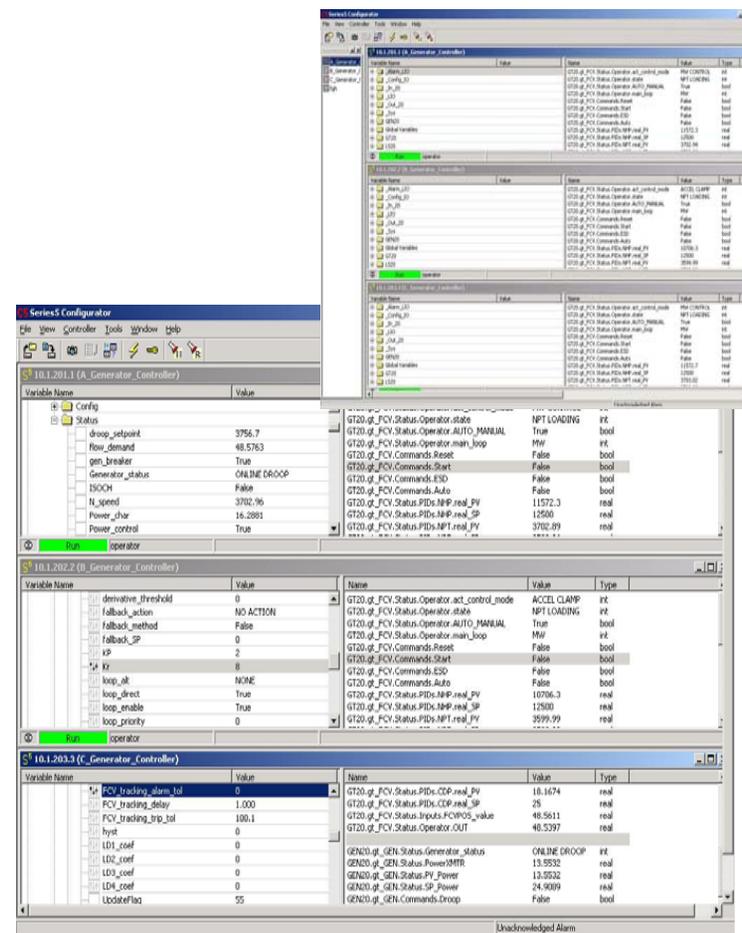
- При потере входного сигнала CPU не отключается
- При потере CPU нет потерь выходных сигналов
- Работает при неоднократных отказах

Series 5 Controller Chassis



- Дистанционные входы/выходы на основе шины Profibus
- Для каналов входов/выходов, которые не являются критическими по времени
- Диапазон рабочей температуры от - 40 до +85°C

- Оперативная настройка
- Создание экранов конфигурации
- Загрузка/разгрузка и калибровочные данные
- Сравнение



Эффективный интерфейс оператора

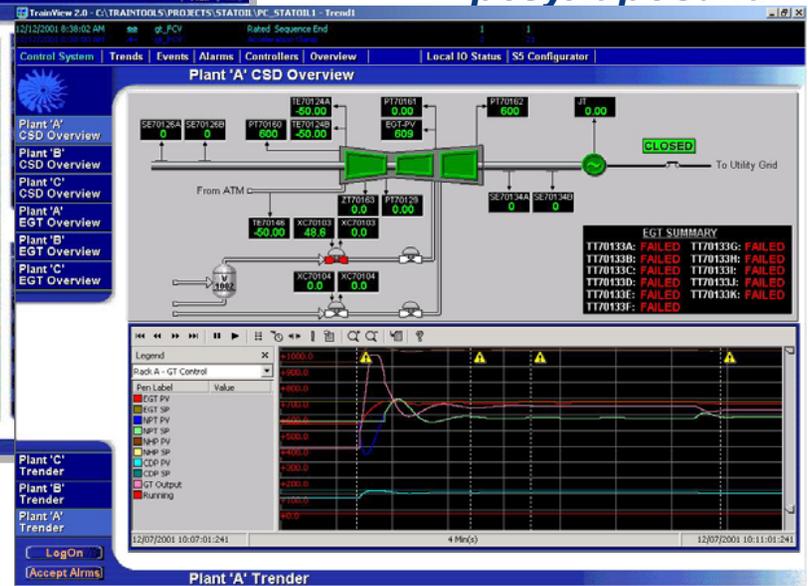
Экран регуляторов



Экран газовой динамической характеристики компрессора



Схема системы регулирования



- Стандартные и специализированные экраны
- Работа в оперативном режиме и регулирование
- Управление аварийно-предупредительными сигналами и сигналами событий

- Структура сервера пользователя
- Архивирование критических событий
- *OnLook™* дистанционная диагностика

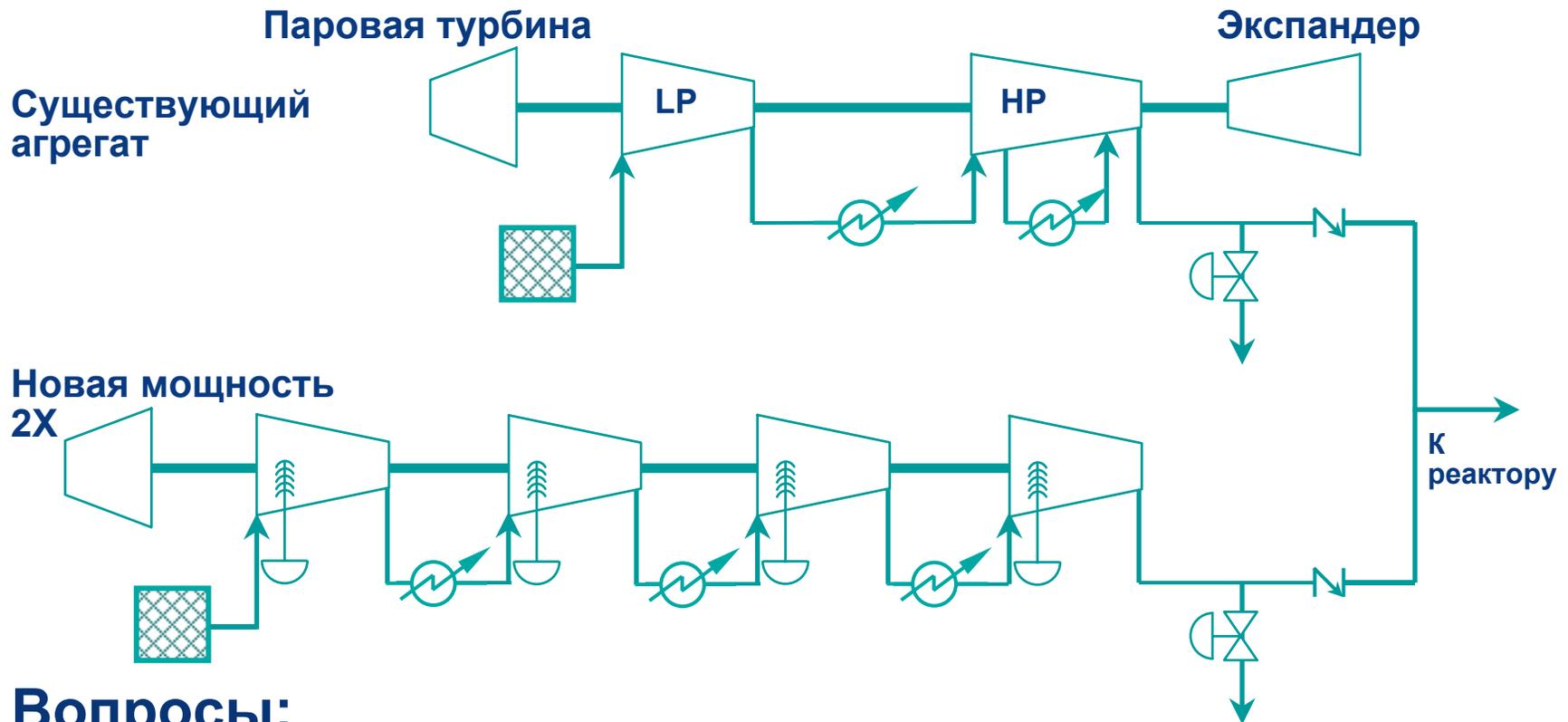


Специализированный цифровой регулятор для универсальных паровых турбин



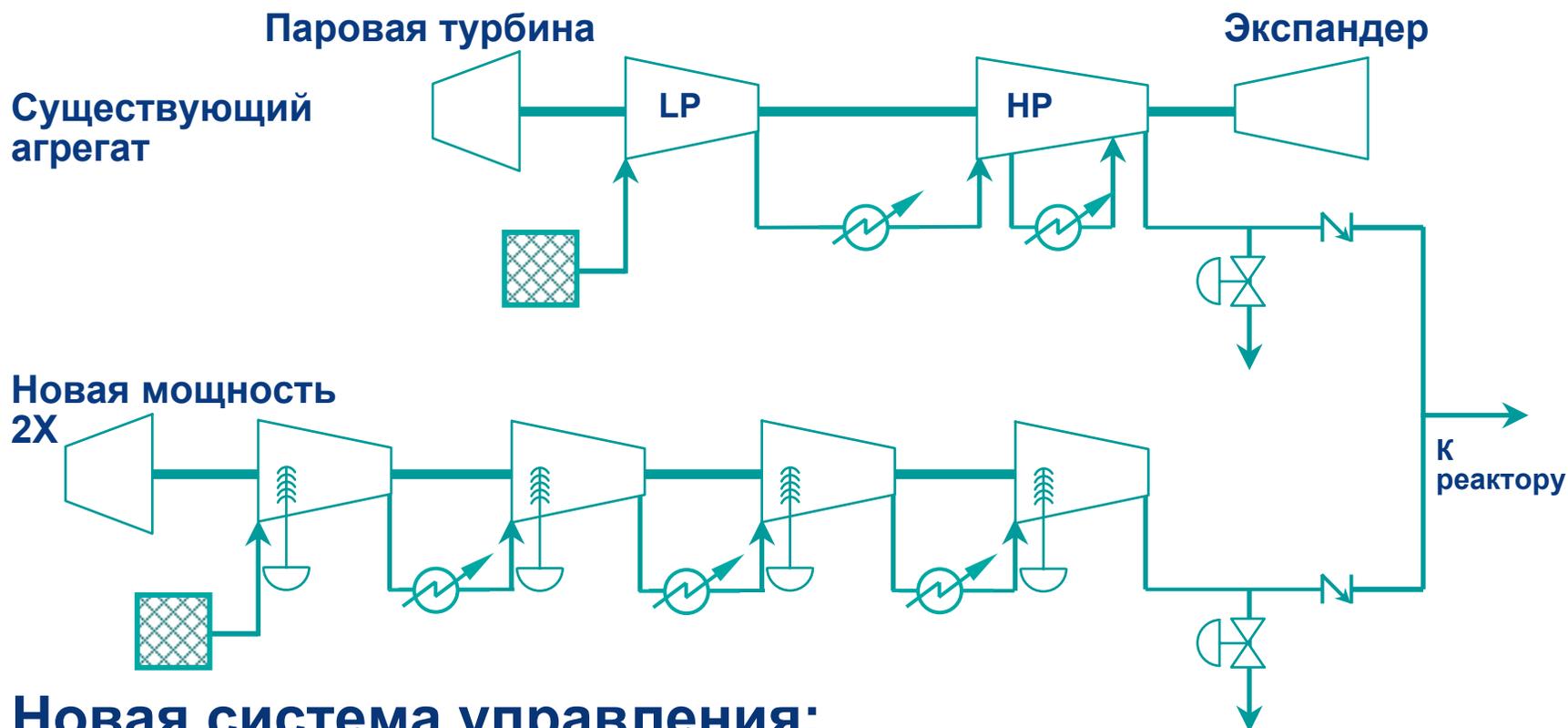
CCC

Примеры применения систем управления ССС Турбомашинами в Бразилии



Вопросы:

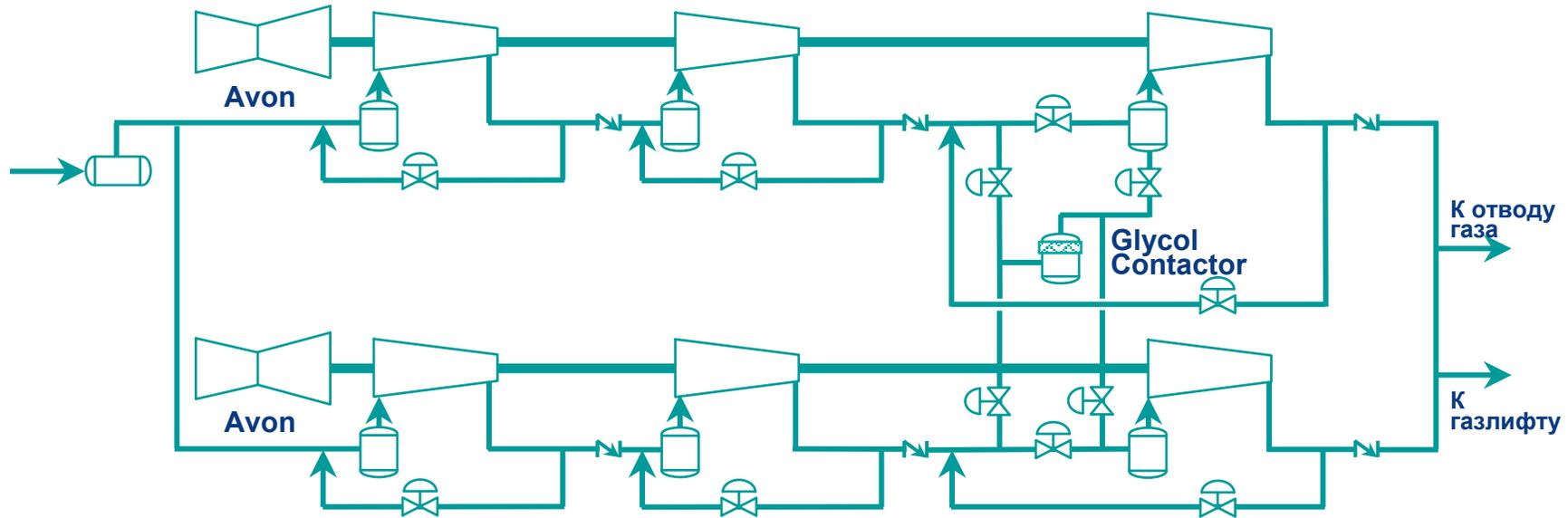
- различные машины
- разные размеры
- разные механизмы управления
- давление в нагнетании очень близко к уставке защиты
- очень чувствительная система



Новая система управления:

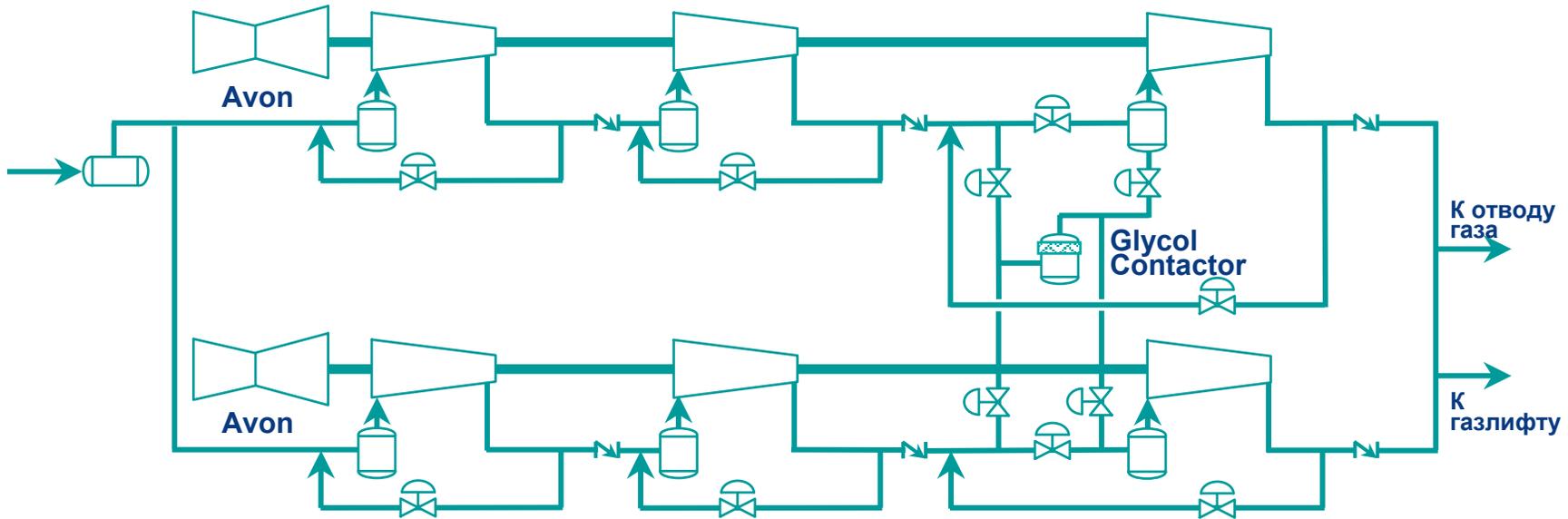
- автоматическое распределение нагрузки при постоянном давлении в нагнетании
- противопопавная защита каждого компрессора
- автоматический пуск, нагружение и останов
- точное регулирование давления в нагнетании

Модернизация Petrobras P18

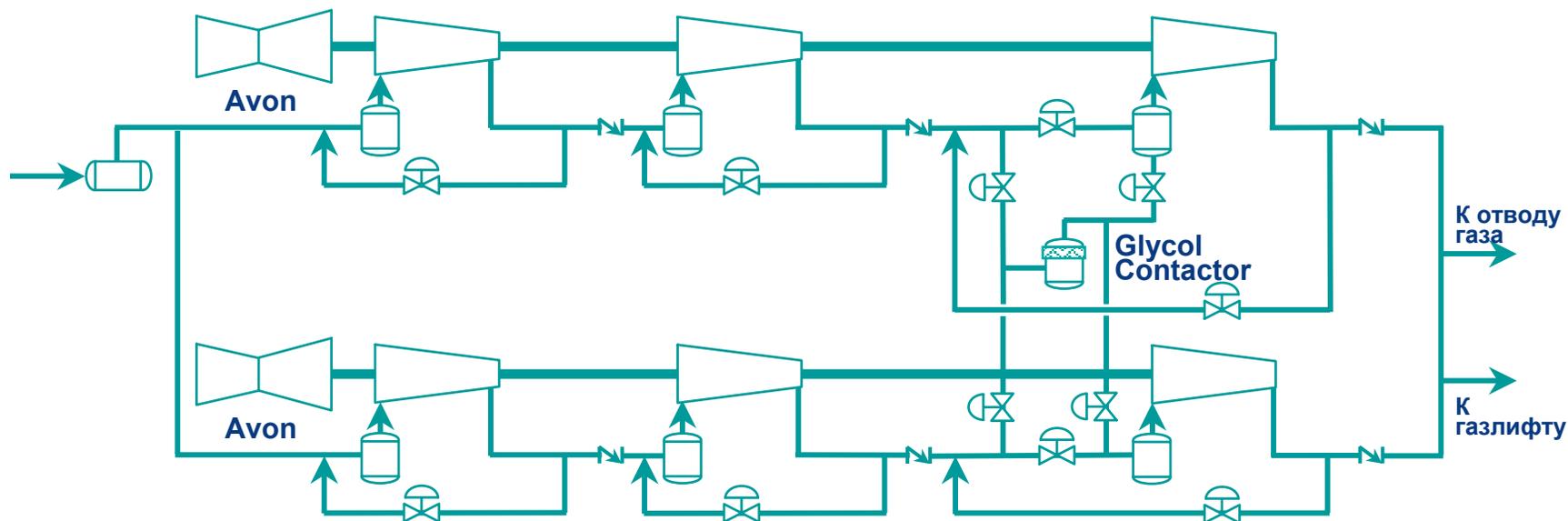


- Старая система регулирования не позволяла эксплуатировать более одного агрегата одновременно
- Избыточный выпуск газа приводил к его потере и загрязнял окружающую среду
- Производство газа выдвинуло новые требования:
 - увеличение производства газа (приводит снижению степени сжатия)
 - увеличение давления в отводящих трубопроводах (приводит увеличению степени сжатия)
 - уменьшение молекулярного веса (требует увеличения степени сжатия)

Модернизация Petrobras P18



- Необходима параллельная работа двух агрегатов при соответствующей подаче газа
- Система гликолевой дегидратации предназначена для одного агрегата
- Некоторые специалисты сомневались в успешной работе двух агрегатов в параллель
- Тесное сотрудничество с инженерами Petrobras привело к созданию новой системы
- Некоторые модификации дегидрационной установки Petrobras позволили осуществить параллельную работу агрегатов

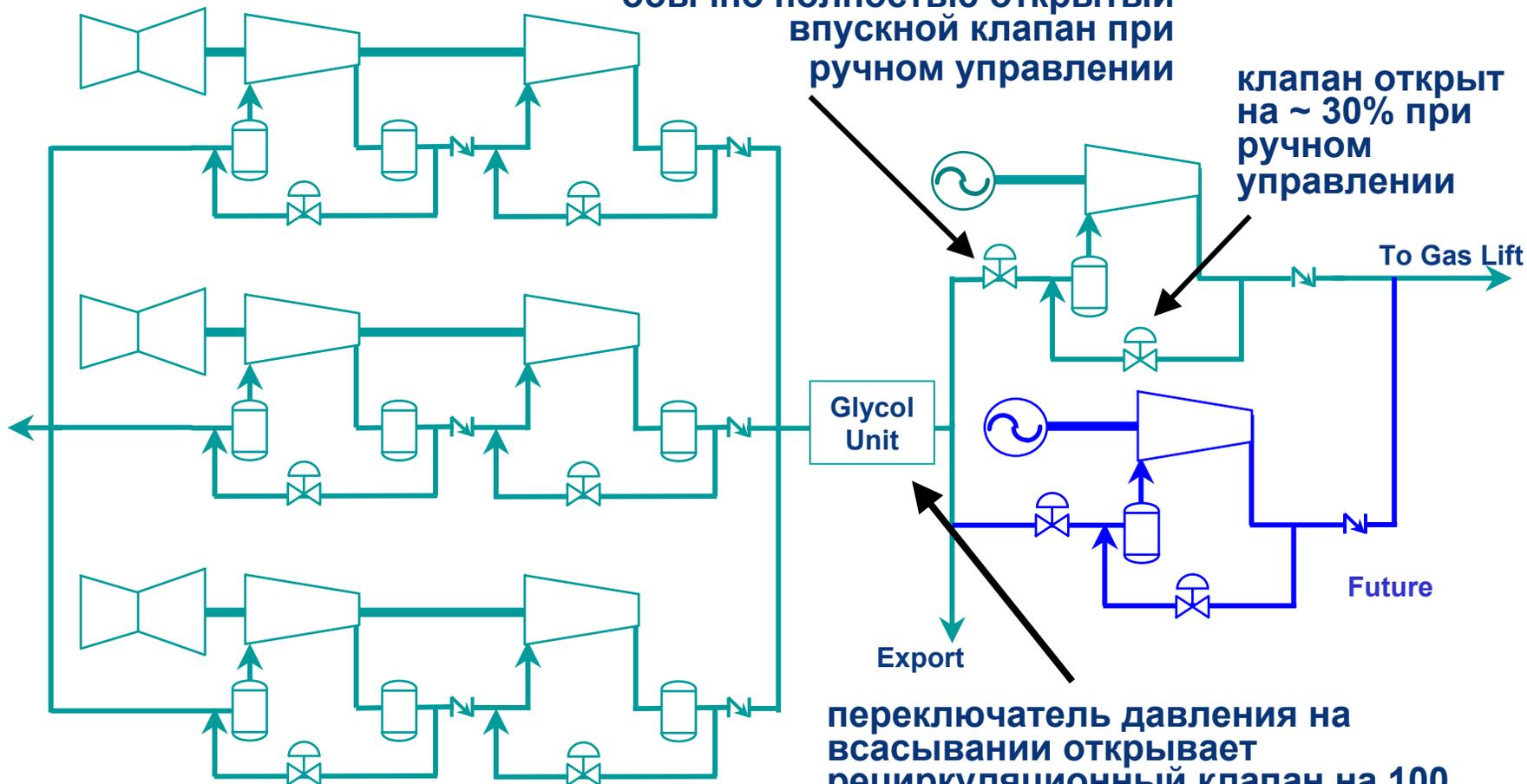


- Новая система регулирования позволяет осуществить параллельную работу двух агрегатов
- Автоматическое распределение нагрузки основано на общем давлении на всасывании

Экономический эффект:

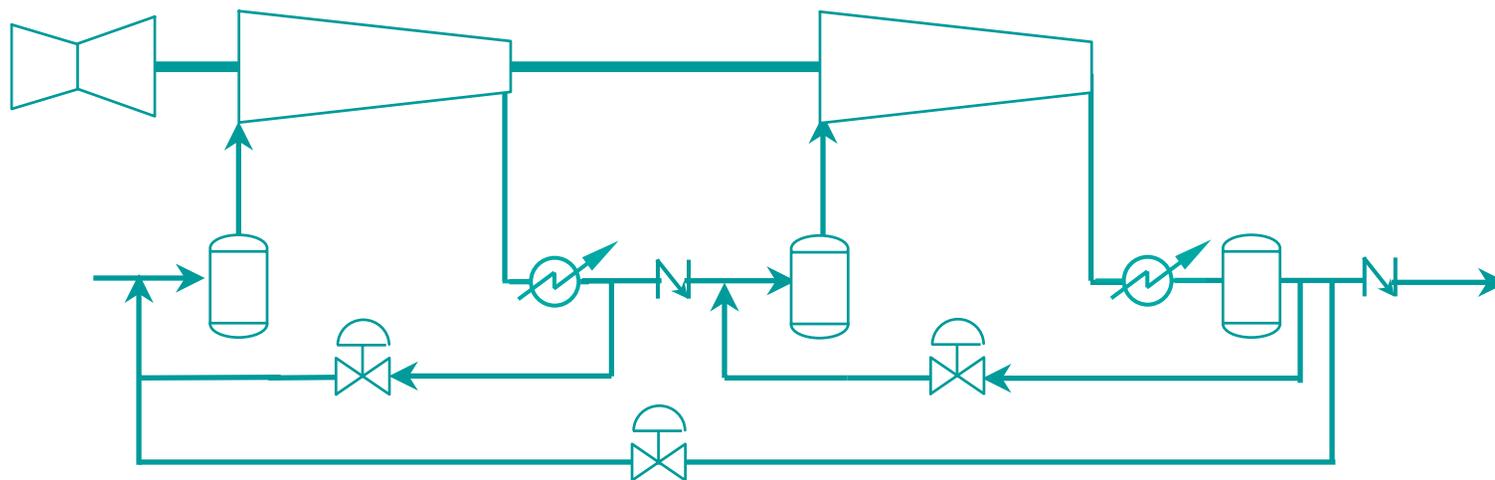
- увеличение производства нефти за счет того, что газлифт не прерывается при выходе из строя одного агрегата
- увеличение надежности и гибкости
- уменьшение выпуска газа

Проблемы старой системы регулирования: обычно полностью открытый впускной клапан при ручном управлении



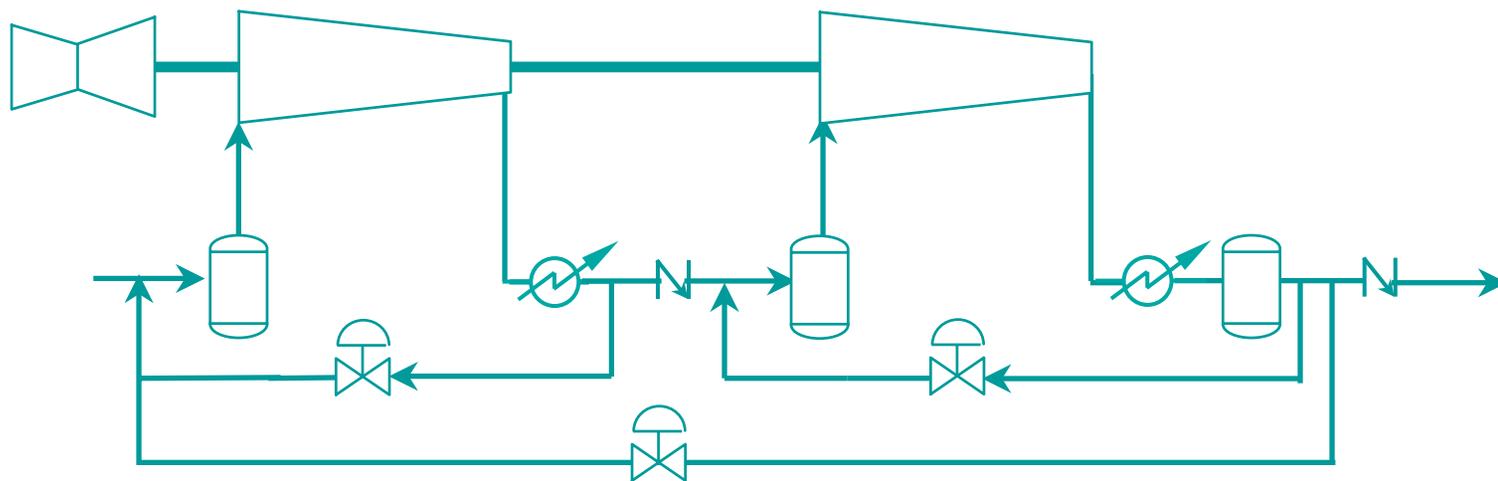
клапан открыт
на ~ 30% при
ручном
управлении

переключатель давления на
всасывании открывает
рециркуляционный клапан на 100
% для предотвращения помпажа.
Приводит к помпажу у компрессоров
низкого и среднего давления.



Проблемы старой системы регулирования:

- Повреждения подшипников и уплотнений
- Избыточный выпуск газа вследствие несовершенного регулирования
- Неэффективная стратегия использования перепускных клапанов секций и всего компрессора
- Аварии вследствие высокого давления на всасывании, когда перепускной клапан всего компрессора открыт



Новая система регулирования:

- эффективная защита от помпажа
- более эффективная стратегия для использования трех рециркуляционных клапанов
- более устойчивый процесс
- уменьшение выпуска газа
- снижение аварийных ситуаций (срабатывание защит)

При новой системе регулирования большой рециркуляционный клапан станции открывается только во время серьезных нарушений процесса

Экономический эффект:
 увеличение возможности газлифта
 увеличение надежности компрессора



CCC

Модернизация турбогенератора Usiminas

Проблемы старой системы регулирования

- Устаревшее оборудование системы регулирования
- Ухудшение вакуума определяется по электроконтактному манометру
- Ухудшение вакуума приводит к тому, что открытие парового клапана снижается до 20 % для предотвращения срабатывания защит
- Это ограничивает чрезмерную выработку энергии
- Пуск и нагружение производится вручную





Новая система регулирования

- Ограничивает мощность, вырабатываемую за счет сохранения приемлемого уровня вакуума
- Максимально увеличивает мощность, вырабатываемую при любых условиях эксплуатации
- Полностью автоматизированный пуск и нагружение
- Способность выдерживать 10 МВт сброс нагрузки без введения защиты
- На установку и пуск системы требуется 48 часов

Экономический эффект:
Вырабатывается большее количество энергии при меньших затратах



Ключевые вопросы управления турбомашинами

- **Энергия, потребляемая турбомеханизмами, относится к основным эксплуатационным расходам на нефтеперерабатывающих и нефтедобывающих предприятиях.**
- **Неэффективное регулирование подвергает риску безопасность и надежность работы турбомашин.**
- **Невозможность использования турбомашин представляет серьезную экономическую проблему.**
- **Современные системы регулирования с большими возможностями можно приобрести на рынке.**
- **Эффективные вспомогательные службы необходимы для успешного применения системы управления турбомашинами.**
- **Бразильская промышленность - одна из ведущих в применении технологии управления турбомашинами.**