

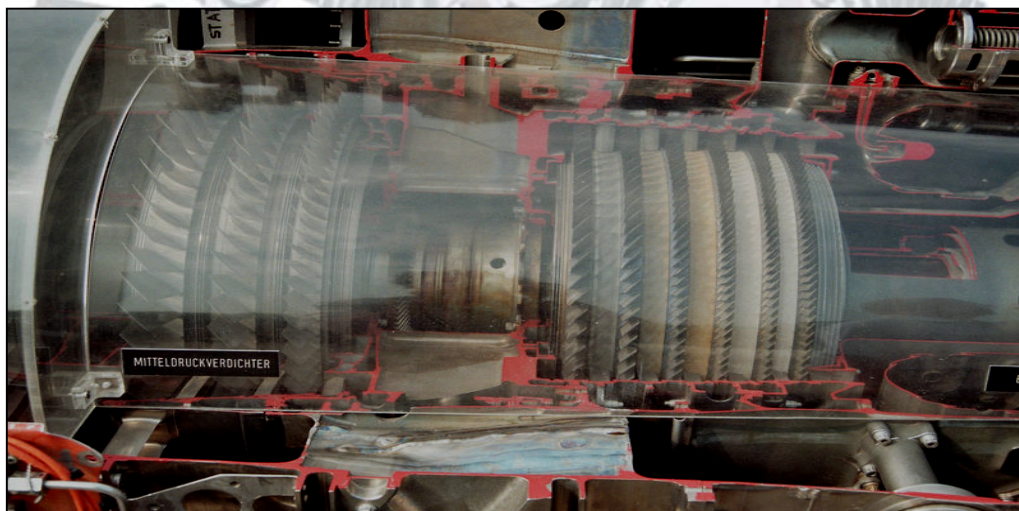
# ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## Модуль 5 Способы повышения эффективности ГТУ

### Тема 1 Защита компрессоров от помпажных явлений

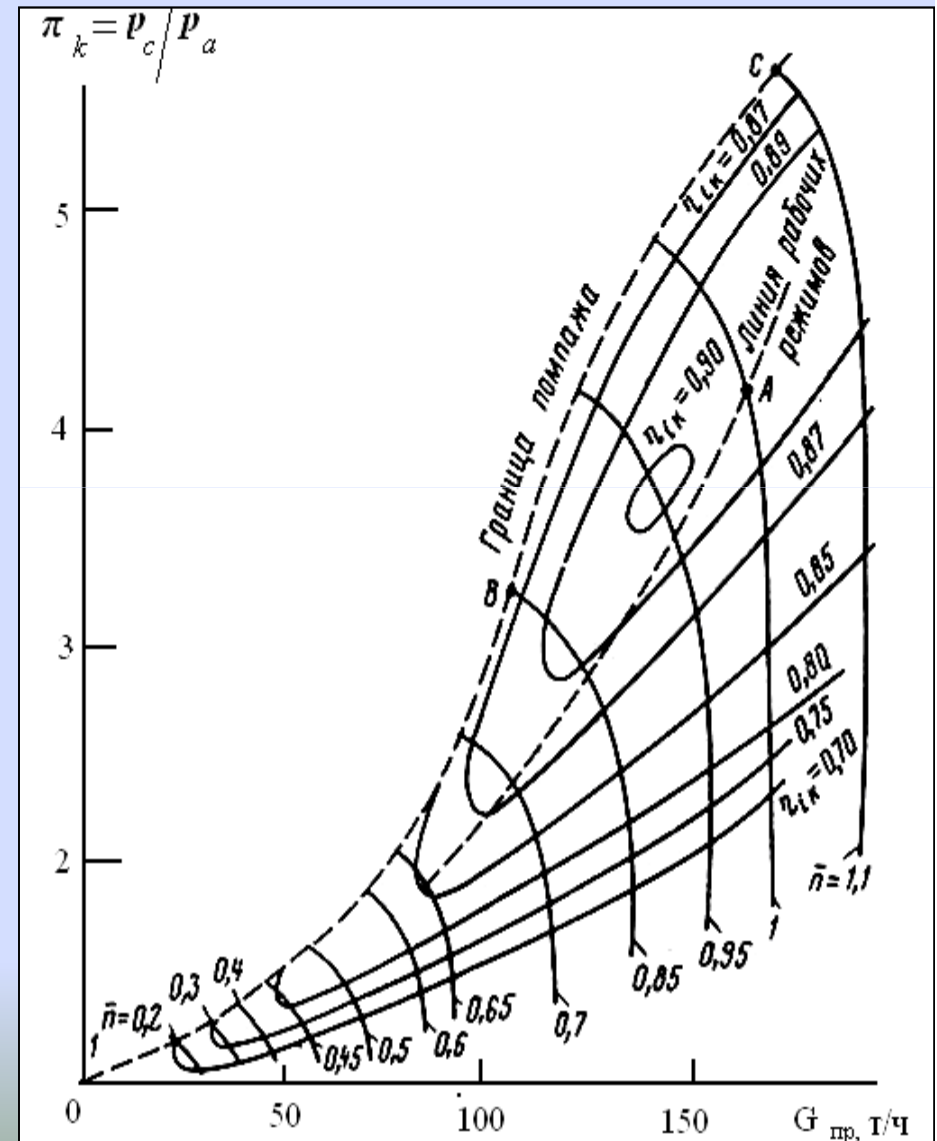


Разработчик: к.х.н., доцент каф. ТХНГ Н.В. Чухарева



**Помпаж** - различные нестационарные явления, возникающие в результате потери устойчивости течения воздуха в компрессоре при работе его в системе газотурбинного двигателя

Важным моментом является определение области устойчивой работы компрессора. Отмеченная пунктиром линия **ОВС** на универсальной характеристике является **граничной линией устойчивости**



## Помпажные явления



## Помпажные явления

Центробежный компрессор

Осевой компрессор

Отклонение режима работы от расчетного

Срывы потока воздуха с передних кромок лопаток рабочего колеса и лопаточного диффузора

Срыв потока воздуха с лопаток рабочих колес и спрямляющих аппаратов

Помпажные явления могут развиваться как в отдельной ступени, так и охватывать весь ОК

Возникновение срывов потока воздуха в компрессоре не всегда сопровождается появлением помпажа

## ПРИЧИНЫ ПОМПАЖНЫХ ЯВЛЕНИЙ

1. Увеличение давления при неизменной скорости вращения рабочего колеса в последней ступени компрессора, или повышения сопротивления во всасывающем тракте в связи с загрязнением фильтров, а также образованием наледей на входном направляющем аппарате и закрытие жалюзи воздухозаборного устройства
2. При резком сбросе или резком возрастании нагрузки, которая связана с аварийной остановкой из нескольких последовательно работающих агрегатов
3. Наибольшая вероятность помпажа имеет место в процессе пуска или остановки ГТУ, когда скорость не превышает значения  $0,6n_0$

## СПОСОБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПОМПАЖНЫХ ЯВЛЕНИЙ

1. Точное противопомпажное регулирование сбросного клапана при работе на режимах, близких к критическому, вызывающему явление помпажа
2. Содержание в исправном состоянии антипомпажных устройств
3. Своевременная очистка лопаток компрессора



## ПРОТИВОПОМПАЖНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

### Подсистема защит и управления компрессором

#### Основной контроллер

Защита оборудования и технологии от **опасных режимов** работы и **перевод** компрессорной **установки в безопасное состояние** при срабатывании аварийных блокировок

Предупредительная сигнализация и **запрет пуска** при выходе параметров компрессорной установки за допустимые пределы

#### Сигнализатор помпажа

Программное обеспечение сигнализатора помпажа определяет момент вхождения компрессора в помпаж

В течение очень короткого времени, как правило менее 1с с начала первого «хлопка» и выдает в **основной контроллер** сигнал на экстренное открытие байпасного (сбросного) клапана

## ПРОТИВОПОМПАЖНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

### Основной контроллер

Автоматическая **подготовка** к пуску

Технологическое регулирование (давления всасывания, давления нагнетания или расхода газа)

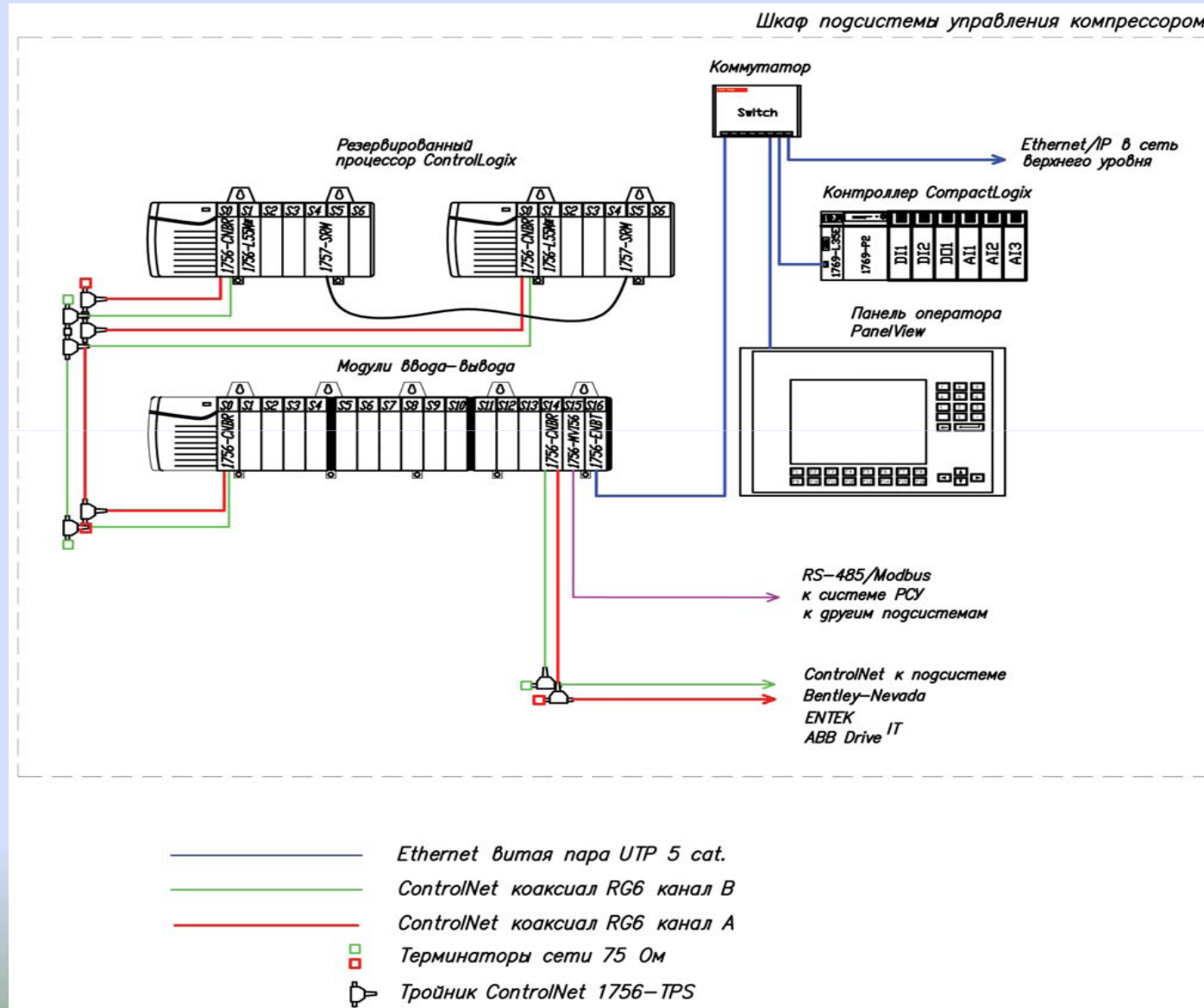
**Регулирование требуемых параметров компрессорной установки** (давления и температуры масла в коллекторе смазки, температуры после байпасного холодильника и т.п.)

**Обеспечение оптимального распределения нагрузки** при параллельной или последовательной работе нескольких компрессоров в один коллектор

### Сигнализатор помпажа

**Распознавание помпажа** с помощью специального **группового анализа динамики газодинамических и мощностных параметров компрессорной установки**





## СВОЕВРЕМЕННАЯ ОЧИСТКА ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА

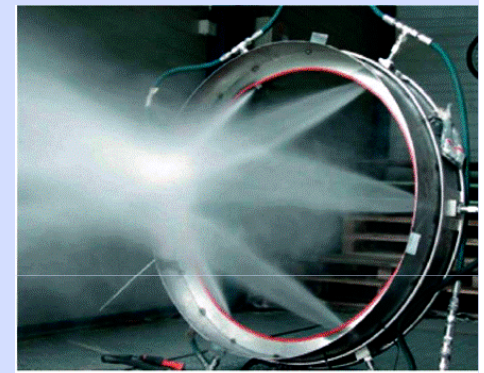
Компанией Gas Turbine Efficiency (GTE) разработана **система высокого давления**, обеспечивающая очистку лопаток компрессора в режиме «на ходу» и «на холодной прокрутке»



При промывке используется вода, нагретая до температуры 50...90 °С. Промывка в режиме «на ходу» выполняется исключительно водой, но она эффективна только на первых ступенях компрессора (**с 1 по 5**), в связи с высокой рабочей температурой воздуха на последующих ступенях

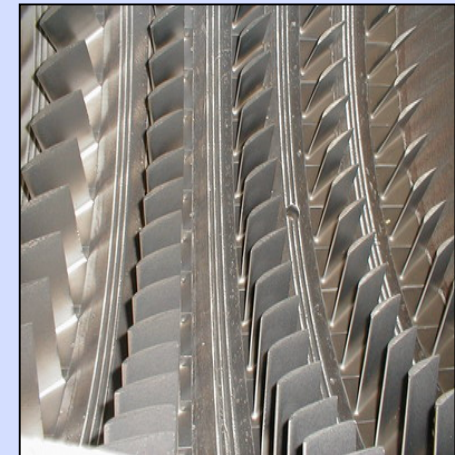
## СВОЕВРЕМЕННАЯ ОЧИСТКА ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА

- Высокое давление моющего раствора – в диапазоне от 4 до 8 МПа.
- Вода через систему специальных форсунок направляется на вход компрессора таким образом, чтобы лопатки компрессора смачивались по всей высоте.
- Капли воды должны иметь мощный механический импульс для эффективного контакта с загрязнением на лопатке
- Для большинства компрессоров ГТУ размер капель воды должен быть не менее 100-250 мкм, чтобы обеспечить эффективный контакт с лопатками компрессора.
- Увеличение размера капель жидкости может привести к развитию эрозии лопаток компрессора.



## СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ПОМПАЖНЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ

1. Устройство перепускного клапана после **4,5,6** ступеней компрессора, через которые осуществляется сброс части воздуха
2. Дросселирование
3. Поворот лопаток направляющего аппарата



При остановке агрегата и в начале его пуска клапаны открыты и удерживаются в таком состоянии пружиной. С увеличением давления, при возрастании частоты вращения ротора до **0,7...0,85  $n_0$** , увеличивается перепад давления на тарелке клапана, приводящий к его закрытию. В процессе работы на расчетном режиме сбросные клапана закрыты и открываются при нарушении режима или остановки компрессора

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН ЗАЗОРОВ ОК на примере ГТК 10-4

Для устранения повышенных радиальных зазоров на статор осевого компрессора ГТК-10-4 наносятся полосы покрытия из специального состава с алюминием

Напыление полос покрытия заданной толщины обеспечивает штатную величину зазоров

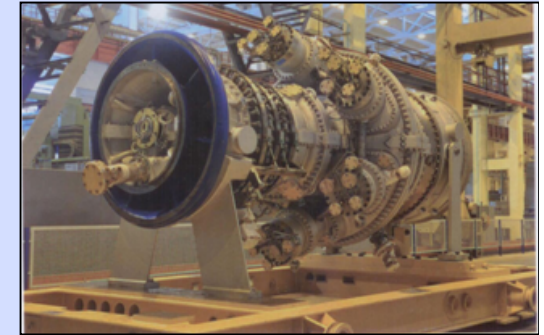
Через 6700 часов работы и после чистки осевого компрессора косточковой крошкой полосы покрытия по-прежнему обеспечивают штатную величину зазоров

Материал статора осевого компрессора - чугун, материал покрытия - алюминий



# Благодарю за внимание!

## Перечень рекомендуемой литературы по Модулю 5



### Основная:

- Газотурбинные установки: учебное пособие/ А.В. Рудаченко, Н.В. Чухарева, С.С. Байкин.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 139с.
- Энергетика трубопроводного транспорта газов: Учебное пособие / А.Н. Козаченко, В.Н. Никишин, Б.П. Поршаков – М.: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001. – 400 с.
- Манушин Э.А. Газовые турбины. Проблемы и перспективы. М.: Энергоатомиздат, 1986.- 168 с.

### Дополнительная:

- Газотурбинные технологии. Специализированно-аналитический журнал. Изд-во «Медиа Гранд»
- ГОСТ 4.433-86. Установки газотурбинные стационарные. Но-менклатура показателей.
- ГОСТ 21199-82. Установки газотурбинные. Общие техниче-ские требования.
- Повышение эффективности использования газа на компрессорных станциях / Динков В.А., Гриценко А.И., Васильев Ю.Н., Мужиливский П.М. - М.: Недра, 1981,- 296 с