



# **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТУРБОМАШИН В МЕТАЛЛУРГИИ**

*Проблемы регулирования  
и их решения фирмой  
**Compressor Controls  
Corporation***

1



# ***A. ТУРБОКОМПРЕССОРЫ В МЕТАЛЛУРГИИ***

- Турбокомпрессоры с их приводными агрегатами (паровыми турбинами или электродвигателями) являются важнейшими компонентами многих металлургических процессов.
- Так, производство чугуна и стали связано с подачей воздушного и кислородного дутья.
- Производство кислорода в свою очередь связано с компримированием воздуха.
- Производство кокса требует отсоса коксового газа.
- При производстве ферросплавов требуется удаление из печей токсичного феррогаза.



- **Многочисленные механизмы приводятся в движение воздухом, компримируемым турбокомпрессорами.**
- **Выход из строя, даже кратковременный, одного из турбокомпрессоров может привести к тяжелой аварии и останову технологического процесса.**
- **Широко известны случаи аварий доменных печей при прекращении подачи дутья.**
- **Являясь важнейшими компонентами многих металлургических процессов, турбомашинны являются и самыми крупными потребителями энергии.**



- **В свою очередь, надежность и экономичность турбомашин зависят в существенной степени от работы их систем автоматического регулирования (САР).**
- **Между тем САР турбомашин, применяемых на территории бывшего СССР, являются их самым слабым звеном.**
- **В них плохо решены проблемы противопомпажного регулирования.**
- **Их многочисленные контуры регулирования плохо взаимодействуют друг с другом.**
- **Не решены в них и проблемы регулирования агрегатов, работающих в параллель.**



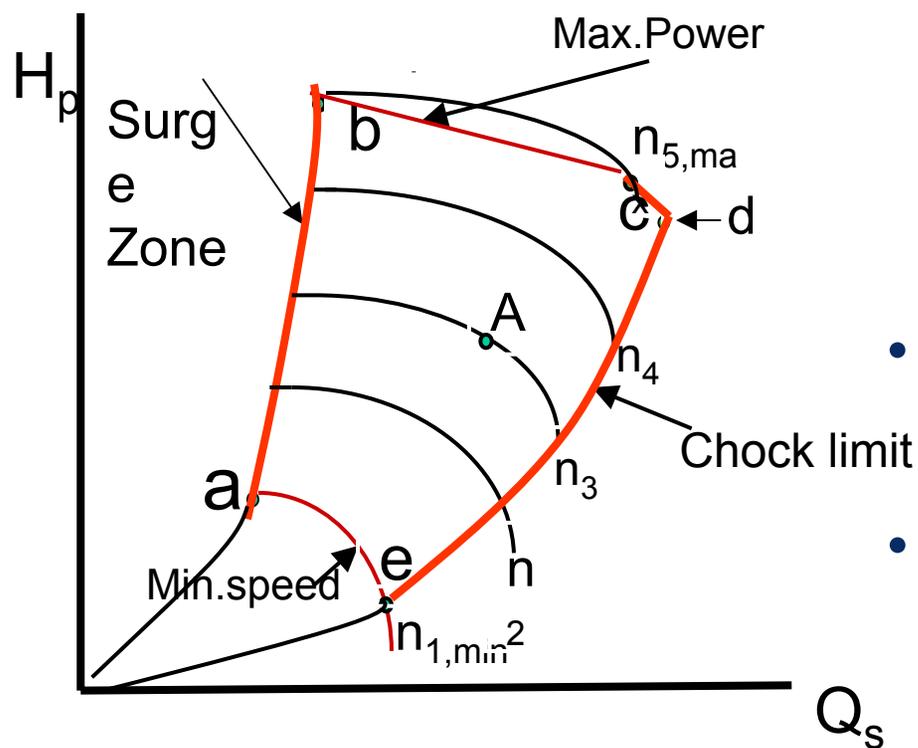
- **Быстродействие применяемых САР, их точность и надёжность-низкие.**
- **Между тем, за пределами СНГ техника регулирования турбомашин за последние 15 лет шагнула далеко вперед.**
- **ССС является пионером в совершенствовании САР турбомашин, построенных на основе применения микропроцессорной техники.**
- **Системы ССС внедрены на тысячах агрегатов, работающих почти во всех странах мира.**
- **В том числе и на многочисленных металлургических заводах.**



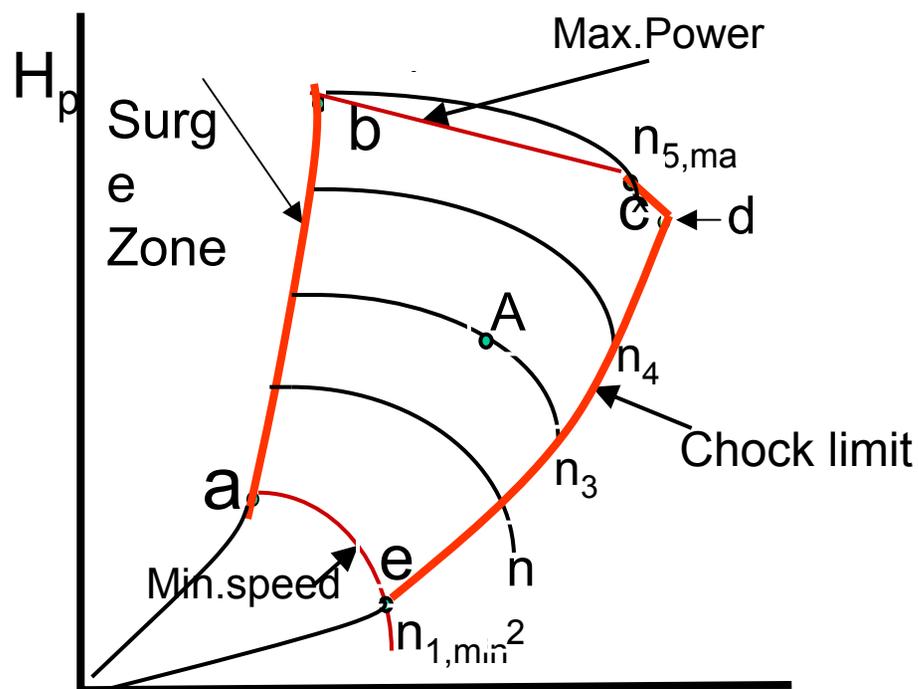
## ***В. Подход ССС к проблемам регулирования турбокомпрессоров***

- До конца 70г. только гидравлические, пневматические и аналоговые PID линейные контуры регулирования использовались для регулирования компрессоров.
- В большинстве случаев эти контуры были мало-эффективными для регулирования турбомашин, и в особенности для противопомпажного регулирования.
- Турбокомпрессор-сложный, многоконтурный объект регулирования.
- На следующем слайде представлены его статические характеристики для разных приведенных скоростей вращения.

$H_p$ - политропический напор,  
 $Q_s$ -объёмный расход во всасывании



- Слева эти характеристики ограничены **Границей Помпажа**, характеризуемого **крайне опасными колебаниями расхода и давления**.
- Справа они ограничены **Границей так называемого Чока**.
- Между этими границами находится **Зона Устойчивой работы (ЗУР)**.



- Эта Зона кроме границ помпажа и чока ограничивается также линиями максимально-допустимой Мощности (важной для машин с газотурбинным приводом и электроприводных машин) и Линиями Максимальной и Минимальной Скоростей. Во многих случаях к упомянутым границам добавляется ограничение по максимальному давлению.

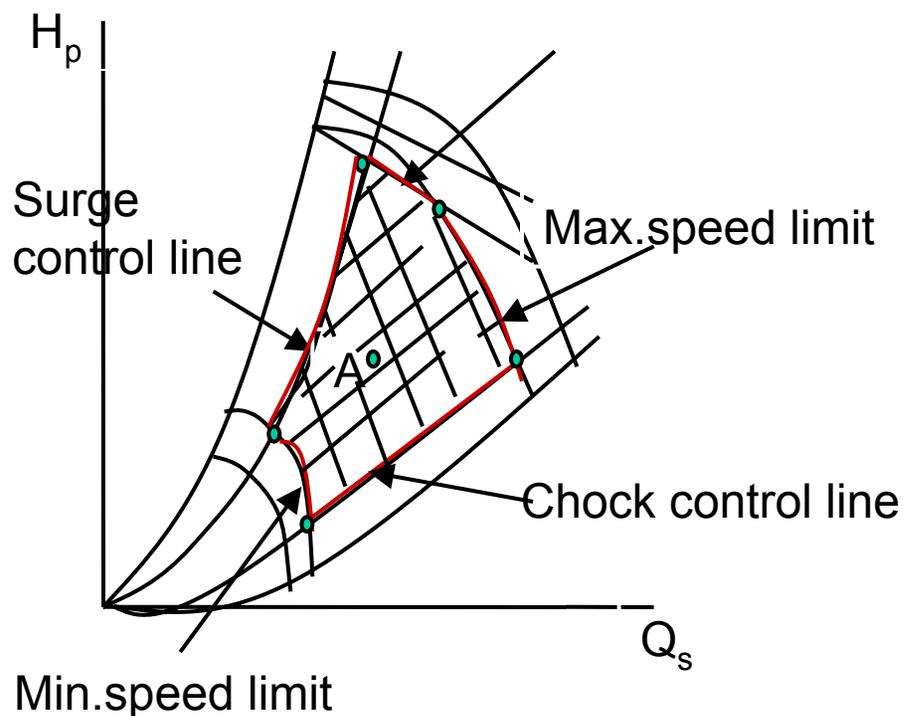


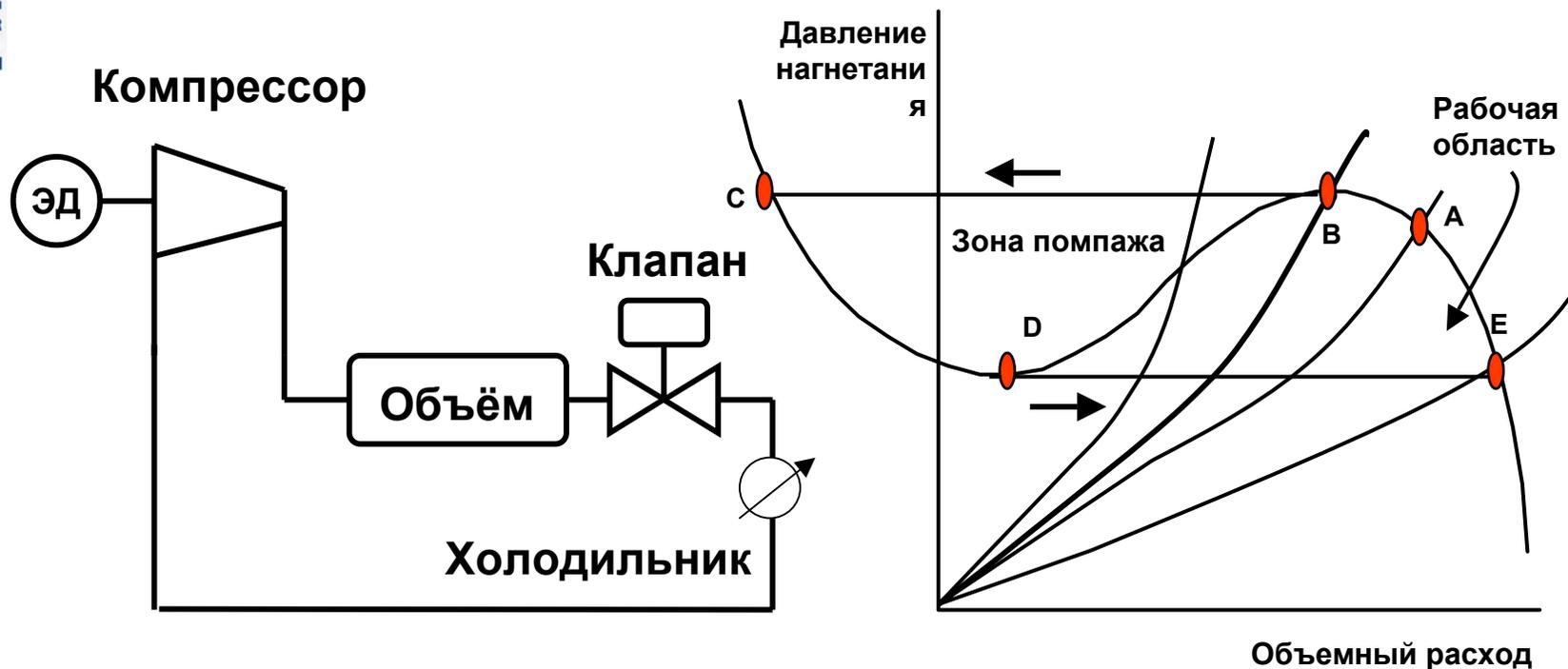
Fig.3

- Работа компрессора вблизи границ ЗУР крайне опасна.
- На практике всегда устанавливается надёжное расстояние (запас) между ЗУР и Зоной Безопасной Работы, как это показано на приведенном слайде.
- Пересечение рабочей точкой одной из границ ЗУР может привести к тяжёлым последствиям



- **Особенно опасна работа компрессора слева от границы помпажа.**
- **Возникновение и развитие помпажа можно проследить, используя модель, показанную на следующем слайде.**
- **Электроприводной компрессор работает в замкнутом цикле, включающем: объём нагнетания, дроссельный клапан в нагнетании, холодильник и коллектор всасывания.**
- **Сопротивление сети можно менять клапаном в нагнетании.**

# МОДЕЛЬ ПОМПАЖА

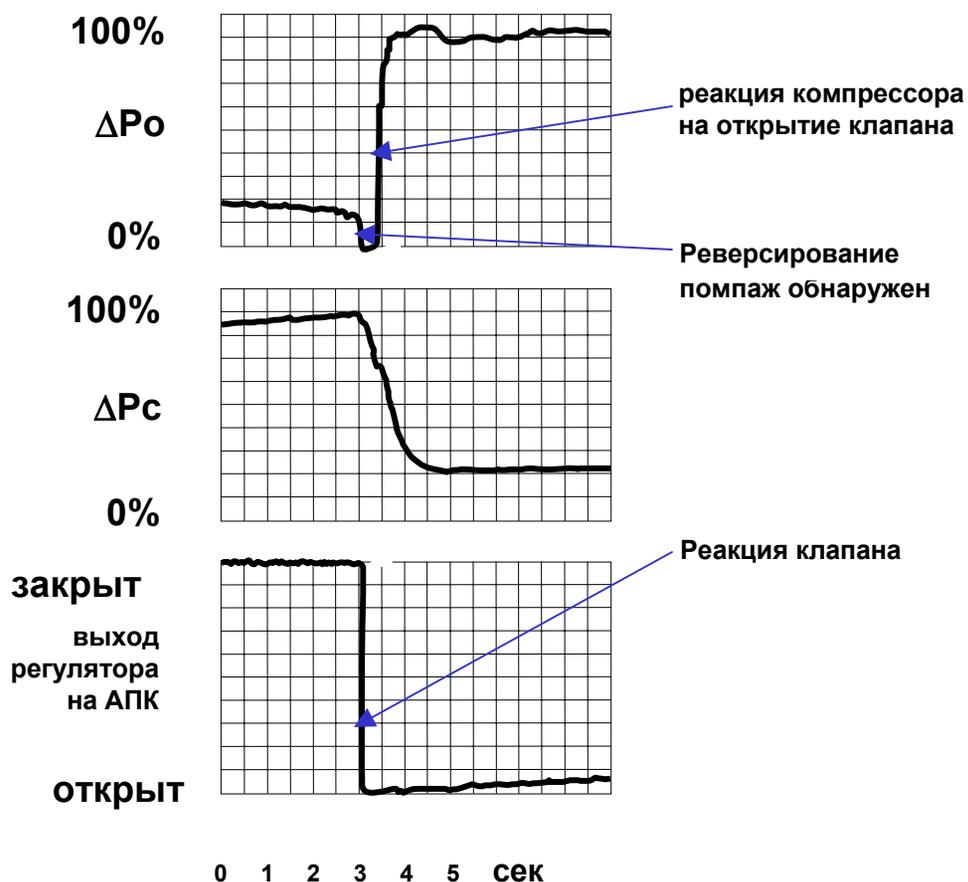


## ПОМПАЖ СОПРОВОЖДАЕТСЯ:

- Периодическим резким падением расхода, приводящим к реверсированию потока
- Автоколебаниями расхода и давления с частотой помпажных циклов от 0.3 до 3 Гц
- Вибрацией компрессора
- Ростом температуры газа на всасывании
- Специфическим шумом



# Картину помпажа легко проследить, тестируя компрессор



- Время падения расхода до начала реверсирования потока - 50 мсек
- Помпаж выявлен и остановлен на первом хлопке
- Поток стабилизирован за 450 мсек

# Зона Безопасной Работы

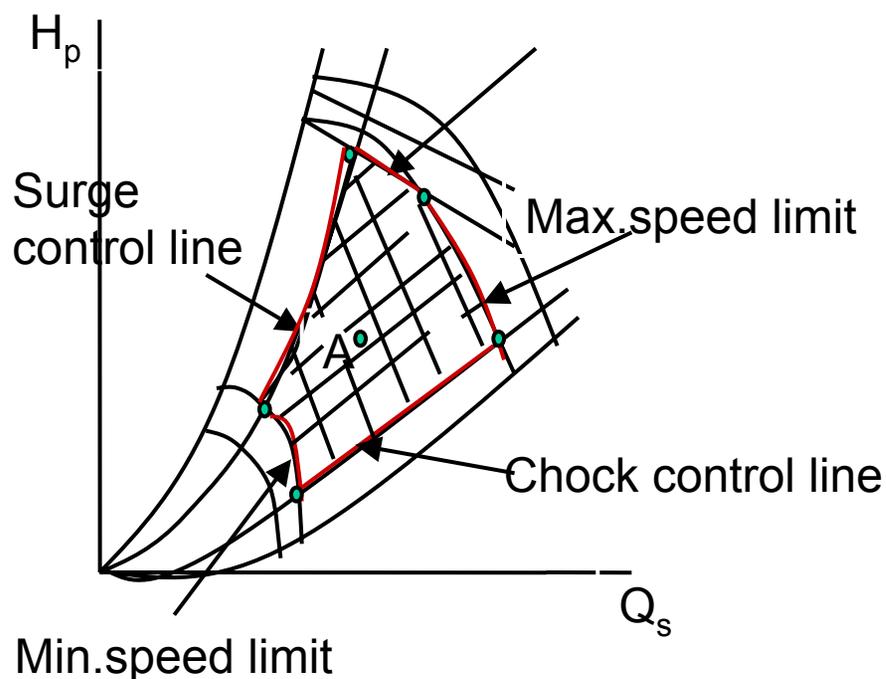


Fig.3

- Работа внутри этой зоны обеспечивается САР, которая ограничивает её линиями настройки контуров регулирования помпажа, чока, макс. и мин. скоростей.
- Расстояние Зоны Безопасной работы до ЗУР (запас устойчивости) определяет диапазон возможного изменения режимов.
- Но это расстояние целиком определяется эффективностью САР.



- Чтобы обеспечить наименьшее, но надёжное расстояние прежде всего необходимо правильно определить положение рабочей точки компрессора относительно границ Зоны Устойчивой работы.
- Неумение правильно определять это положение было одной из главных причин недостаточной эффективности традиционных САР.
- Применение плоскости координат, в которой в качестве вертикальной и горизонтальной осей использованы инвариантные условиям всасывания приведенный политропический напор  $h_{p,red}$  и квадрат приведенного объёмного расхода  $(q_{s,red})^2$ , позволяет ССС точно определять как положение границы помпажа, так и положение рабочей точки на этой плоскости.

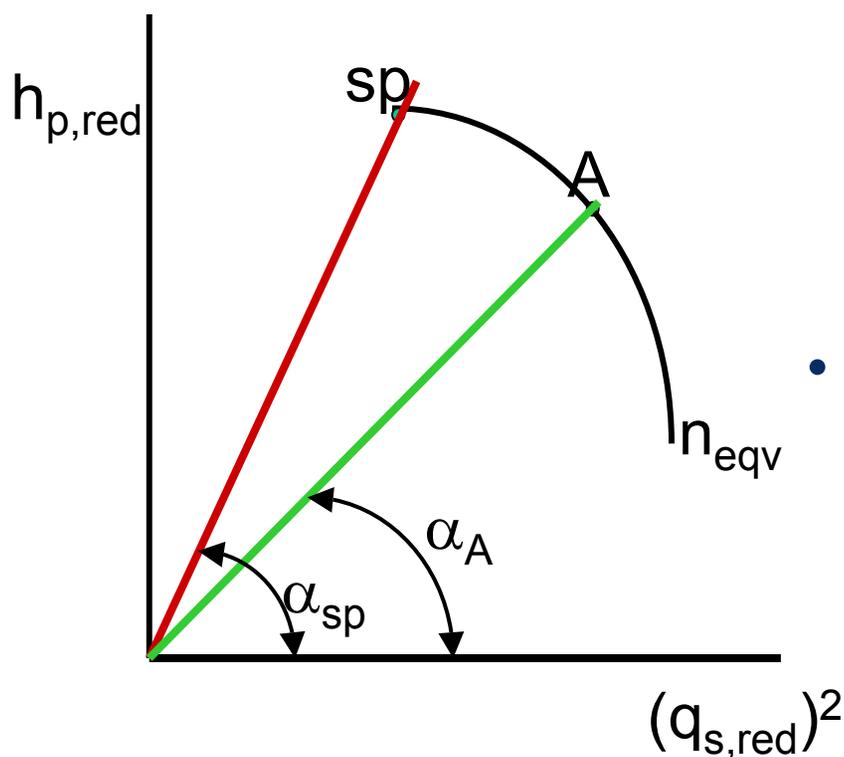


Fig.4

- В плоскости координат с осями  $h_{p,red}$  и  $(q_{s,red})^2$  каждой приведенной скорости компрессора соответствует неизменная газодинамическая характеристика.
- Положение рабочей точки на этой характеристике точно определяется тангенсом угла наклона луча, соединяющего рабочую точку с началом координат.

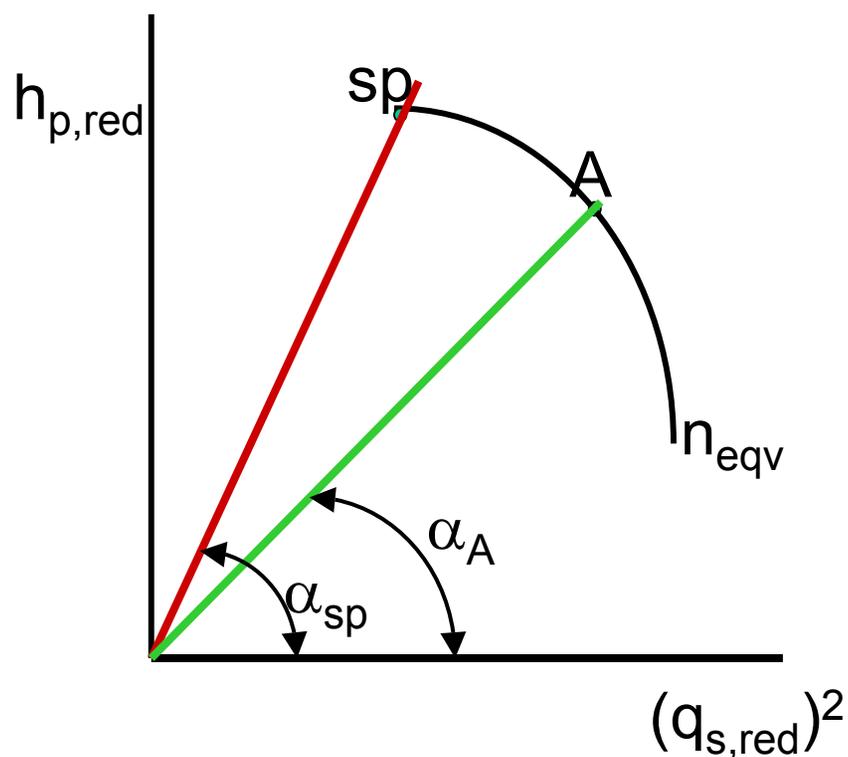


Fig.4

- При движении рабочей точки вдоль характеристики, соответствующей постоянной приведенной скорости, этот тангенс увеличивается.

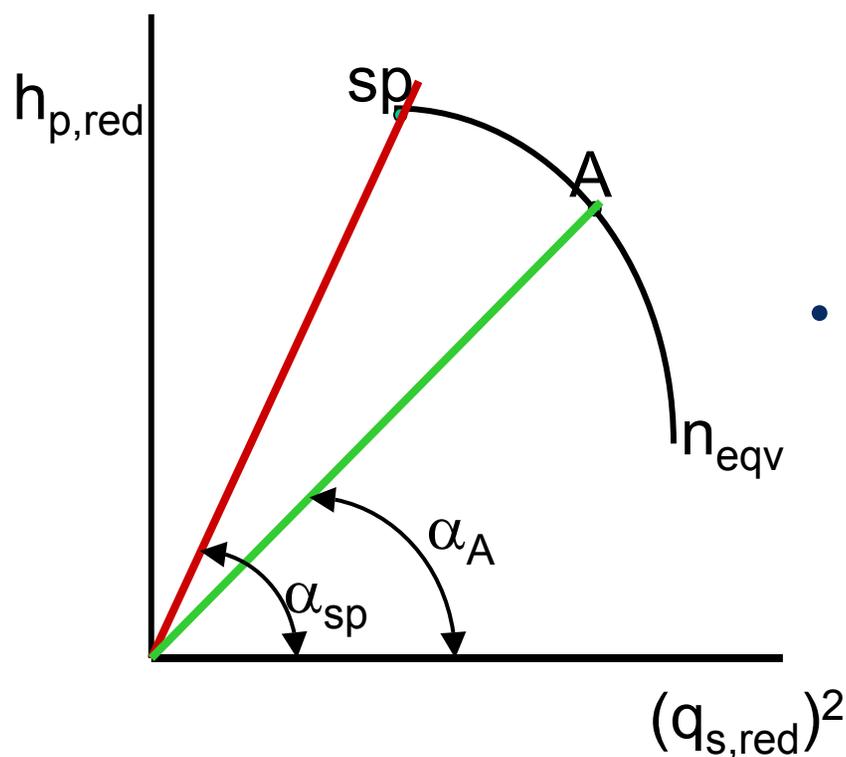


Fig.4

- Точка помпажа “sp” на той же характеристике постоянна и тангенс наклона луча, соединяющего эту точку с началом координат также постоянный.
- Когда рабочая точка достигает помпажа оба упомянутых тангенса становятся равными.

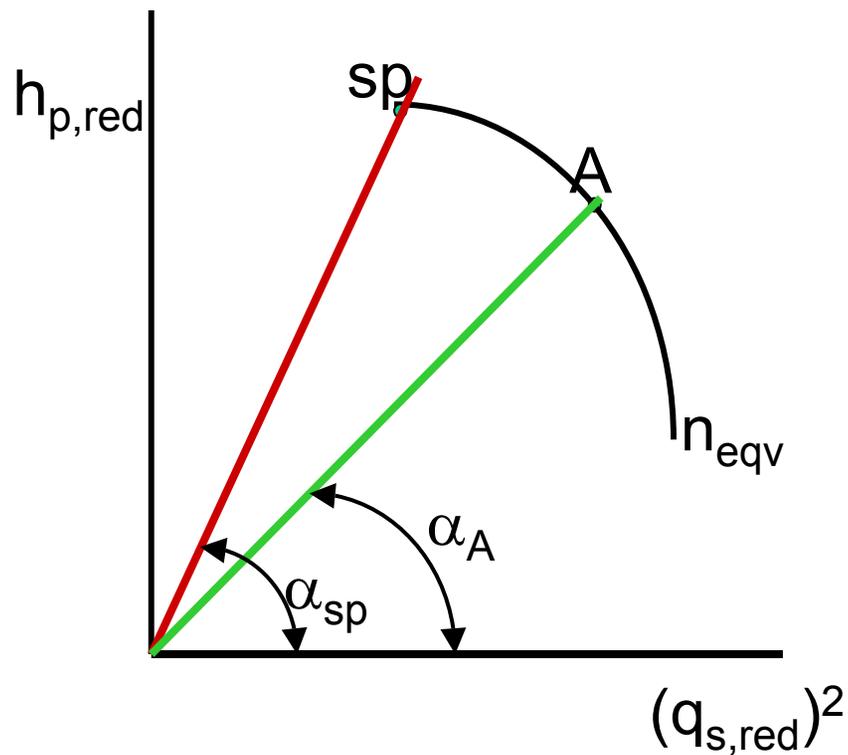


Fig.4

$$S_A = \operatorname{tg} \alpha_A = \frac{h_{p, red, A}}{(q_{s, red, A})^2}$$

$$h_{p, red, A} = \frac{(R^\sigma - 1)}{\sigma}$$

$$(q_{s, red, A})^2 = \frac{\Delta p_o}{p_s}$$

$$\sigma = \frac{\log \Theta}{\log R}$$

$$S_{SP} = \operatorname{tg} \alpha_{sp} = \frac{1}{k}$$



$$S_A = \operatorname{tg} \alpha_A = \frac{h_{p, \text{red}, A}}{(q_{s, \text{red}, A})^2}$$

$$h_{p, \text{red}, A} = \frac{(R^\sigma - 1)}{\sigma}$$

$$(q_{s, \text{red}, A})^2 = \frac{\Delta p_0}{p_s}$$

$$\sigma = \frac{\log \Theta}{\log R}$$

$$S_{SP} = \operatorname{tg} \alpha_{sp} = \frac{1}{k}$$

- В приведенных формулах  $R$  - степень сжатия в точке  $A$ ,  $\sigma$  - политропическая экспонента,  $\Delta p_0$  - перепад давлений на расходомере, установленном во всасывании.
- Как уже было отмечено тангенс угла наклона точки помпажа  $S_{sp}$  - величина постоянная для данных приведенных оборотов:

$$S_{SP} = \operatorname{tg} \alpha_{sp} = \frac{1}{k}$$



$$S_A = \operatorname{tg} \alpha_A = \frac{h_{p, \text{red}, A}}{(q_{s, \text{red}, A})^2}$$

$$h_{p, \text{red}, A} = \frac{(R^\sigma - 1)}{\sigma}$$

$$(q_{s, \text{red}, A})^2 = \frac{\Delta p_o}{p_s}$$

$$\sigma = \frac{\log \Theta}{\log R}$$

$$S_{SP} = \operatorname{tg} \alpha_{sp} = \frac{1}{k}$$

- В качестве параметра помпажа, определяющего угловое расстояние рабочей точки компрессора до помпажа, ССС применяет параметр  $S_s$ .
- Параметр помпажа  $S_s$  это отношение тангенса угла наклона луча, соединяющего точку А с началом координат, к тангенсу угла наклона точки помпажа:

$$S_s = \frac{S_A}{S_{sp}} = \frac{k \cdot (R^\sigma - 1)}{\frac{\Delta P_0}{P_s} \cdot \sigma}$$



- Если для постоянной эквивалентной скорости коэффициент «К» является постоянной величиной, то для переменной скорости он может меняться.
- В общем случае он может быть представлен как функция приведенного напора.
- Тогда :

$$S_s = \frac{f\left(\frac{(R^\sigma - 1)}{\sigma}\right)}{\Delta p_o / p_s}$$



- Как уже говорилось, для всех помпажных точек вдоль границы помпажа точки  $A$  и  $SP$  совпадают, а тангенсы  $SA$  и  $SSP$  равны.
- Поэтому вдоль границы помпажа величина параметра  $S_s$  всегда равна 1.
- Соответственно инвариантный параметр помпажа  $S_s$  меняется от 1 на границе помпажа до 0 на оси приведенного расхода.
- Используя параметр  $S_s$ , расстояние рабочей точки до помпажа « $d$ » может быть представлено как:

$$d = 1 - S_s$$



- Соответственно это расстояние меняется от 0 до 1.
- При угловом относительном расстоянии между линиями настройки противопомпажного регулирования и помпажом, равным величине  $b$ , отклонение рабочей точки от линии настройки ( $dev$ ) равно:

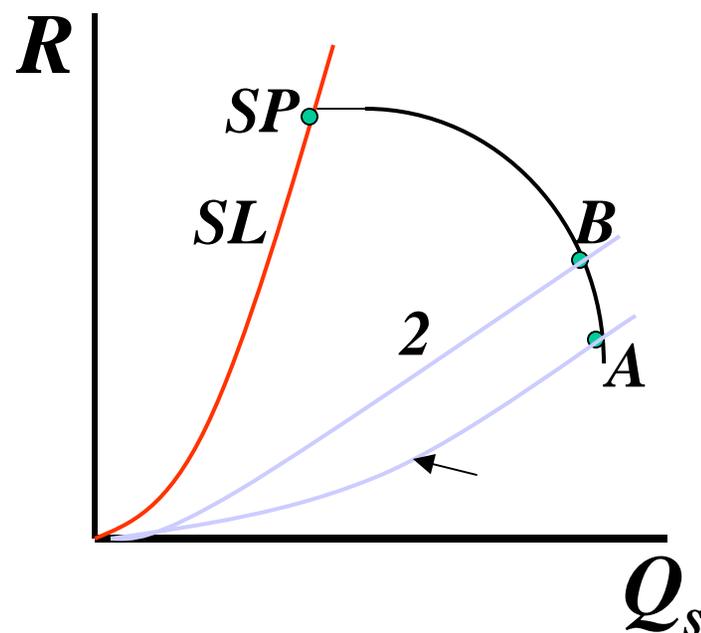
$$dev = d - b$$



- Точное измерение расстояний рабочей точки до линии настройки противопомпажного регулирования и до помпажа необходимо, но недостаточно для обеспечения эффективного противопомпажного регулирования.
- Одной из главных причин неспособности линейных PI контуров регулирования обеспечить нужное быстродействие при сохранении устойчивости была невозможность приспособиться к влиянию нелинейности компрессорной характеристики.
- Каждая характеристика, соответствующая постоянной приведенной скорости, имеет большую крутизну в районе низких степеней сжатия и меньшую- в районе помпажа.

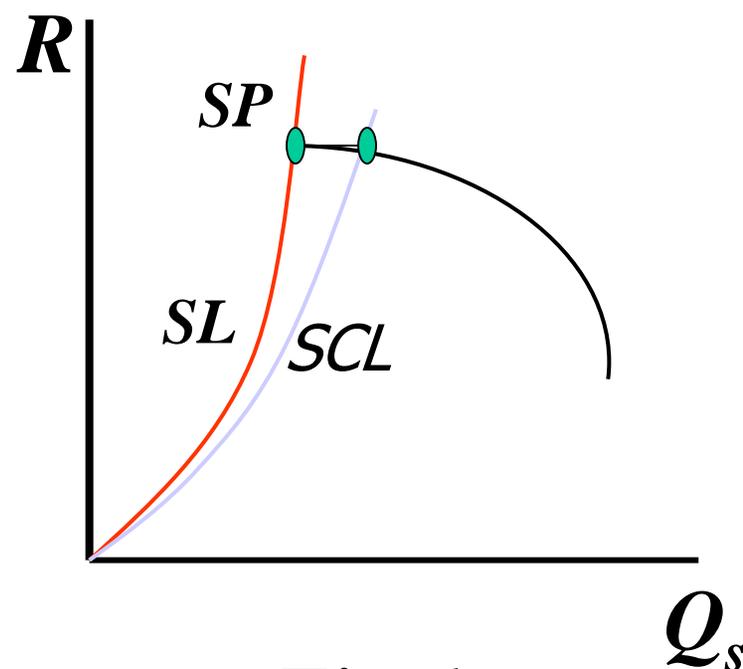


- Рабочая точка двигателя движется вдоль более крутой части характеристики в сторону помпажа медленно из-за относительно медленного нарастания давления.
- Чем меньше крутизна характеристики, тем меньшее повышение давления перемещает рабочую точку к помпажу.



*Fig.5*

- В общем случае рабочая точка ускоряется при своем движении к помпажу вдоль линии постоянной скорости, так как крутизна характеристики при этом уменьшается.



*Fig.6*



- **Изменение скорости вращения только увеличивает это ускорение, так как рабочая точка перемещается от более крутой части одной характеристики к более пологой части другой.**
- **ССС создал несколько очень эффективных алгоритмов, способных обеспечить надёжное противопомпажное регулирование даже при наличии упомянутого ускорения.**

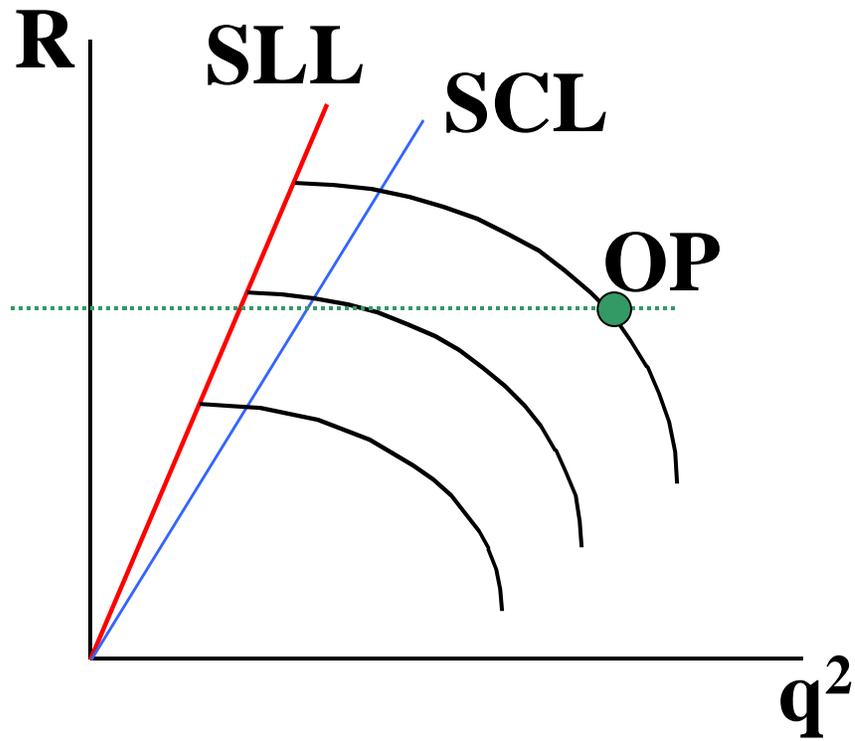


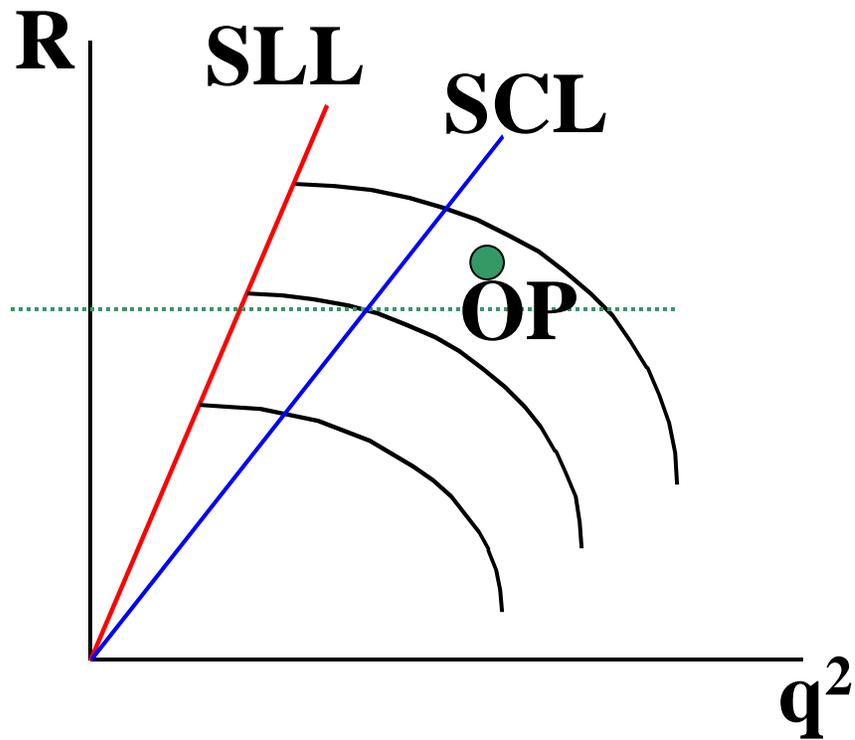
# ***I. "DYNAMIC SAFE MARGIN"***

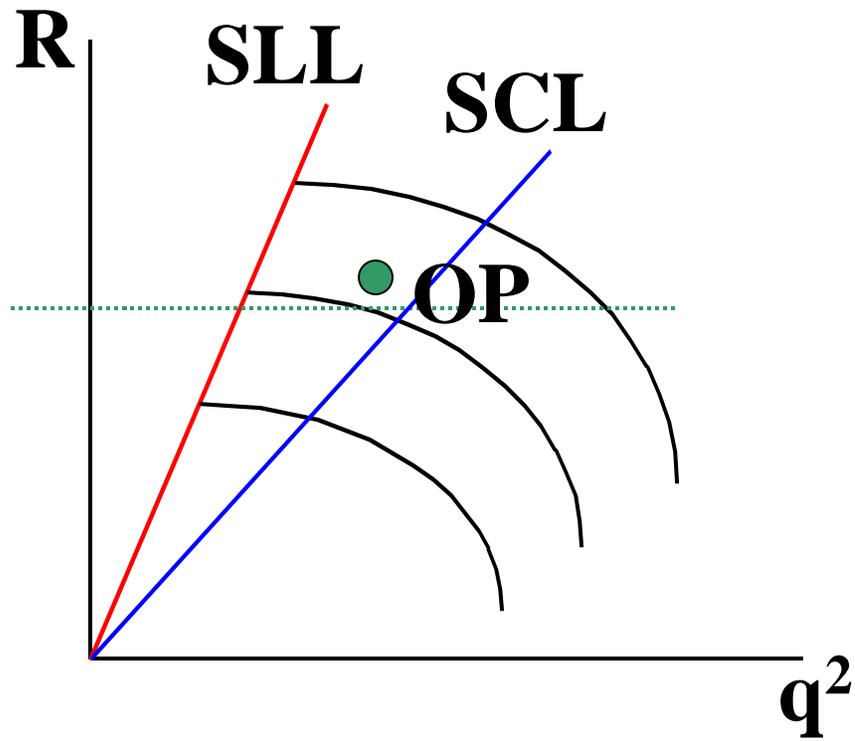
- Этот алгоритм временно увеличивает Запас Линии Настройки Противопомпажного Регулирования по отношению к Помпажу при ускоренном перемещении рабочей точки.
- Обеспечивается это делением расстояния  $b$  на две составляющие : постоянную  $b_{1,1}$  и переменную  $b_{1,2}$ .
- Постоянная составляющая  $b_{1,1}$  это безопасное расстояние между линиями настройки противопомпажного регулирования и помпажа на всех установившихся режимах.

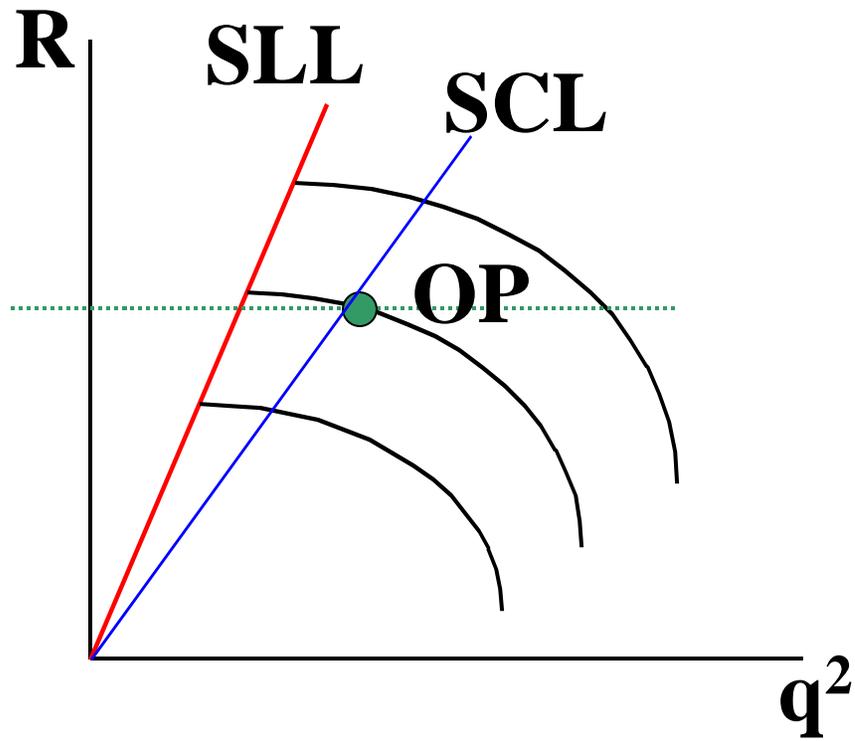


- Составляющая  $b_{1,2}$  равна 0 на всех установившихся режимах.
- Она быстро увеличивается пропорционально ускорению при движении рабочей точки к помпажу.
- А после того, как рабочая точка меняет направление движения, опять медленно уменьшается до 0.
- Временное увеличение запаса до помпажа при больших или быстрых возмущениях позволяет устанавливать значительно меньший запас на установившихся режимах, сохраняя при этом безопасность агрегата.











## ***II. Комбинация Замокнутого и Разомкнутого Контуров Регулирования***

- Если изначально рабочая точка уже находится близко к помпажу, одного динамического увеличения запаса до помпажа может оказаться недостаточно, чтобы его предотвратить.
- Для этих случаев ССС разработал специальный алгоритм “Recycle Trip” - комбинацию действий замкнутого и разомкнутого контуров регулирования.



- Отклонение рабочей точки влево от так называемой линии “Recycle Trip” вызывает следующую последовательность операций:

**А) Выходной сигнал контура противопомпажного регулирования скачкообразно увеличивается на величину  $C1$ , пропорциональную скорости приближения к помпажу.**

**В) Скачкообразное увеличение выходного сигнала продолжается через каждый интервал времени  $C2$ , пока скорость приближения к помпажу не упадёт до 0.**

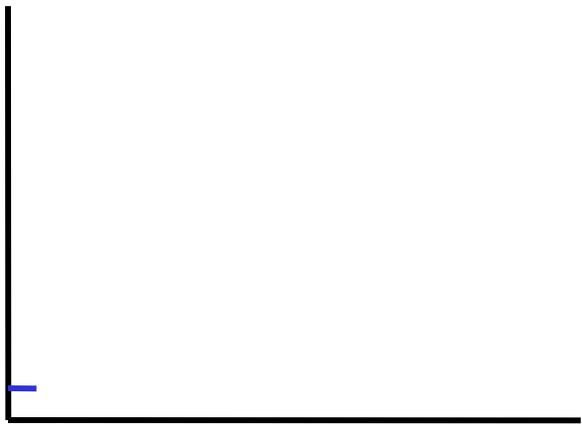


- С) Рабочая точка меняет направление движения и пересекает Линию настройки контура противоположного регулирования слева направо.**
- Д) Суммарное скачкообразное изменение выходного сигнала контура противоположного регулирования медленно уменьшается до 0, а рабочая точка перемещается на линию настройки этого контура.**
- **“Recycle Trip Line” неподвижна при ускоренном движении рабочей точки к помпажу. Её уравнение:**

$$S_{RT} = S_s - b_{1.1} + RT$$

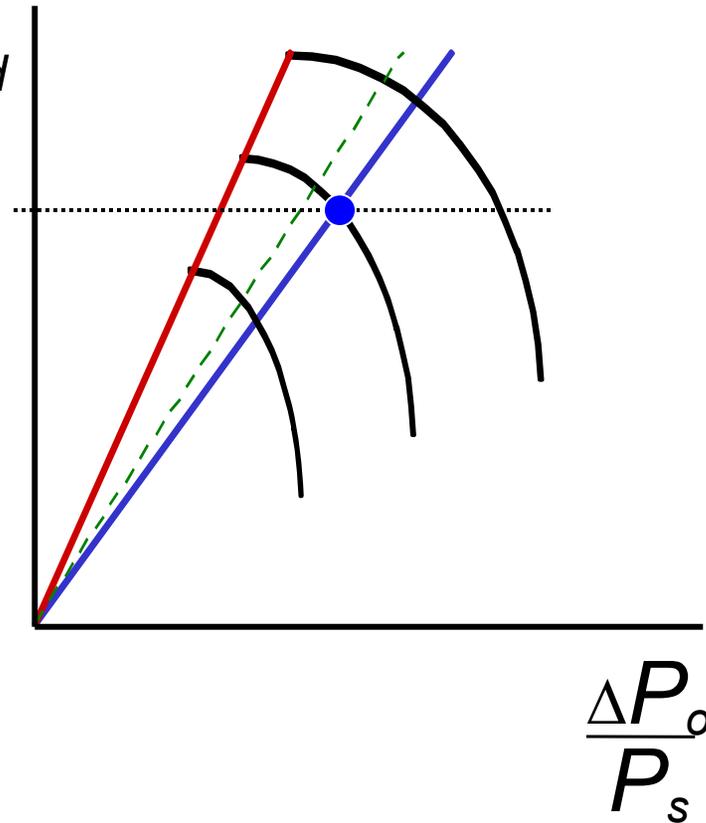


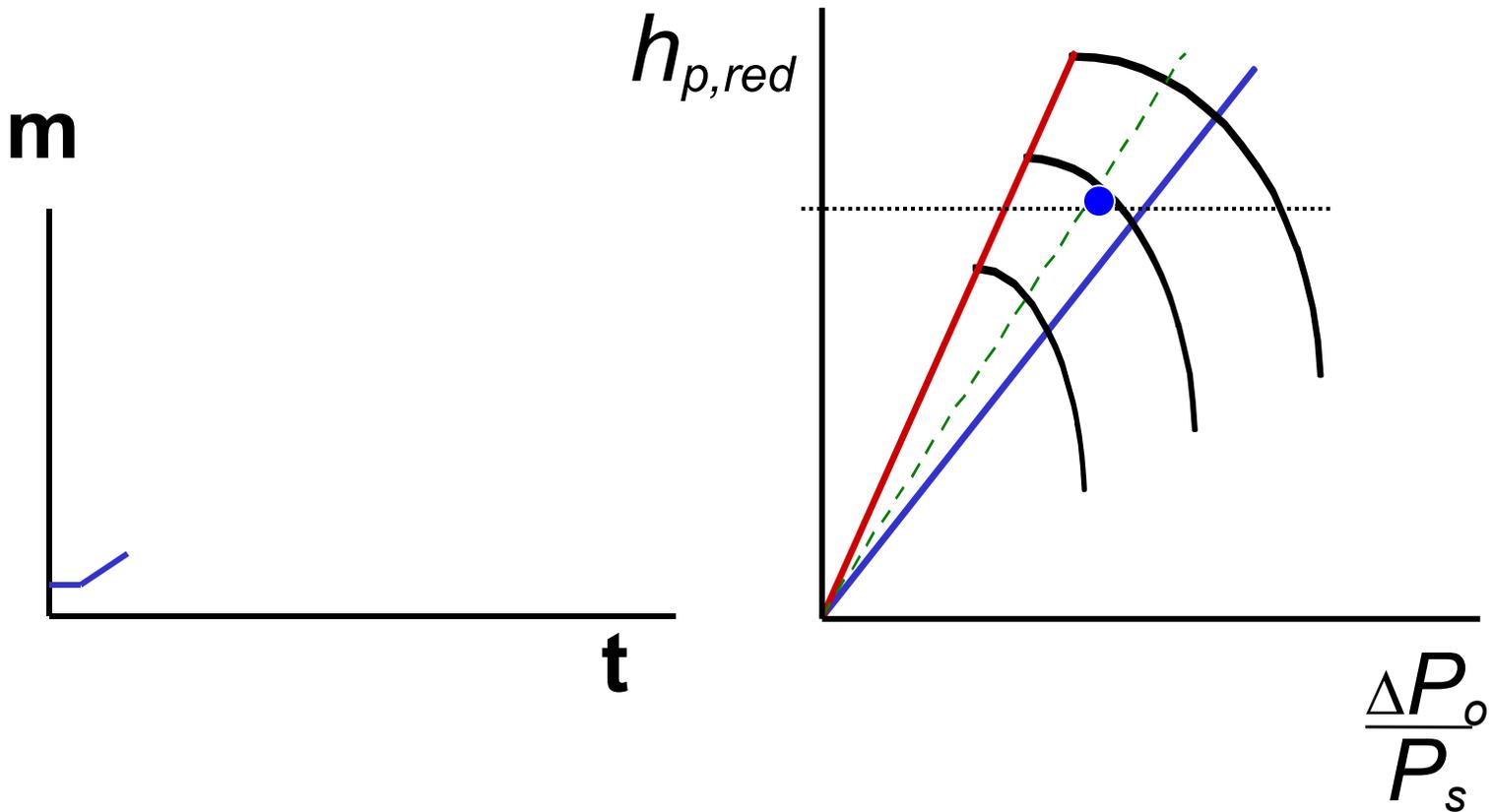
m

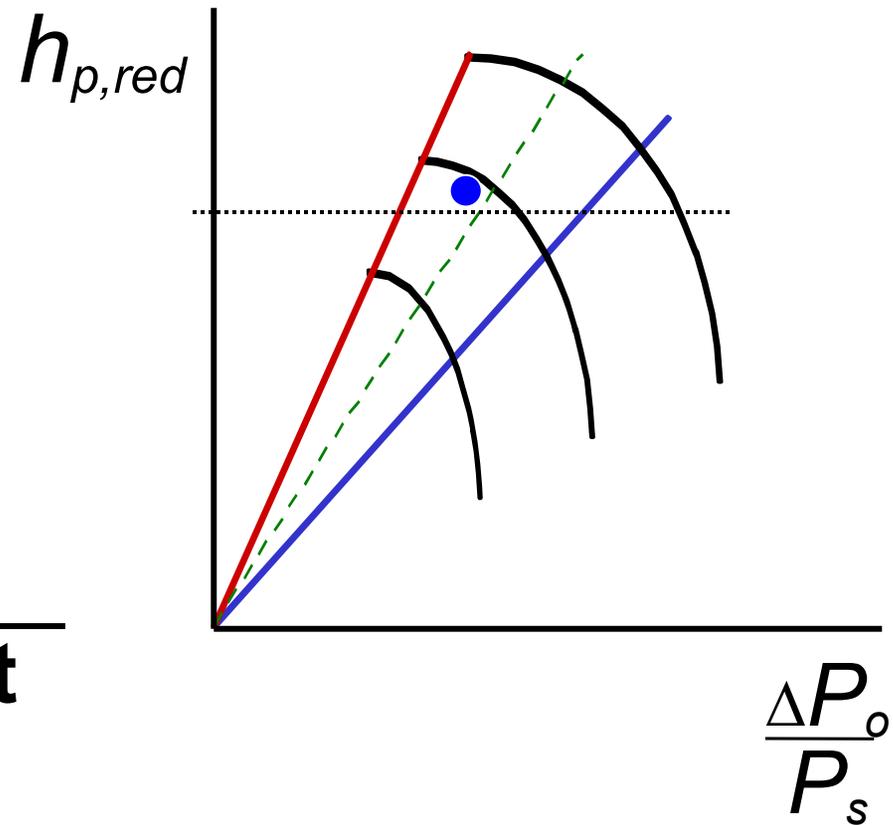
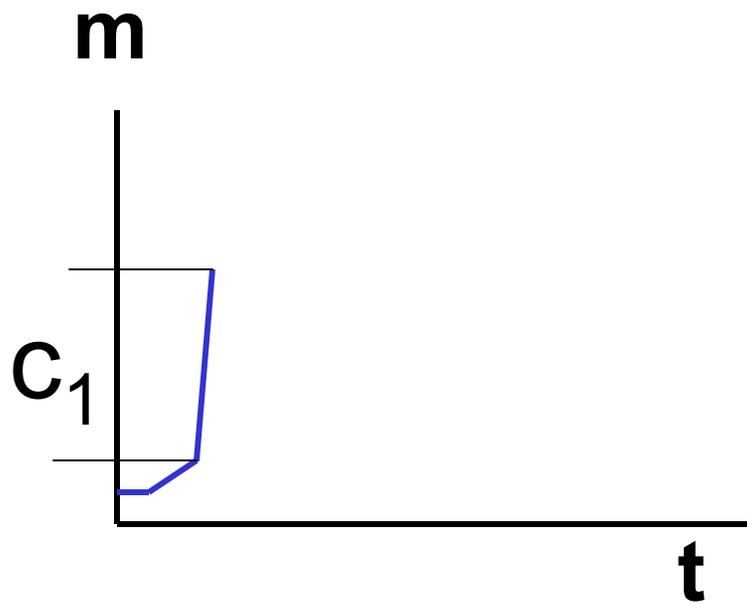


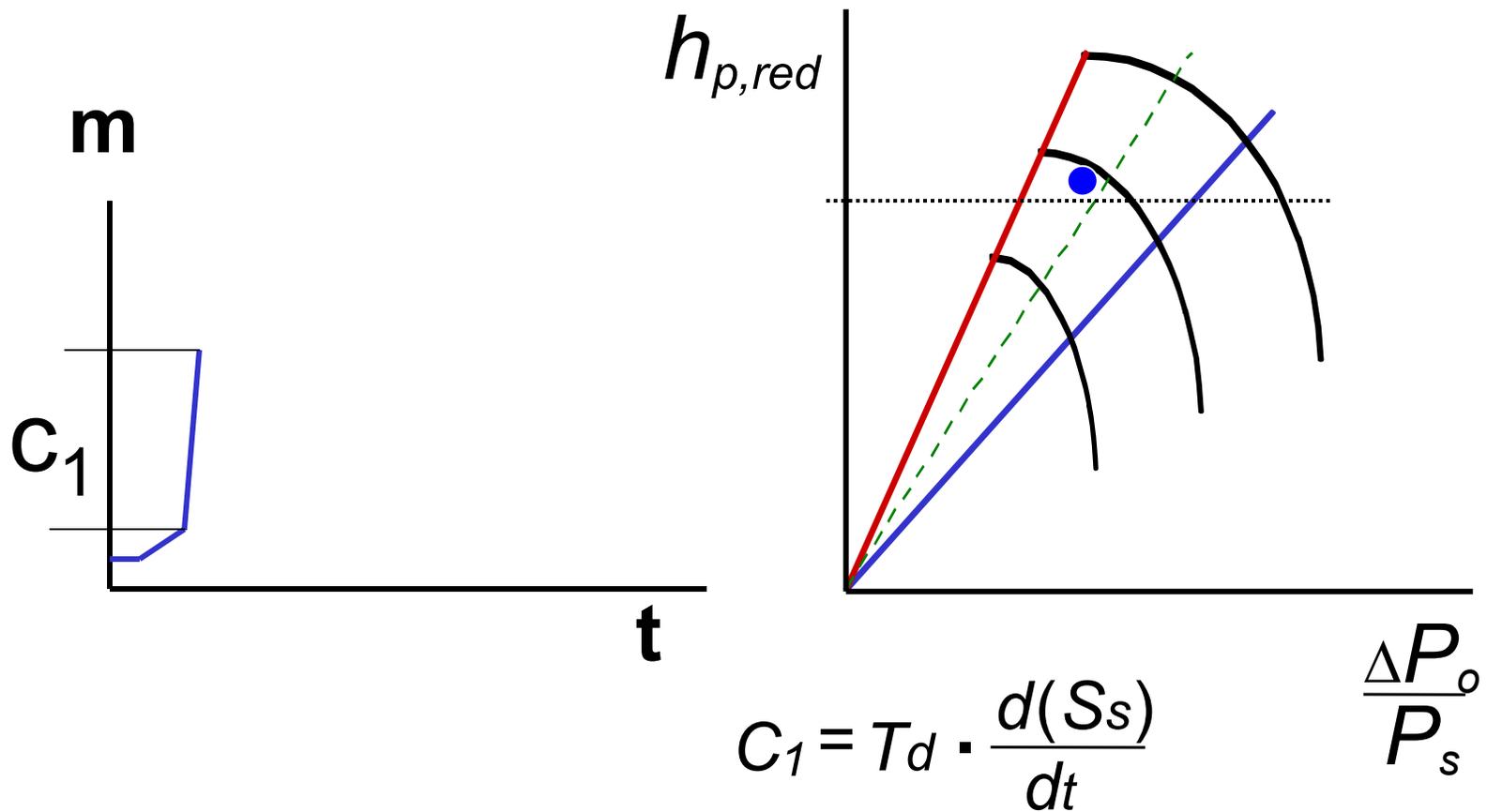
t

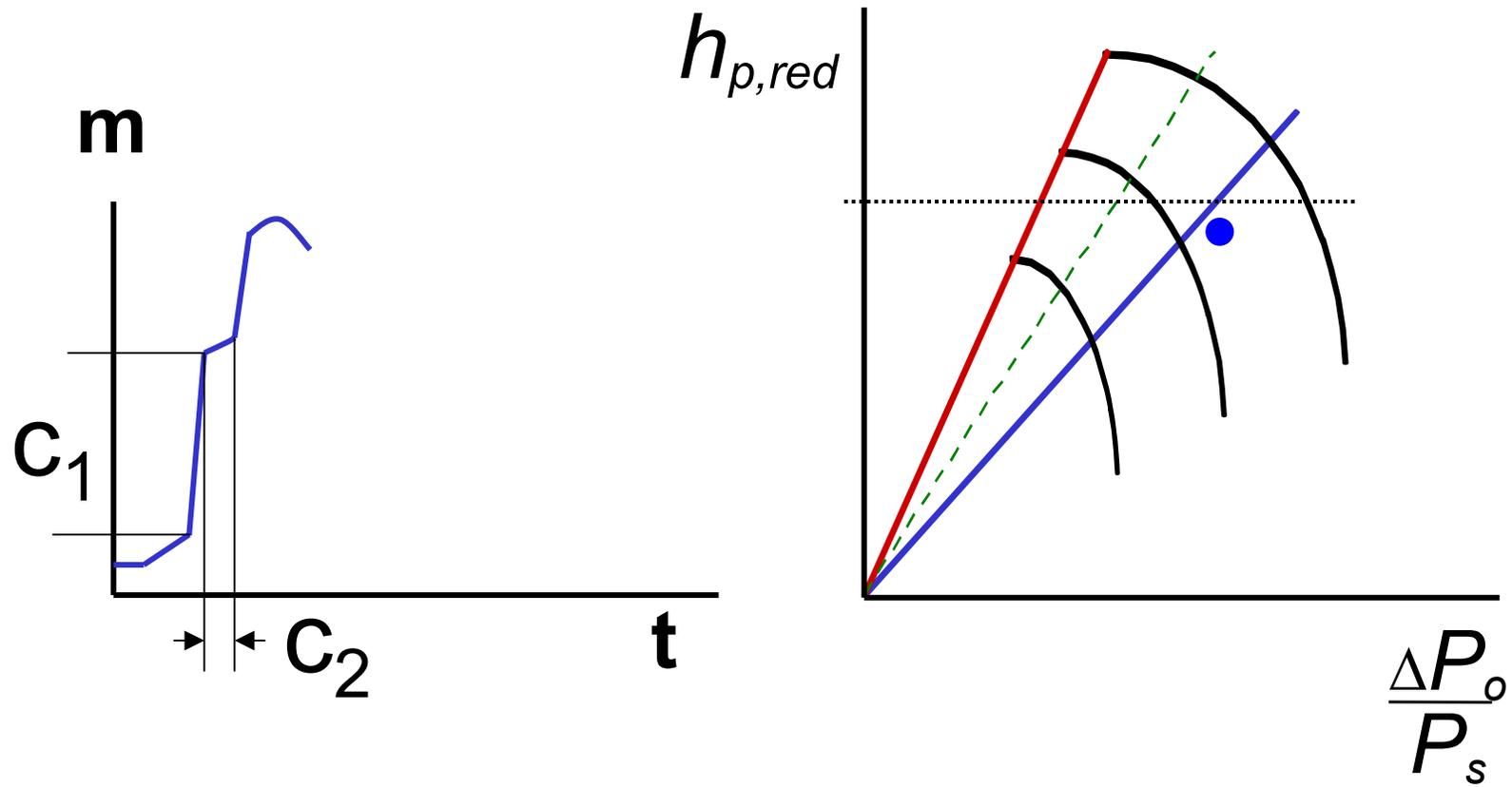
$h_{p,red}$

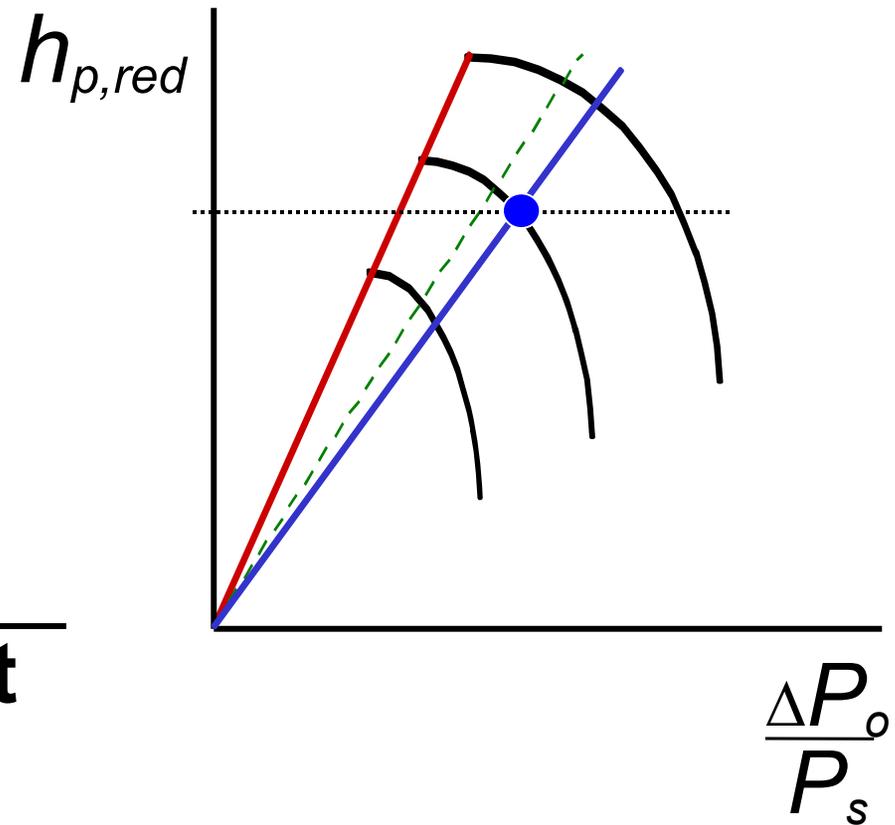
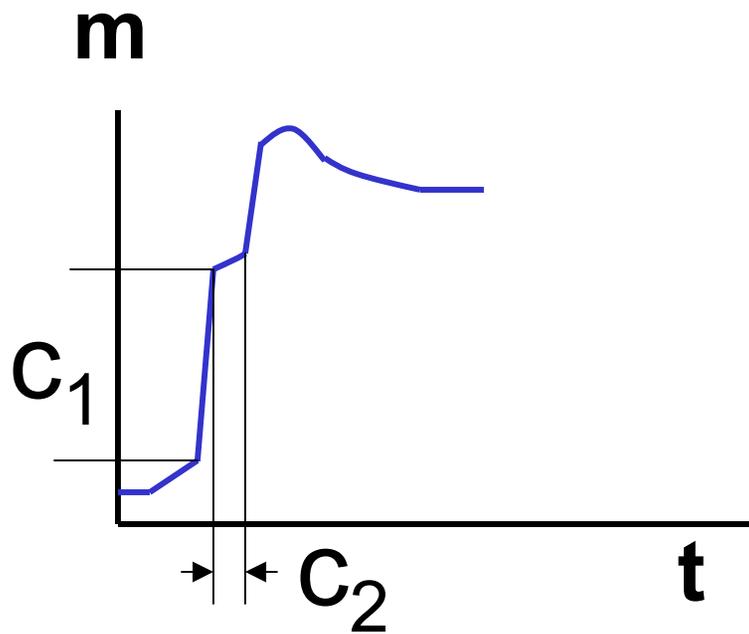








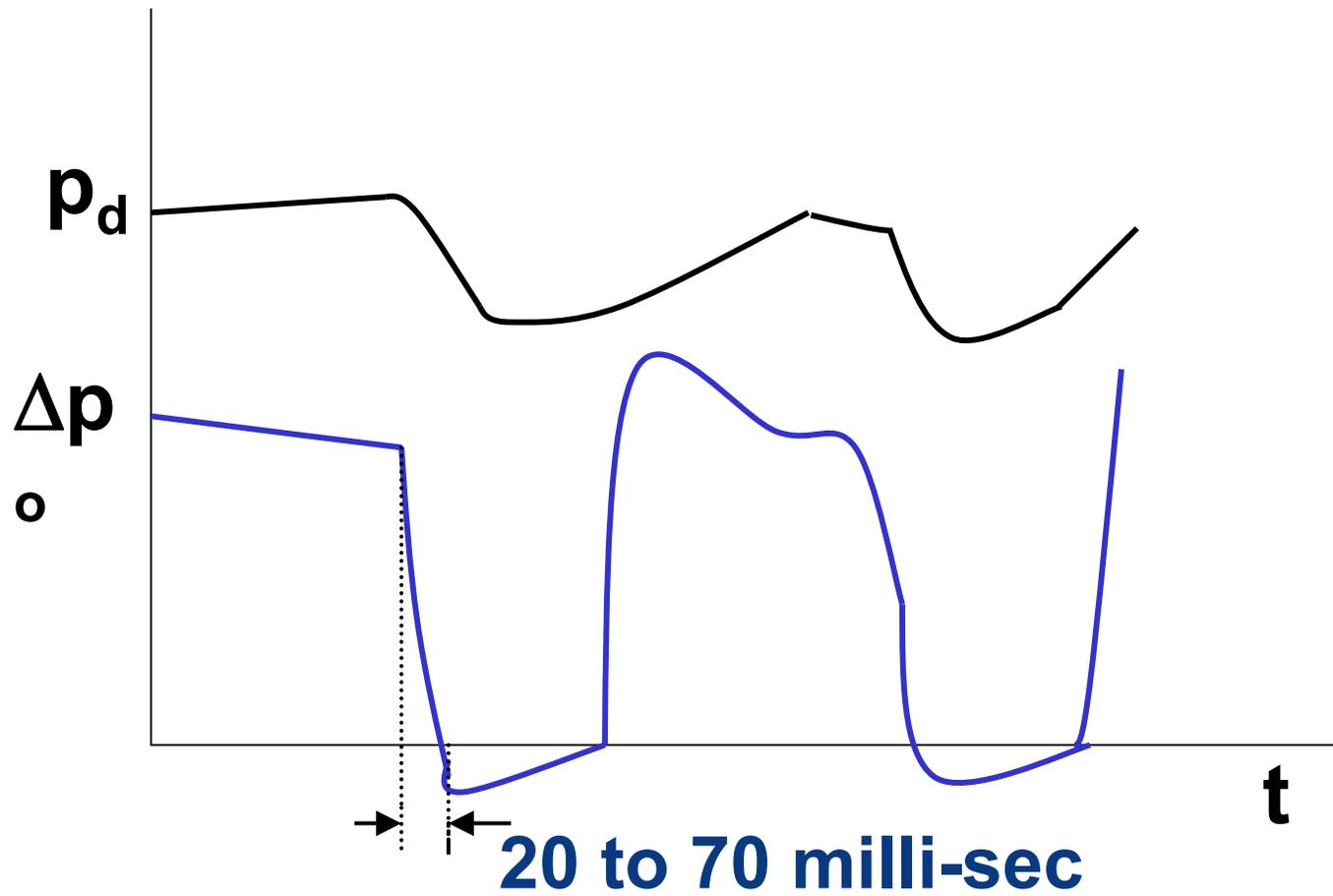






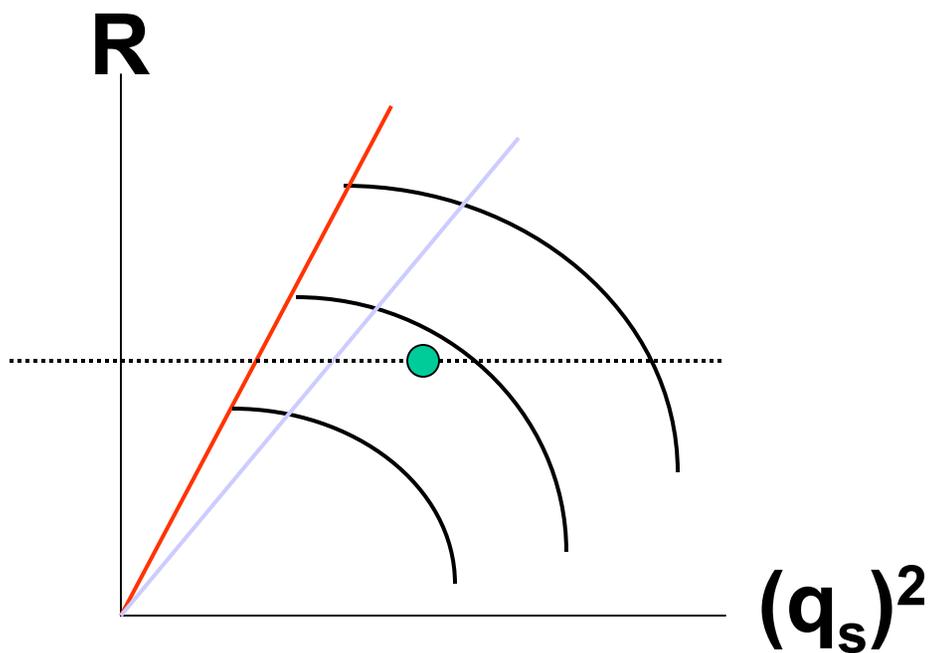
## ***III. "SAFTY ON"***

- При неправильном выборе составляющей  $b_{1,1}$  или вследствие неисправности противопомпажного клапана компрессор всё-таки может помпажировать.
- Для обнаружения помпажа ССС применяет специальный детектор помпажа.
- Каждый раз, когда детектор определяет помпажный цикл, "Safety On" алгоритм увеличивает расстояние  $b_{1,1}$  на величину  $b_2$ , двигая как линию настройки, так и "Recycle Trip Line"
- Детектор Помпажа использует так называемое "surge signature", полученное во время помпажного теста.
- Во время этого теста определяются скорости падения расхода и давления.
- Задания на срабатывание детектора устанавливаются более консервативными, чем действительные скорости.



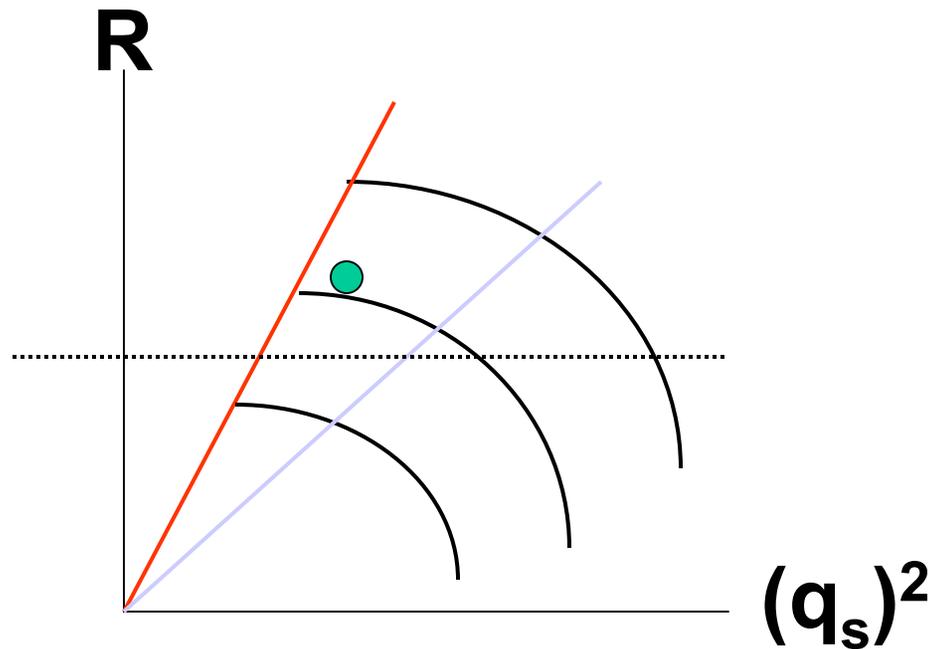


# "Safety On"



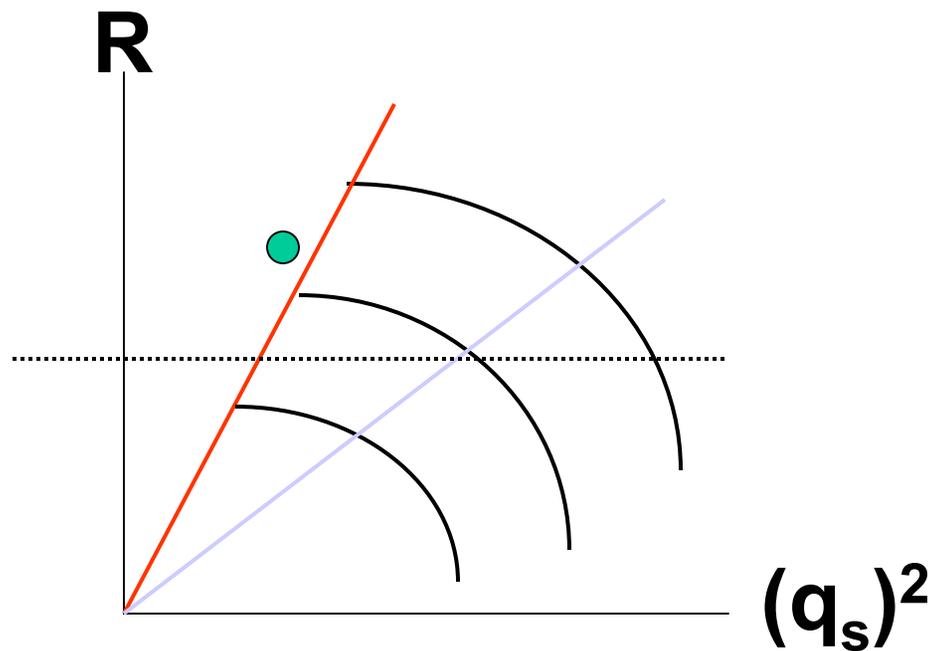


# "Safety On"



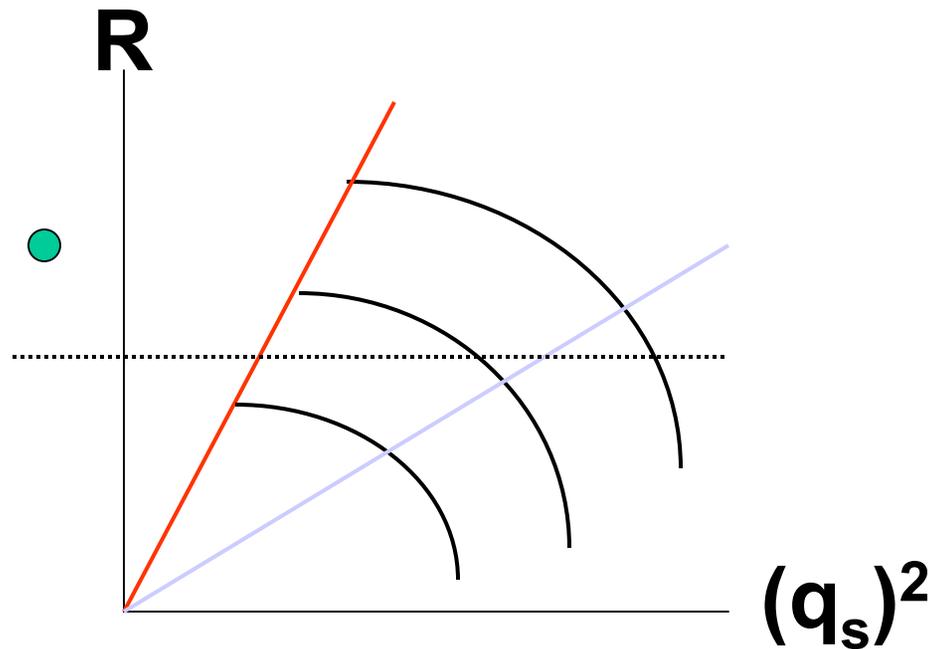


# "Safety On"



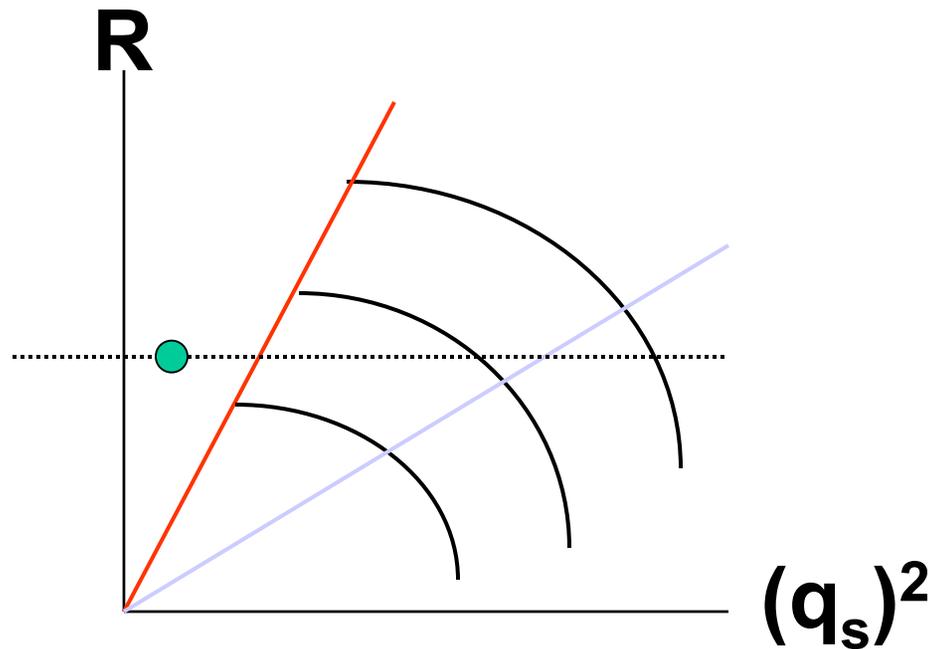


# "Safety On"



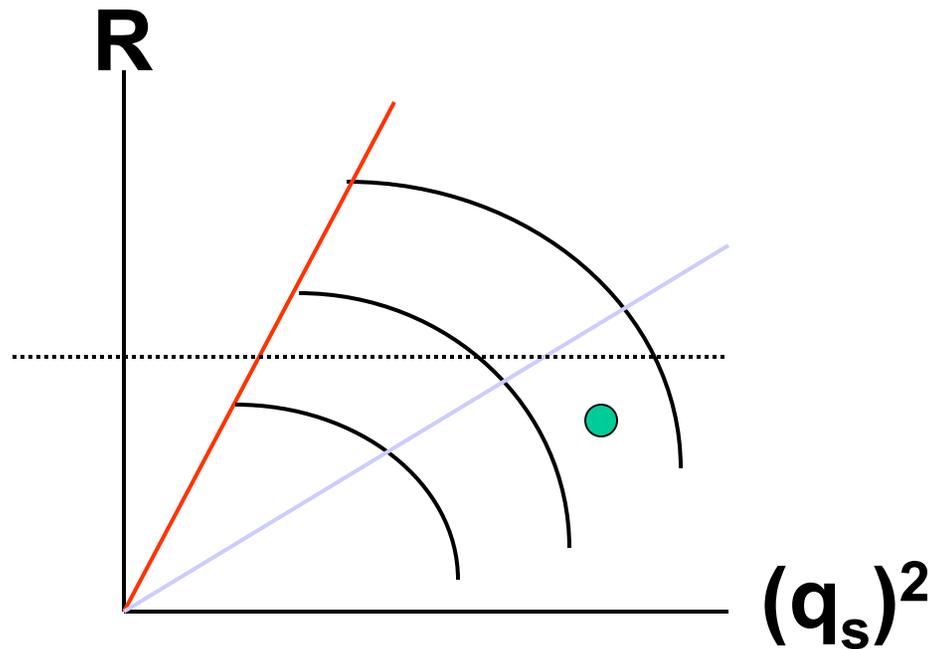


# "Safety On"



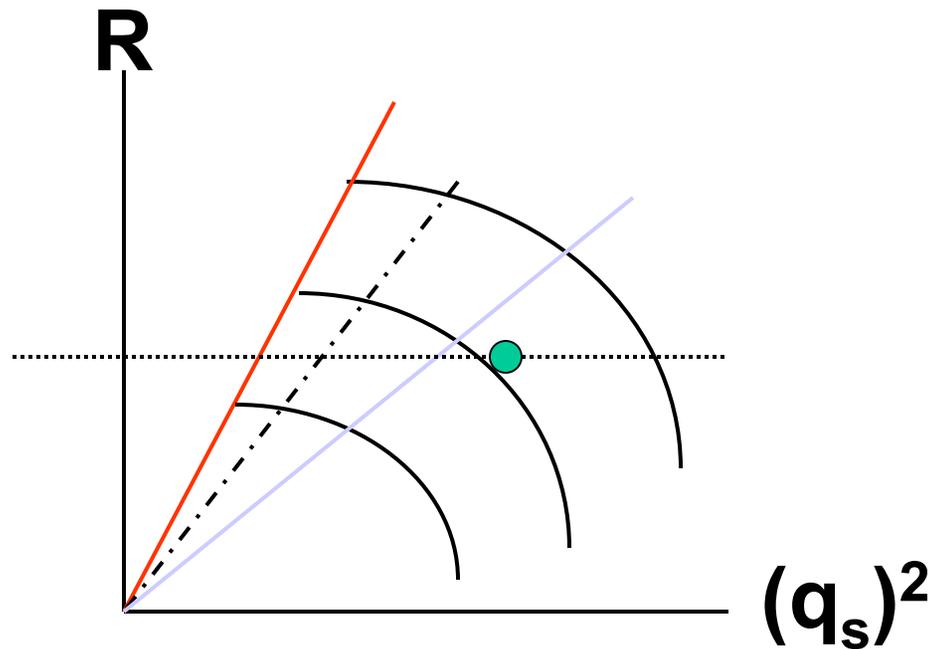


# "Safety On"



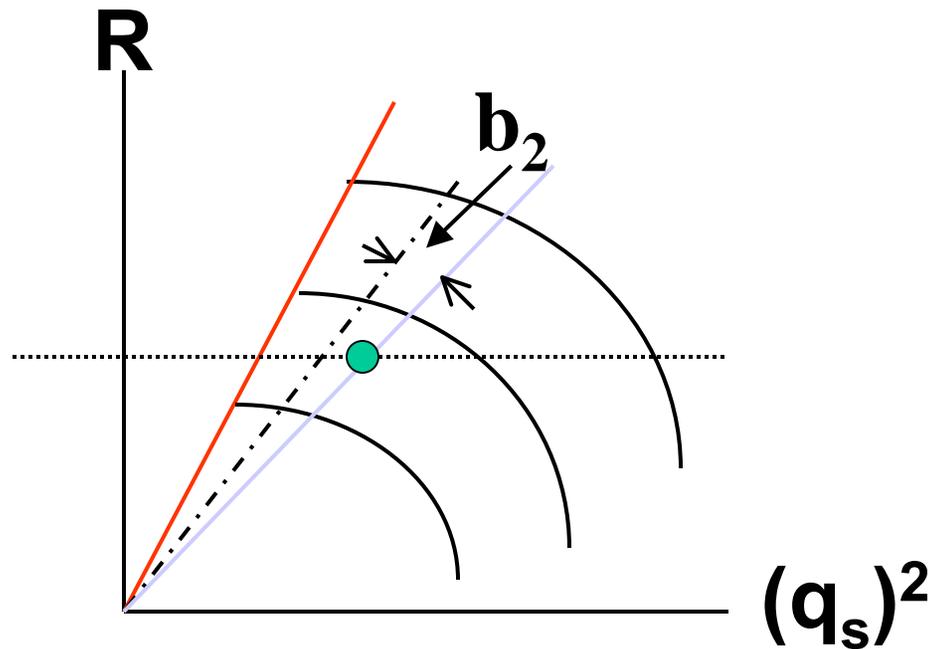


# "Safety On"

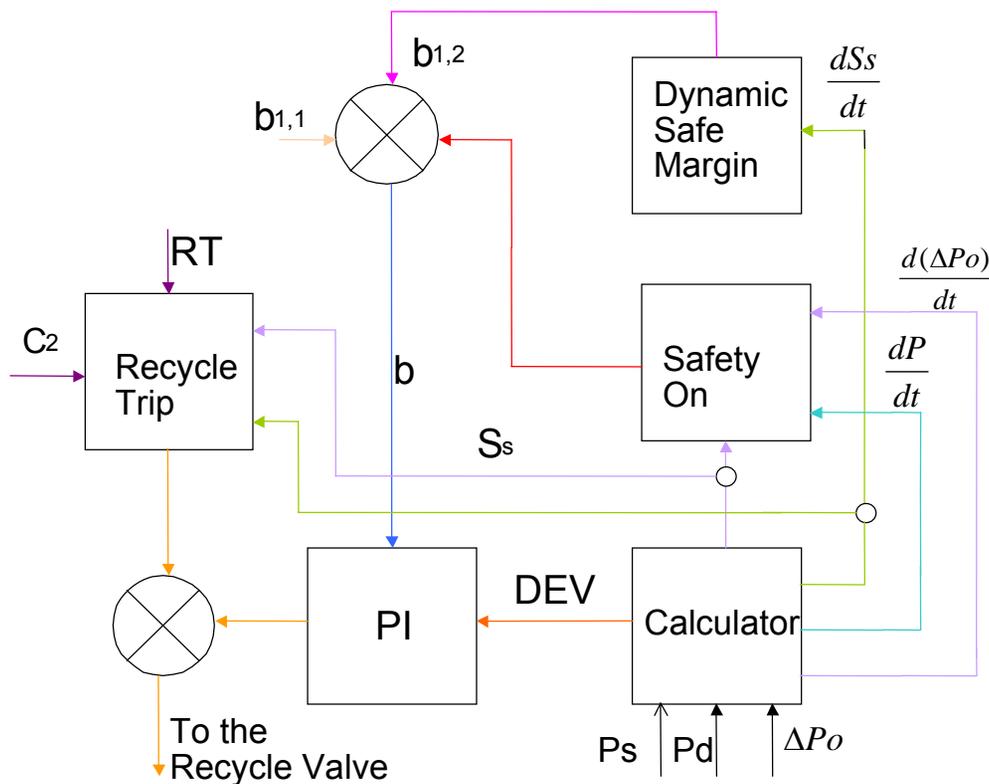




# "Safety On"



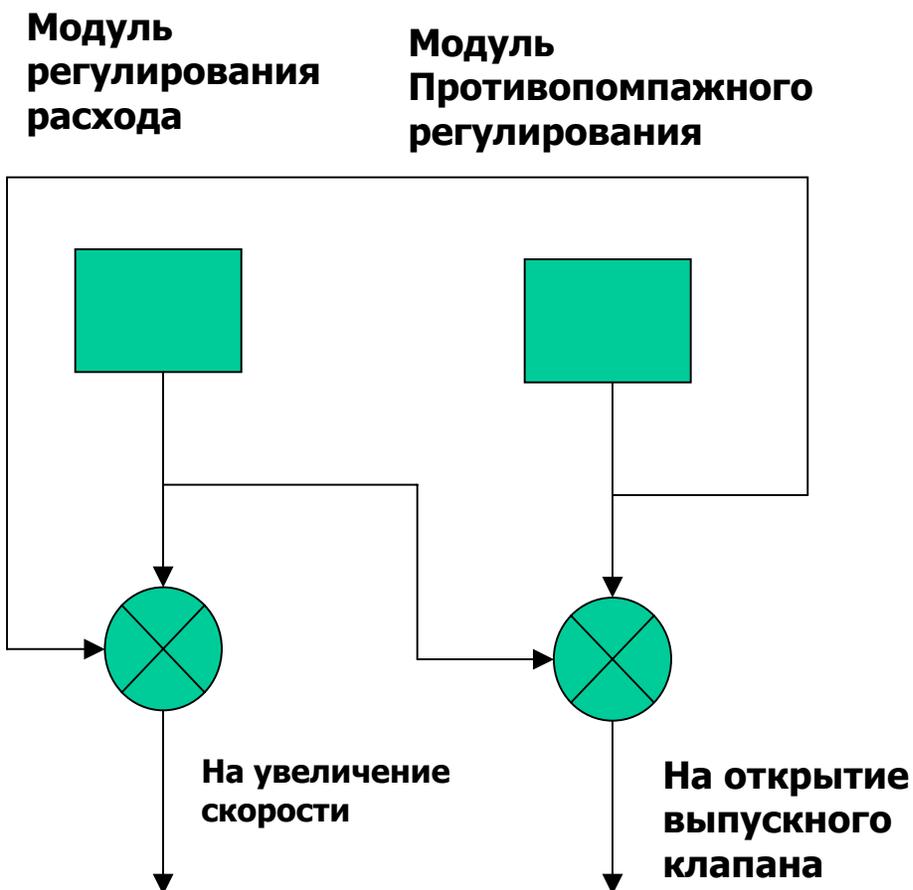
- На этом слайде представлена Блок-Схема Модуля Противопомпажного Регулирования с алгоритмами “*Dynamic Safe Margin*”, “*Recycle Trip*” и “*Safety On*”.

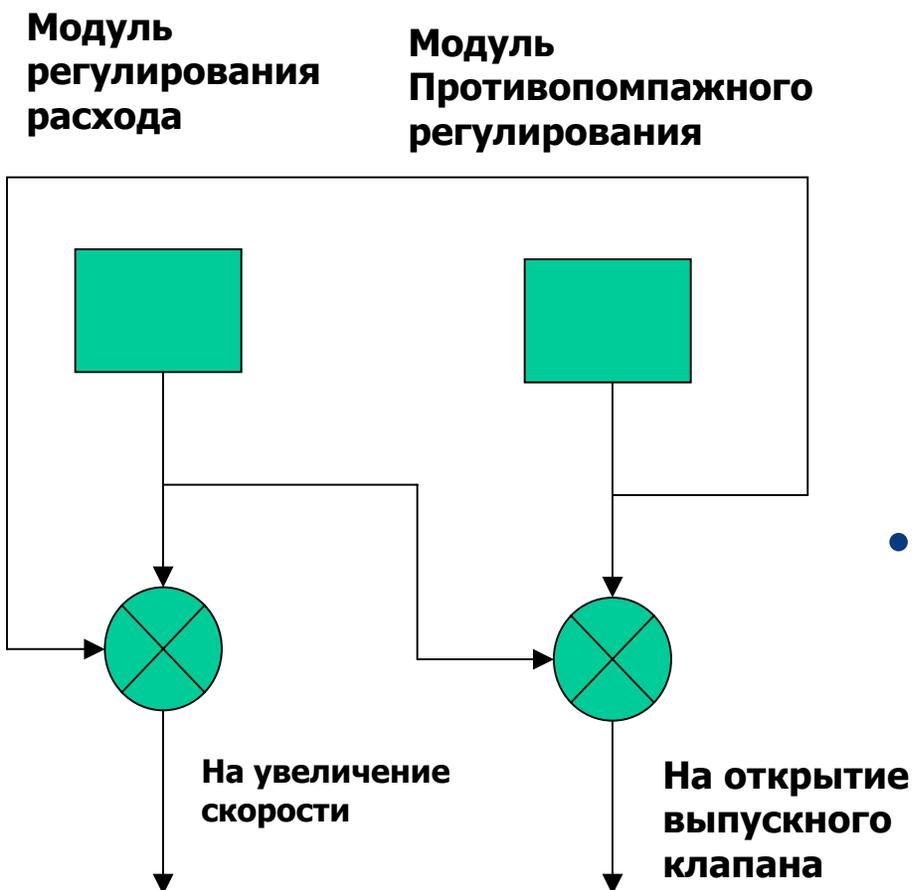




## VI. DECOUPLING

- Важным средством улучшения качества регулирования в САР ССС является интегрирование всех модулей регулирования в единую систему, предотвращающую отрицательное взаимовлияние этих модулей.



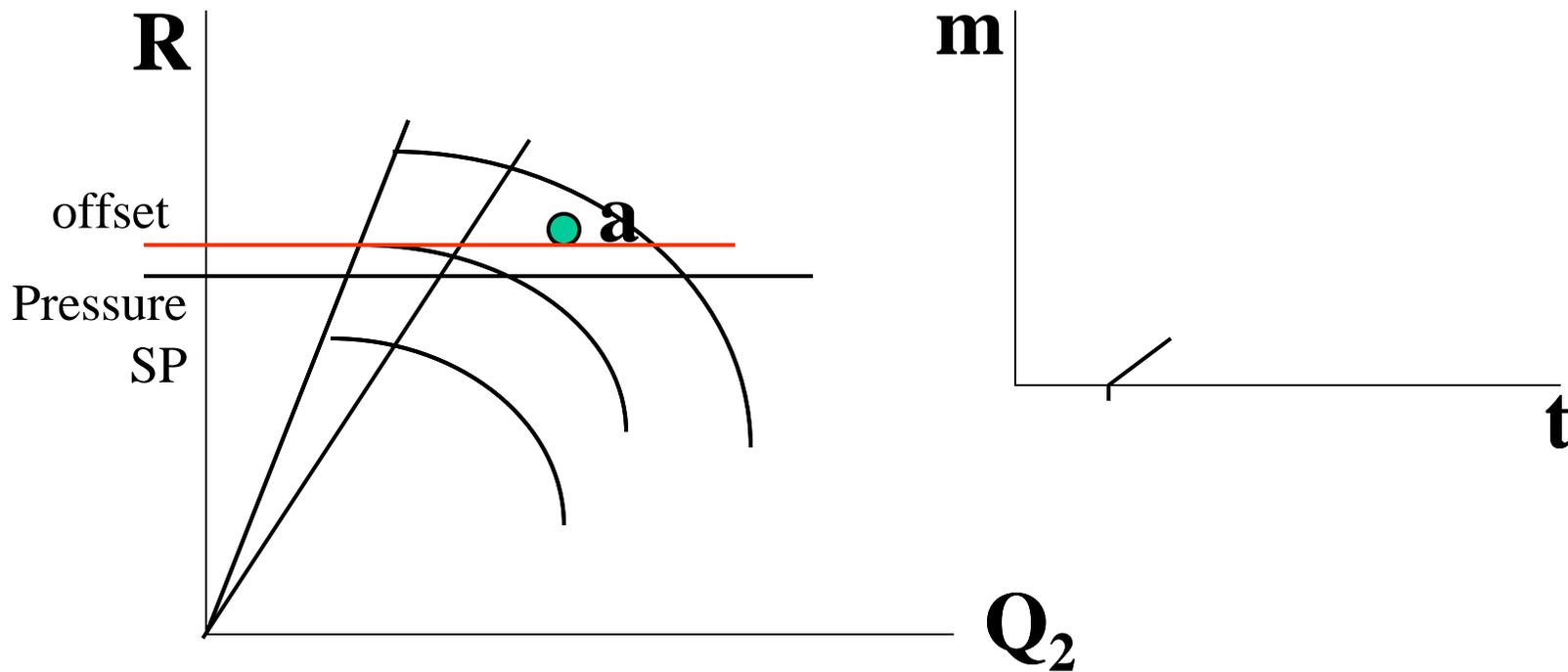


- Так, открывая выпускной клапан в системе регулирования количества, модуль противопомпажного регулирования посылает сигнал на увеличение скорости и наоборот.
- В многосекционных агрегатах контуры противопомпажного регулирования связаны между собой, и т.д.

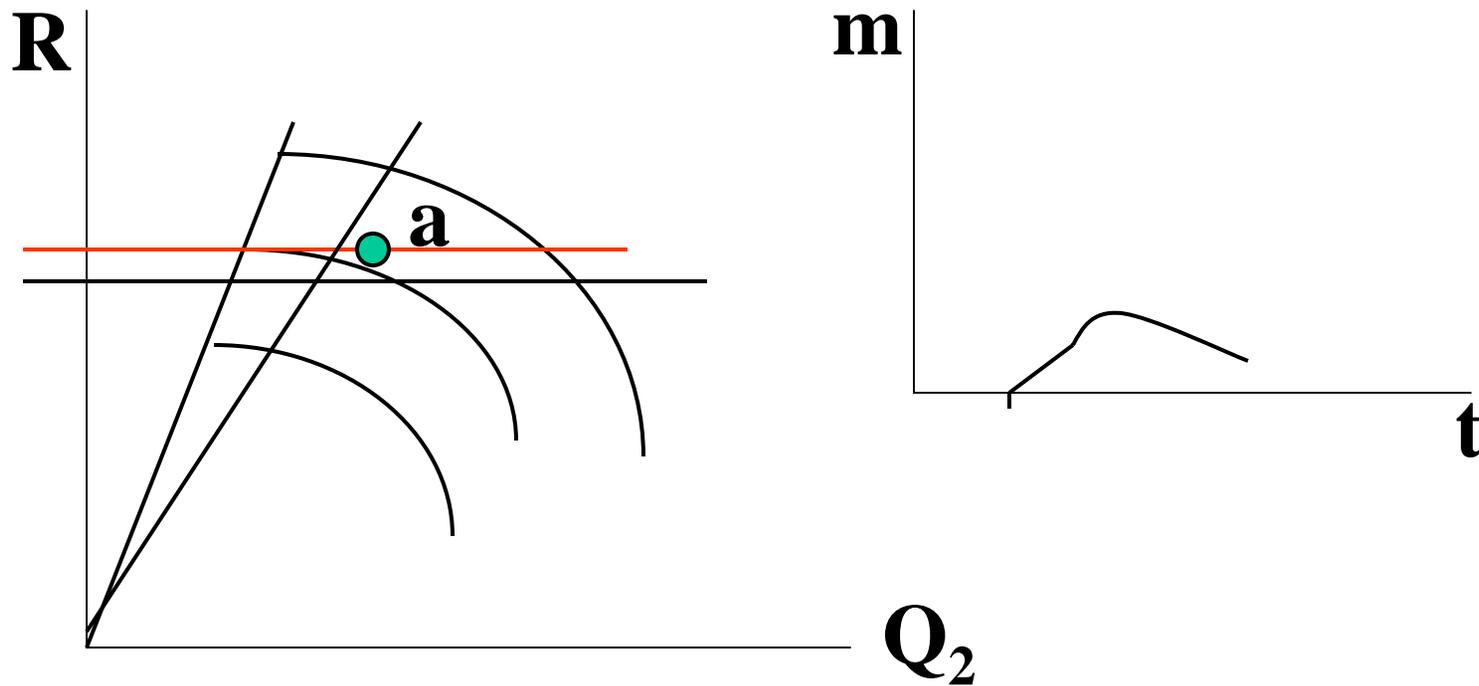


## ***IV. РОС***

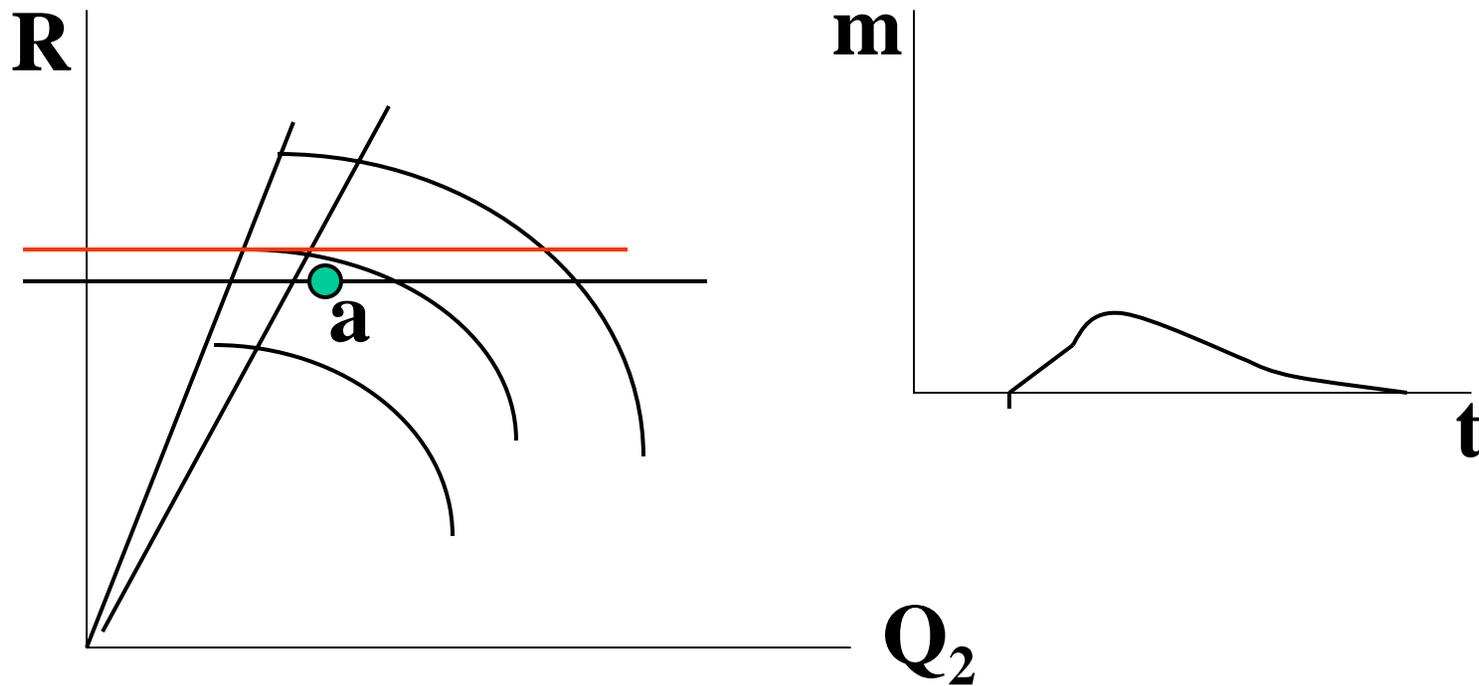
- **ССС использует антипомпажные клапаны для динамического ограничения забросов давления или степени сжатия.**
- **Для этой цели СССР разработал специальные алгоритмы РОС.**
- **При параллельной работе задание стационарному контуру РОС выше стационарного задания по давлению или степени сжатия.**
- **Стационарный РОС открывает выпускные (перепускные) клапаны агрегатов, когда превышение давления или степени сжатия превосходит его задание.**



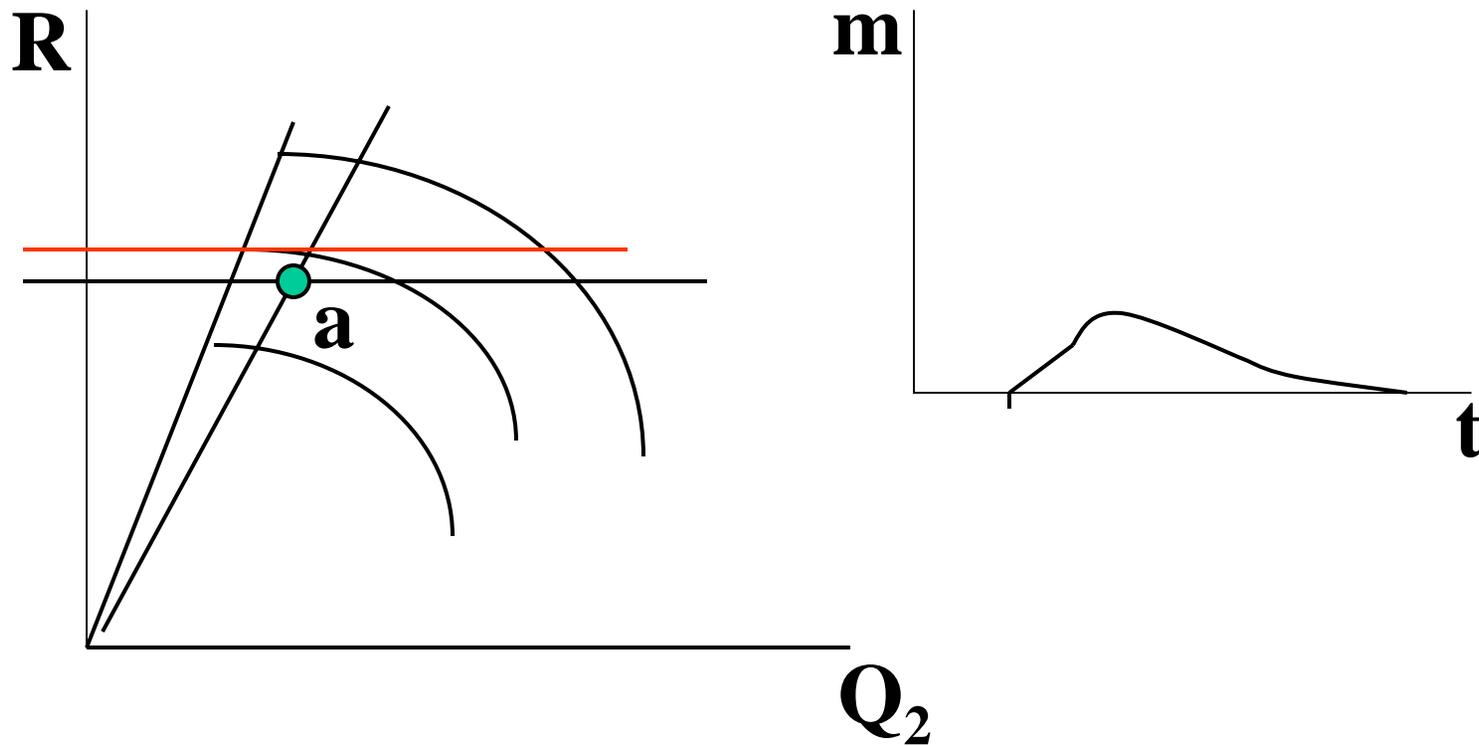
## m-opening of AS valve



## m-opening of AS valve

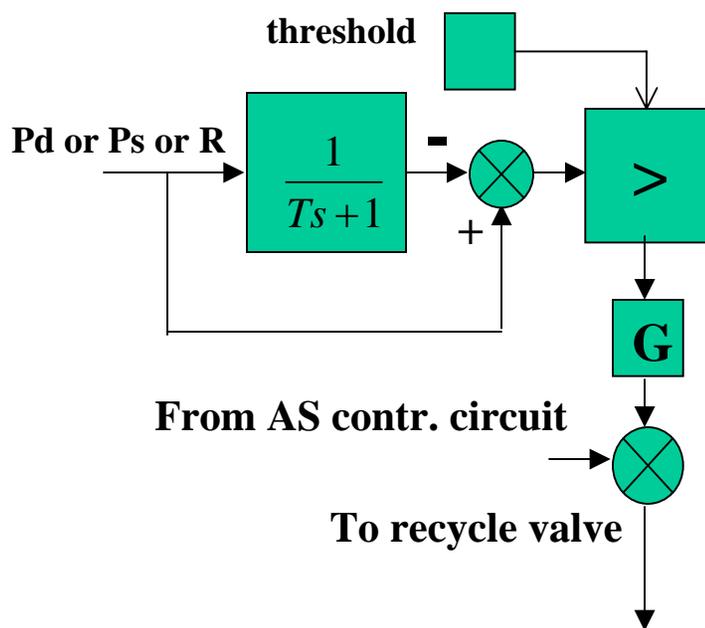


## m-opening of AS valve

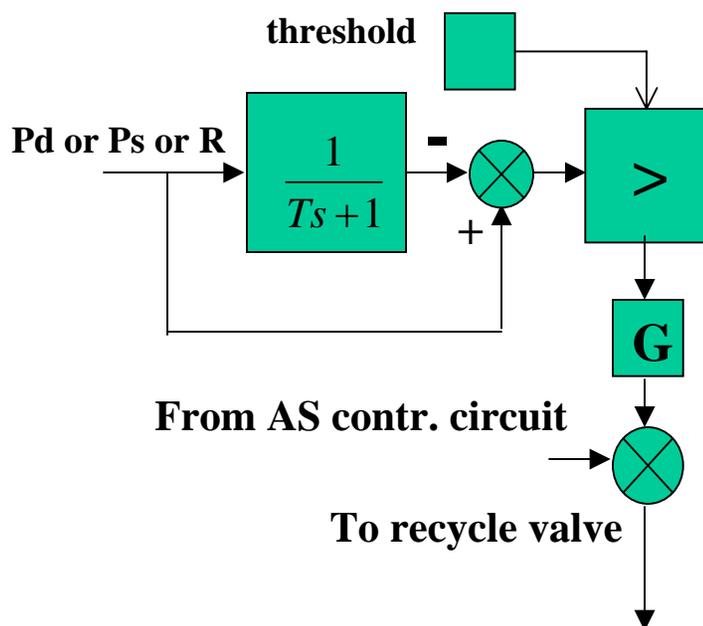


## m-opening of AS valve

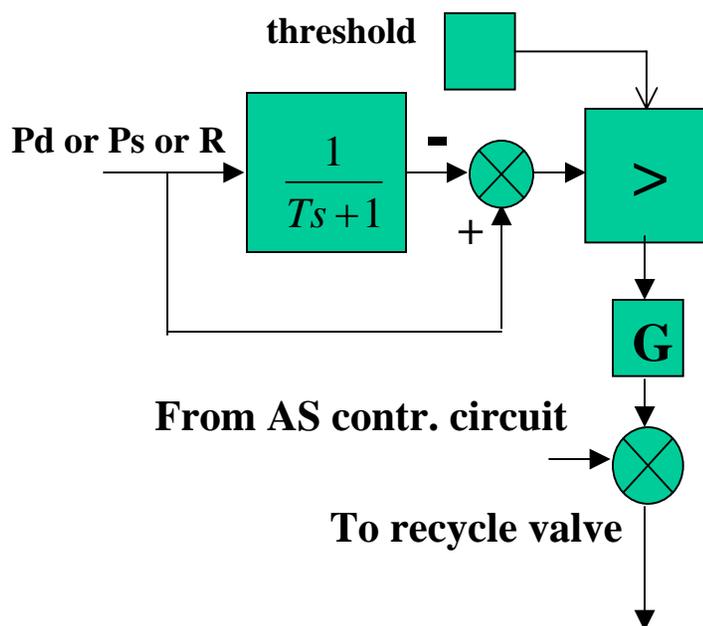
# POC "Predictor"



- В дополнение к POC так называемые POC Predictors также используются для повышения эффективности противопомпажного регулирования.
- Каждый Predictor использует скорость изменения давления или степени сжатия для открытия противопомпажного клапана.



- В предикторе ограничиваемый сигнал проходит через фильтр первого порядка с установленной заранее постоянной времени, а затем сравнивается с неотфильтрованной величиной этого сигнала.



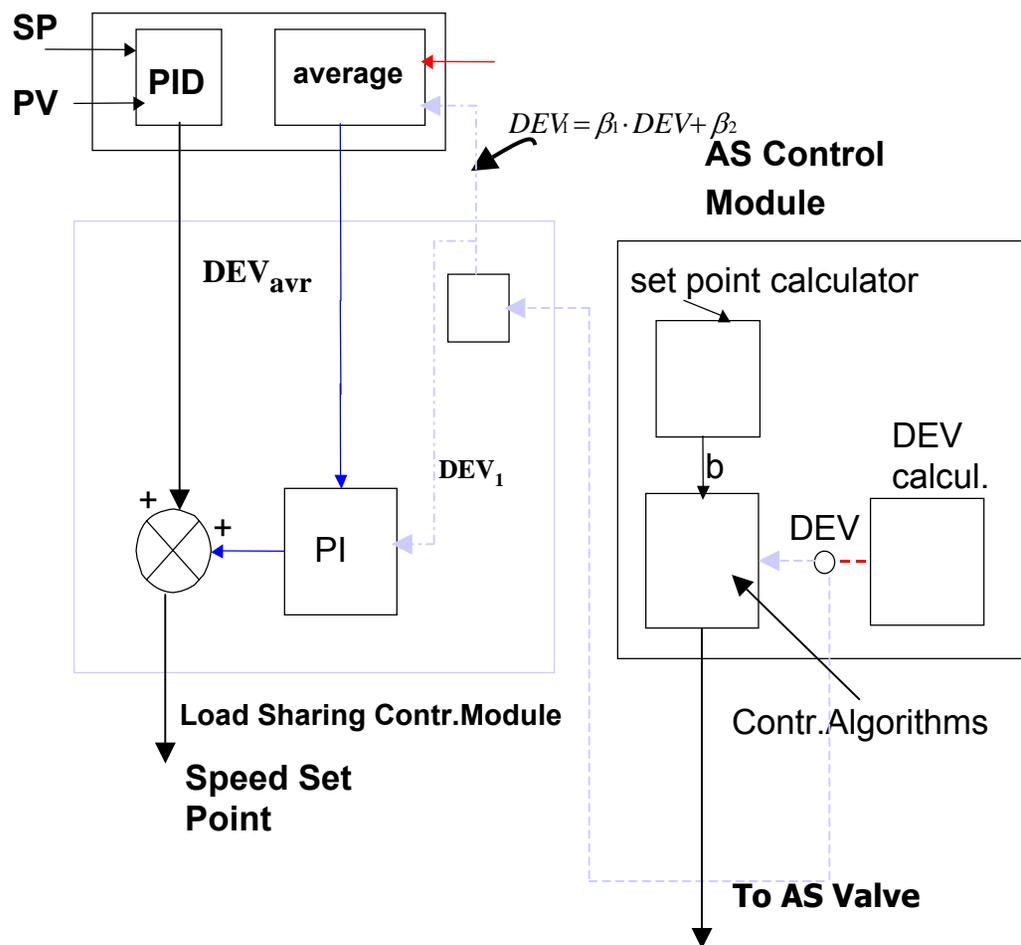
- Если разность отфильтрованного и неотфильтрованного сигналов превышает задание («threshold»), она после масштабирования используется для открытия противопомпажного клапана.



## **V. ДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ**

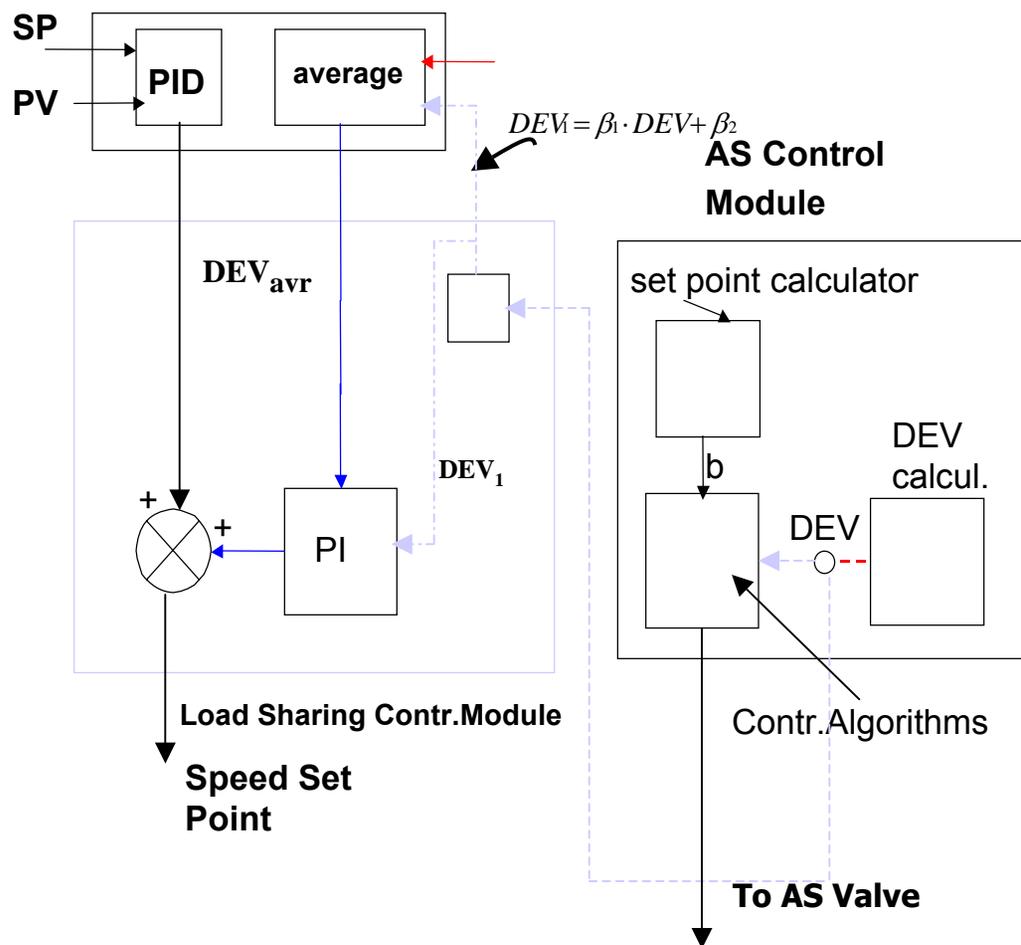
- **ССС ввел в практику уникальный подход к управлению станционной производительностью с целью поддержания на заданном уровне станционного давления или расхода.**
- **Согласно этому подходу Станционный Мастер меняет общую производительность станции, напрямую и косвенно, воздействуя на скорости вращения (или положения заслонок) и противопомпажные клапаны агрегатов.**

## Master Control Module



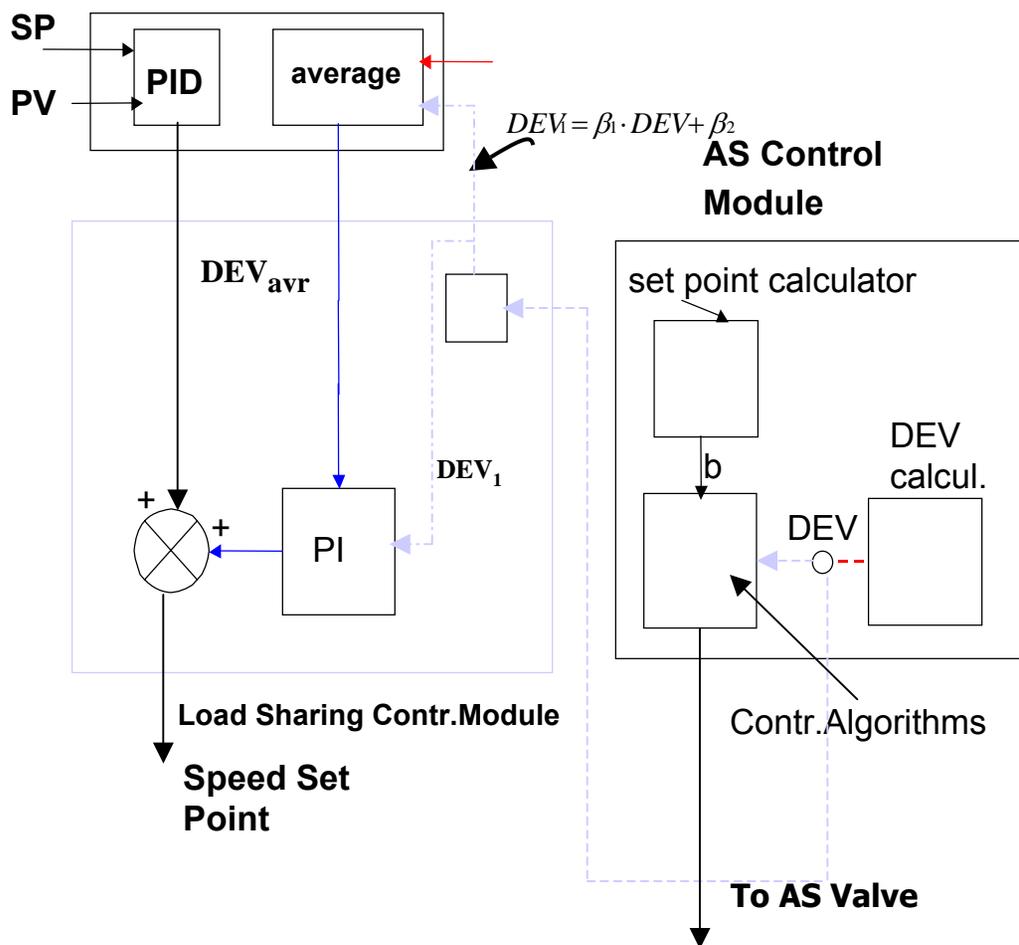
- **Станционный Мастер содержит при этом два модуля.**
- **Первый является PID контуром регулирования.**
- **Он обеспечивает регулирование главного технологического параметра (давления или расхода).**

## Master Control Module



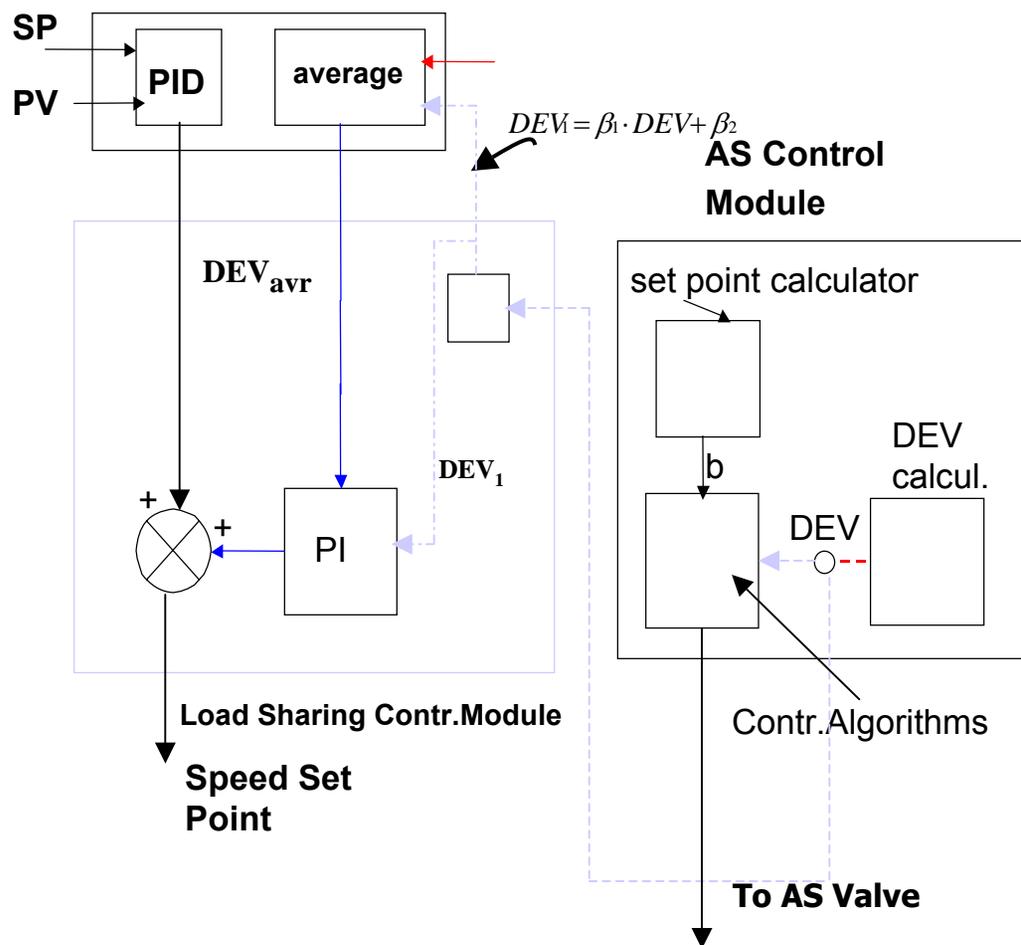
- Второй является вычислительным модулем.
- Он вычисляет среднее нормализованное расстояние рабочих точек агрегатов от соответствующих линий настроек противопомпажно о регулирования.

### Master Control Module



- Мастер получает эти расстояния от Модулей противопопашного регулирования агрегатов.
- Вычисленное среднее расстояние является заданием для всех PI модулей деления нагрузки отдельных агрегатов.

## Master Control Module



- **Выходы Модулей деления нагрузки управляют скоростями (или заслонками) отдельных агрегатов и их противоположными клапанами.**
- **Каждый модуль деления нагрузки добавляет свой выходной сигнал к выходу PID части Станционного Мастера.**



# **Регулирование приводной паровой турбины**

- Точное и эффективное регулирование частоты вращения паровой приводной турбины является фактором надёжности и точности регулирования всего турбокомпрессорного агрегата.
- В настоящее время каждая паровая турбина, приводящая во вращение компрессор, управляется в зоне безопасной работы непосредственно регулятором основного регулируемого параметра компримируемого компрессором газа.
- Это либо расход газа через компрессор, либо давление газа.
- Кроме этого регулятора в САР турбокомпрессорного агрегата как правило имеется предельный регулятор скорости.





- Как правило системы управления турбокомпрессорами гидравлические.
- Регуляторы процесса, управляющие положением паровых клапанов связаны между собой и с сервоприводом этих клапанов так называемыми проточными линиями.
- Регуляторы скорости как правило предельные, связанные с регуляторами процесса теми же проточными линиями.
- В таких системах любые изменения параметров пара изначально приводят к отклонению регулируемого параметра газа от заданного значения, что снижает точность регулирования



# **МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОДАЧИ ДУТЬЯ В ДОМНУ**

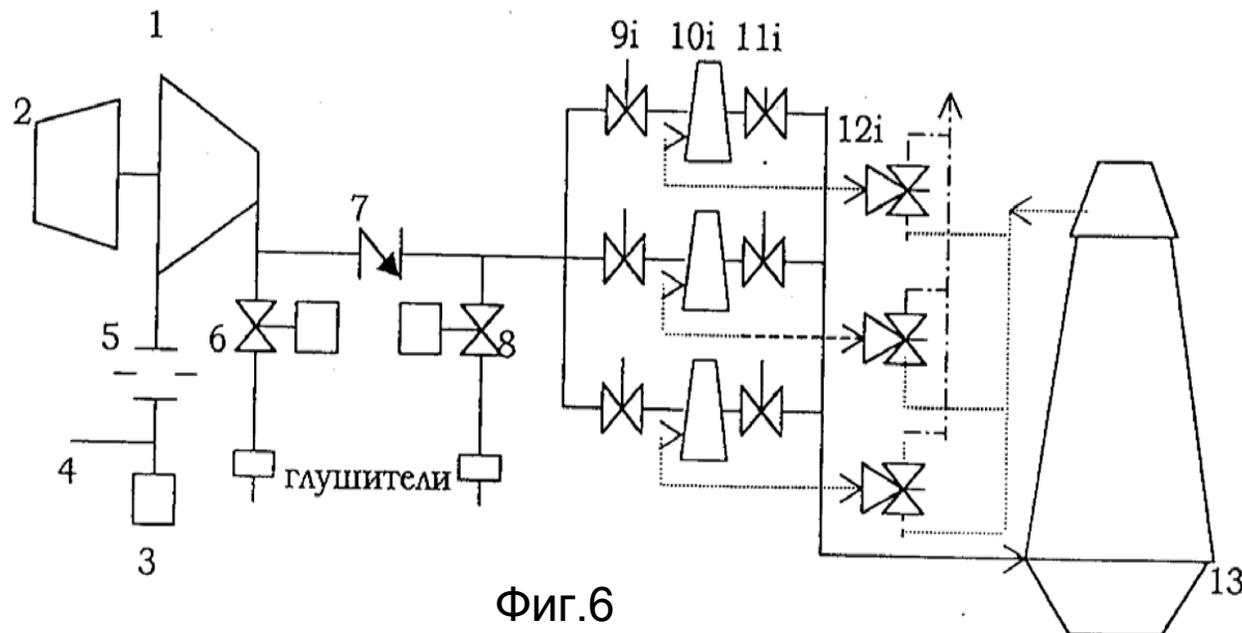
## **Организация Подачи Дутья**

- Как правило системы управления турбокомпрессорами гидравлические.
- Регуляторы процесса, управляющие положением паровых клапанов связаны между собой и с сервоприводом этих клапанов так называемыми проточными линиями.
- Регуляторы скорости как правило предельные, связанные с регуляторами процесса теми же проточными линиями.
- В таких системах любые изменения параметров пара изначально приводят к отклонению регулируемого параметра газа от заданного значения, что снижает точность регулирования

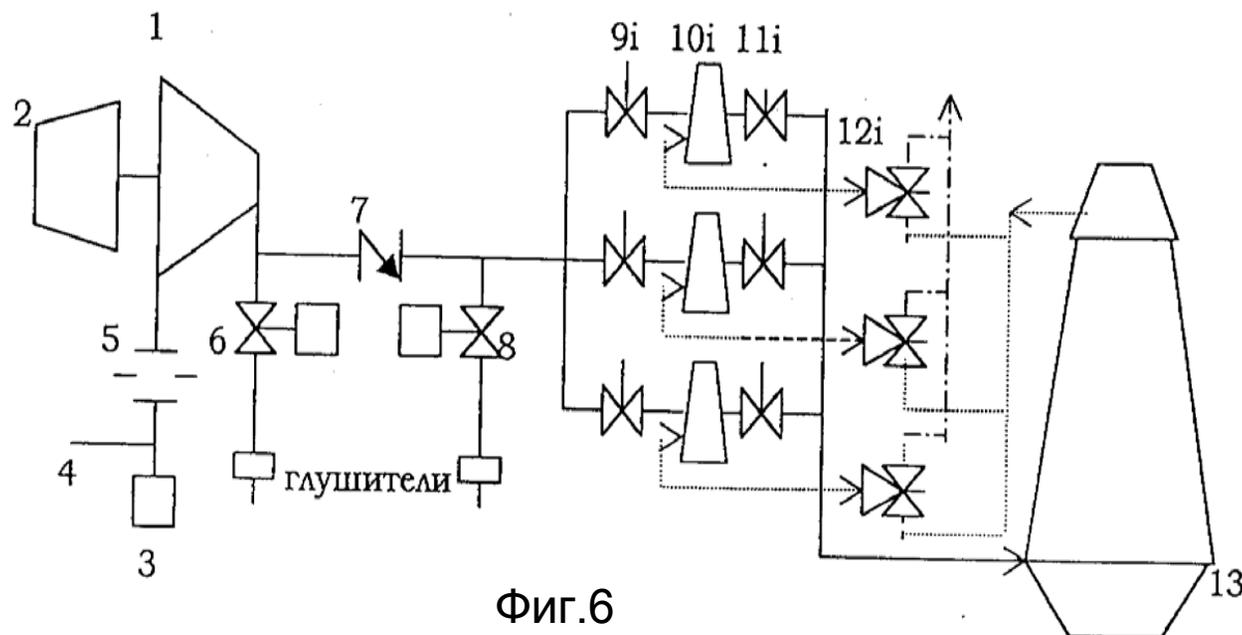


- В свою очередь параметры дутья и его стабильность определяются работой доменной воздуходувки.
- В современных печах доменное дутьё в значительной степени обогащено кислородом.
- Повышение давления под колошником и обогащение дутья кислородом привели при модернизации печей к перемещению рабочих точек воздуходувок ближе к помпажу.
- В связи с этим проблема противопомпажного регулирования выдвинулась на первый план.
- При поддержании постоянного расхода воздуха во всасывании воздуходувки большие расстояния линии настройки противопомпажного регулирования до помпажа приводят к ограничению давления нагнетания и, следовательно, к ограничению давления под колошником.

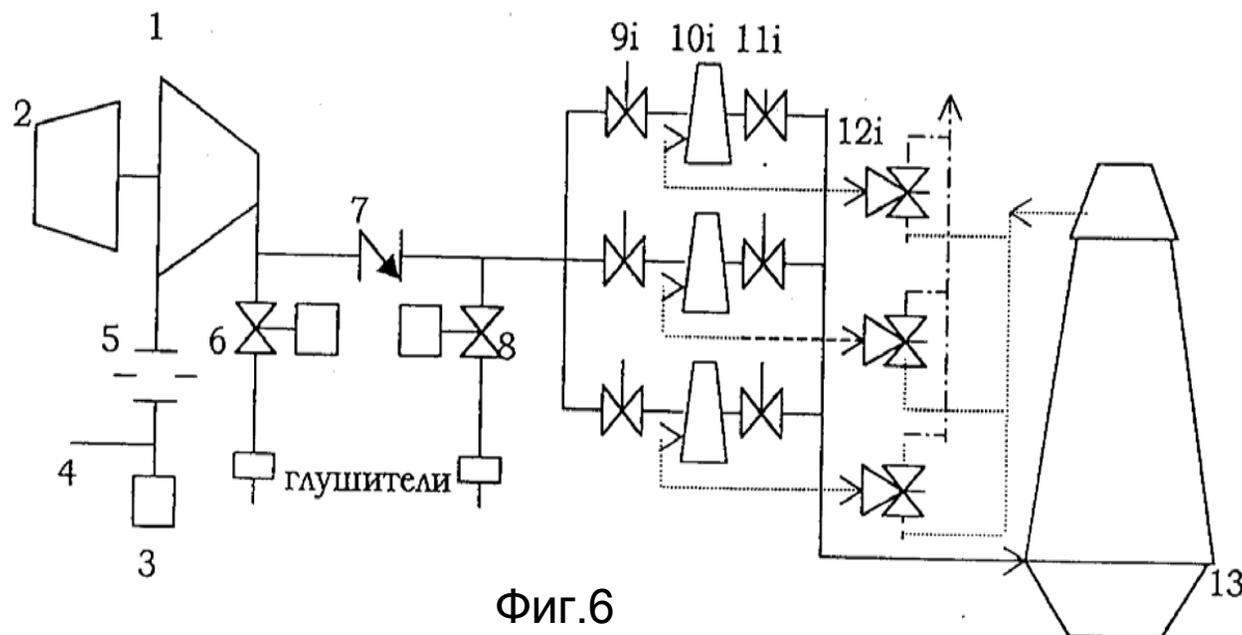
- На этом слайде показана применяемая в странах СНГ принципиальная схема системы подачи дутья в домну.
- Основным элементом этой схемы является турбокомпрессор с паротурбинным приводом.
- Обычно в странах СНГ это агрегат НЗЛ.



- Компрессор получает воздух из камеры фильтров.
- В его всасывание подаётся также кислород.
- Во всасывании компрессор имеет измерительное устройство по расходу, часто трубу Вентури.
- В нагнетательном коллекторе имеются выпускной и обратный клапаны.

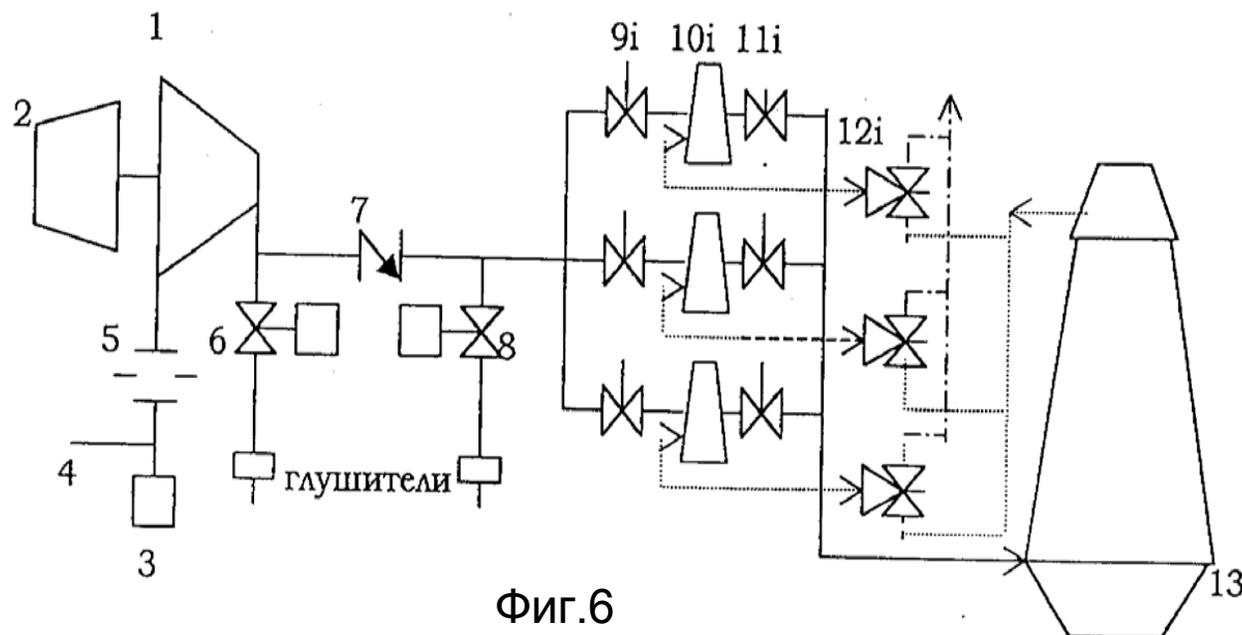


- После обратного клапана сжатый и обогащенный кислородом воздух поступает в коллектор холодного дутья.
- Этот коллектор включает клапан СНОРТ и отсечные клапаны, поочерёдно подводящие “холодный” воздух к поверхностным теплообменникам-кауперам.



Фиг.6

- Каждый каупер в период подготовки к работе нагревается сжигаемым в нем доменным газом.
- После достижения огнеупорными стенками каупера нужной температуры продукты сгорания из него удаляются и каупер затем подсоединяется к коллектору холодного дутья и к доменной печи.





- **Подаваемое в печь дутье должно иметь температуру приблизительно равную температуре плавления чугуна.**
- **При более низкой температуре дутье догревается в доменной печи за счет дополнительного сжигания дорогого кокса.**
- **Поскольку в каупере стенки постепенно остывают, кауперы периодически меняют.**



- **Заполнение нового каупера требует некоторое количество холодного воздуха.**
- **Во время заполнения при постоянной производительности воздухоудвки расход горячего дутья на домну падает.**
- **Чем чаще переключаются кауперы, тем ровнее температура дутья и тем меньше расход кокса.**

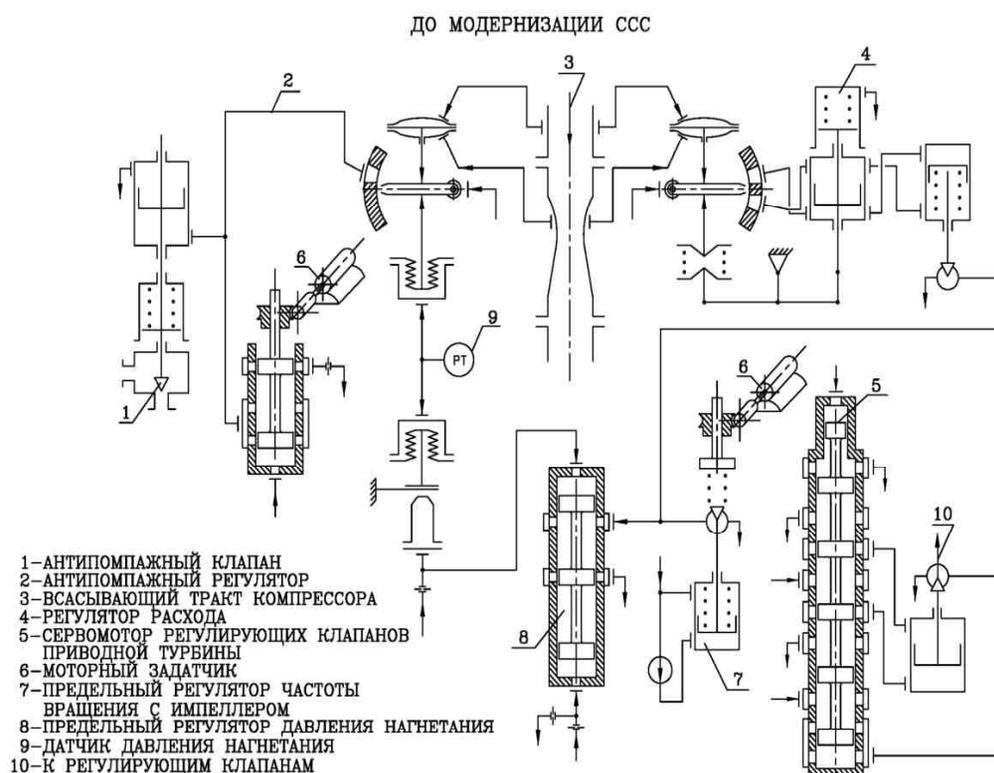


- **Но тем больше потери дутья и тем меньше суммарная производительность печи.**
- **Решение этого противоречия требует поддержания расхода горячего дутья в периоды переключения кауперов.**
- **В общем же, система регулирования должна обеспечить точное поддержание расхода горячего дутья и в промежутки между переключениями.**

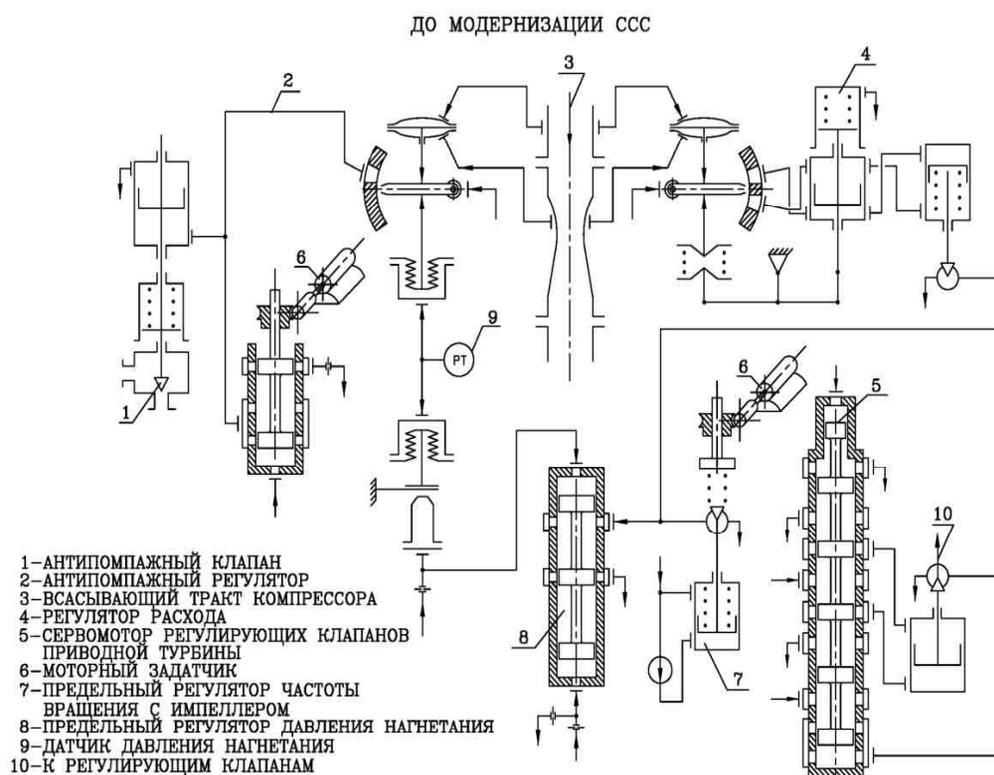


## **2. НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ САР**

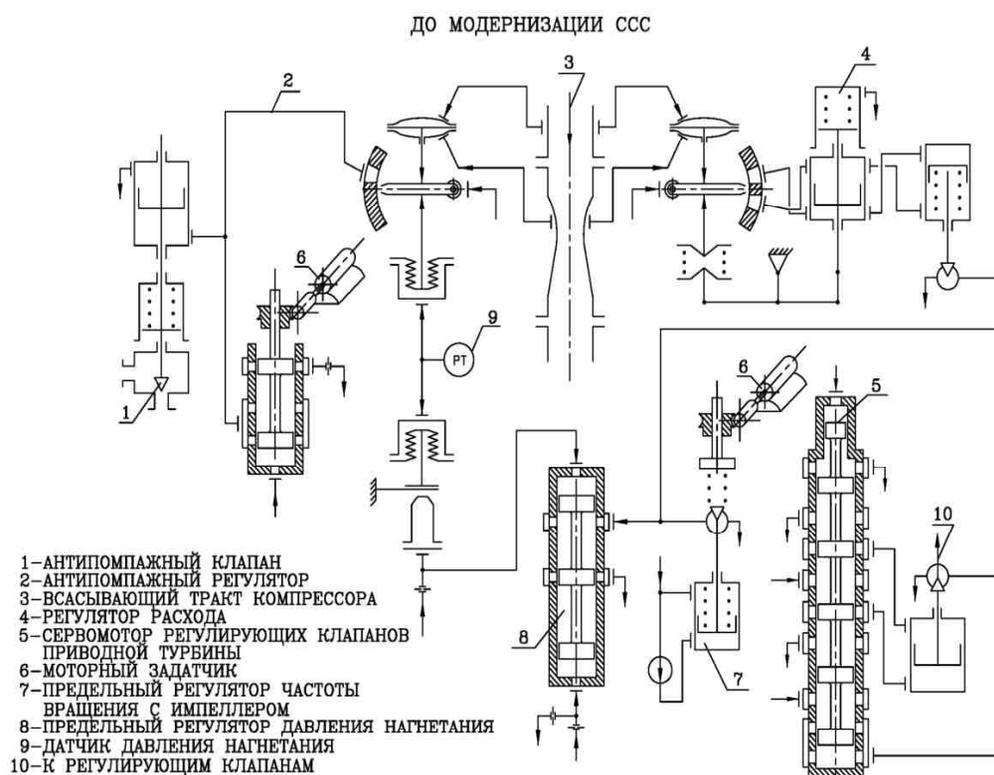
- В большинстве случаев поставленная с доменным воздушным компрессором САР задачи точного поддержания расхода горячего дутья в печь не решает.
- Как уж упоминалось выше, принятая в странах СНГ гидравлическая САР основана на применении системы проточного масла, управляющей отсечным золотником и сервомотором паровых клапанов.
- Пример такой системы показан на следующем слайде.



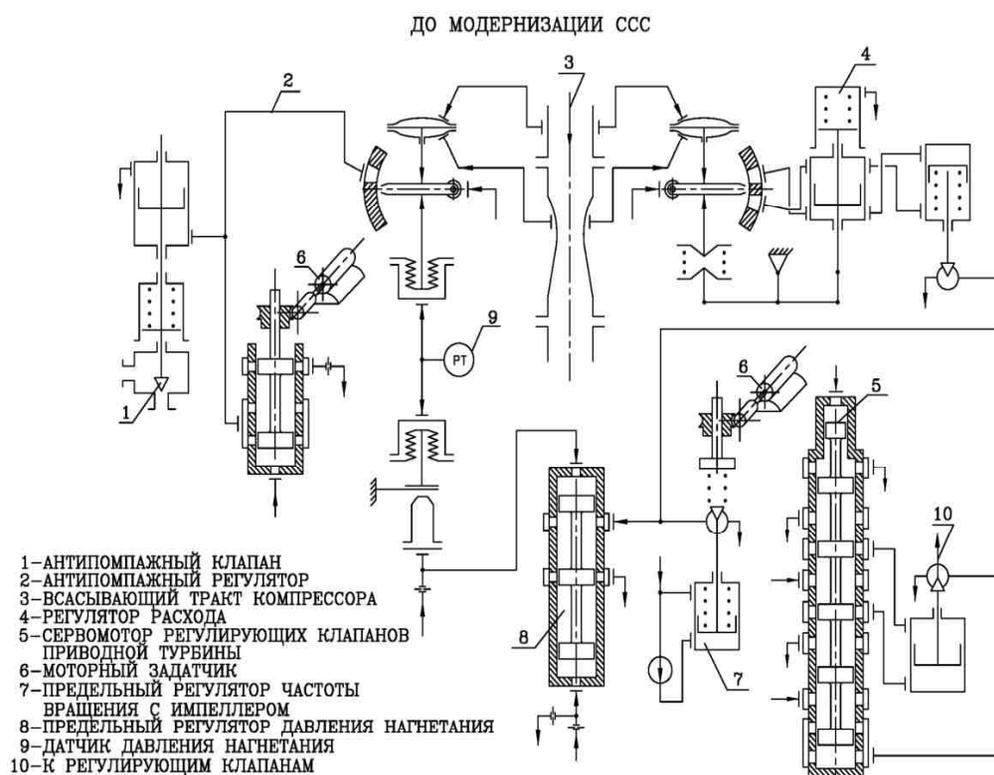
- Регуляторы расхода и скорости сливают масло из проточной системы, а отсечной золотник и сервомотор при своем перемещении поддерживают в ней постоянное давление.



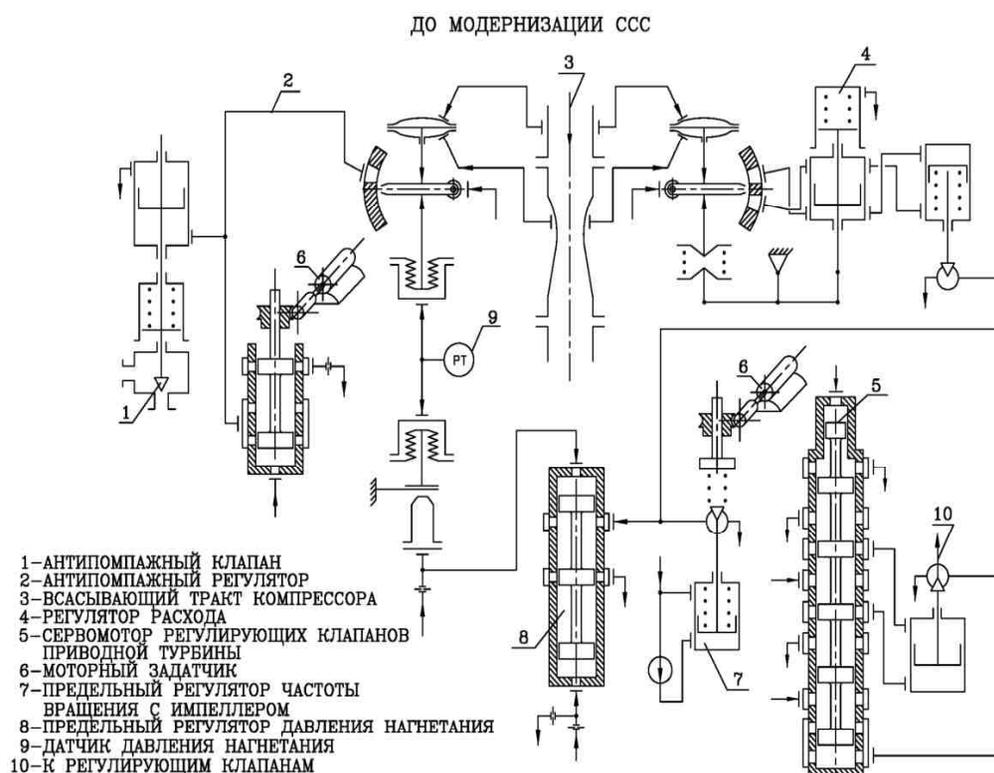
- Противопомпажный струйный регулятор управляет сервомотором противопомпажного клапана, подавая масло в одну из его полостей и сливая его из другой.



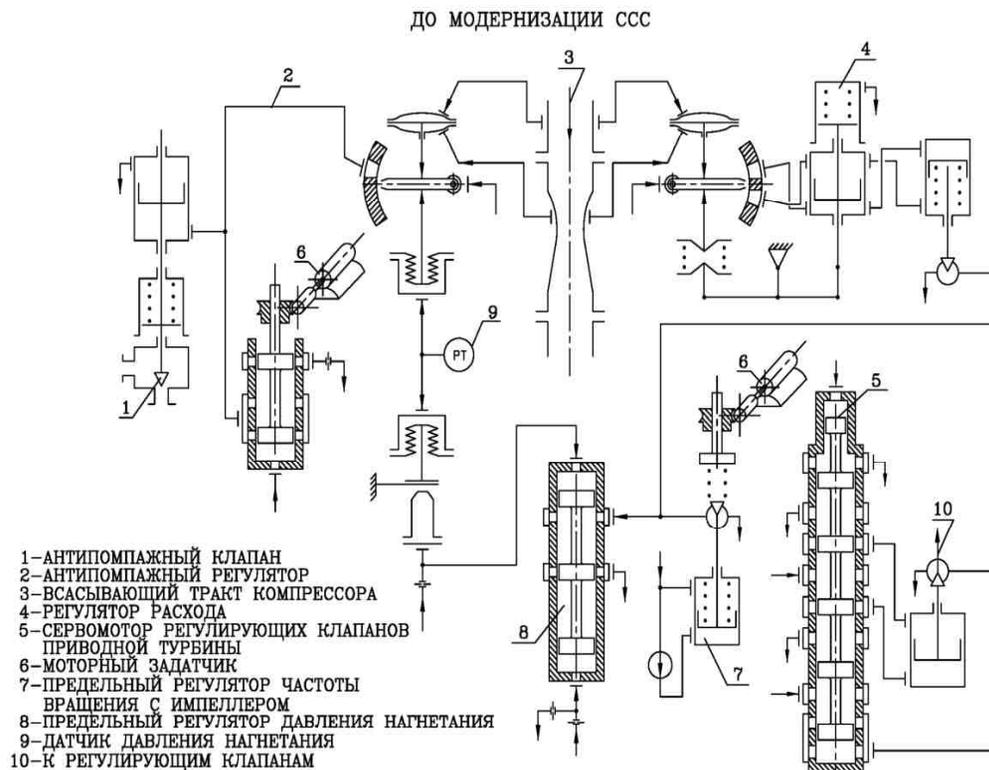
- Регулятор расхода при этом всережимный, в то время как регуляторы давления нагнетания, скорости и противопомпажный являются предельными регуляторами.



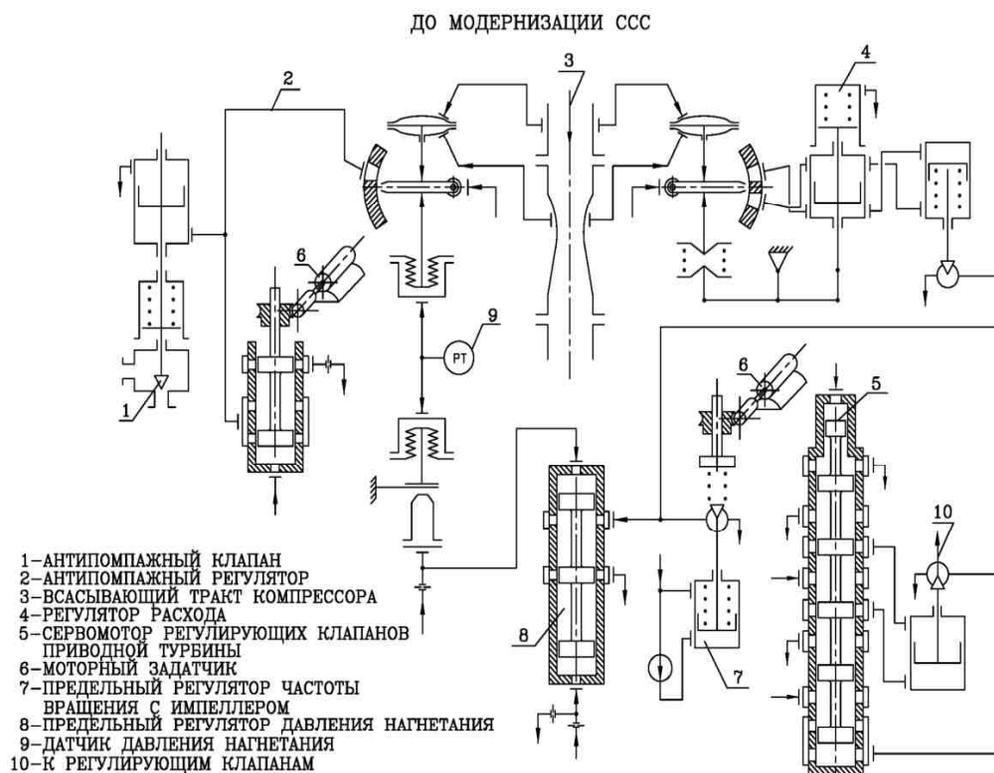
- Регулятор расхода в качестве своего регулируемого параметра использует перепад на всасывающем измерительном устройстве по расходу, например трубе Вентури.



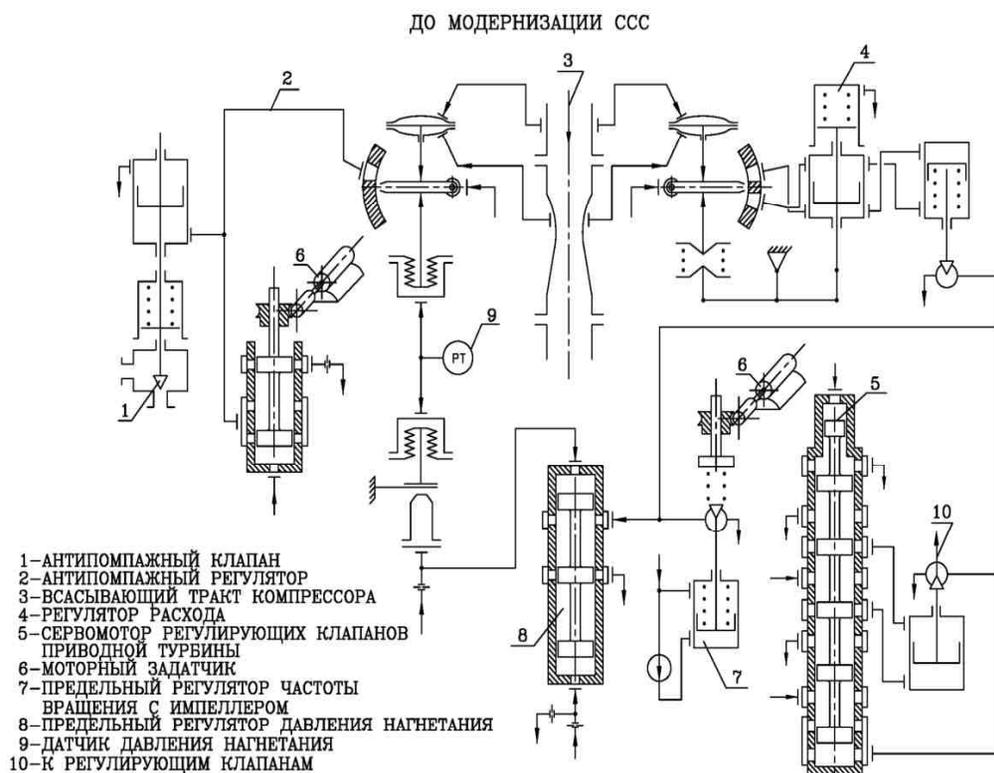
- При этом, этот регулятор не учитывает условия всасывания и не регулирует весовой расход дутья, а при открытии противопомпажного клапана не учитывает и расход через него.



- Во время же переключения кауперов регулятор постоянного перепада сокращает расход дутья в печь.
- Предельный регулятор скорости-гидродинамический. Он предотвращает повышение перепада давлений на импеллере выше задания.



- Регулятор давления также гидравлический. Он предотвращает повышение давления нагнетания выше задания.



- **Предельное гидродинамическое регулирование скорости не обеспечивает ни нужной точности, ни всережимной компенсации колебаний параметров пара, ни устойчивости при совместной работе с регулятором количества.**

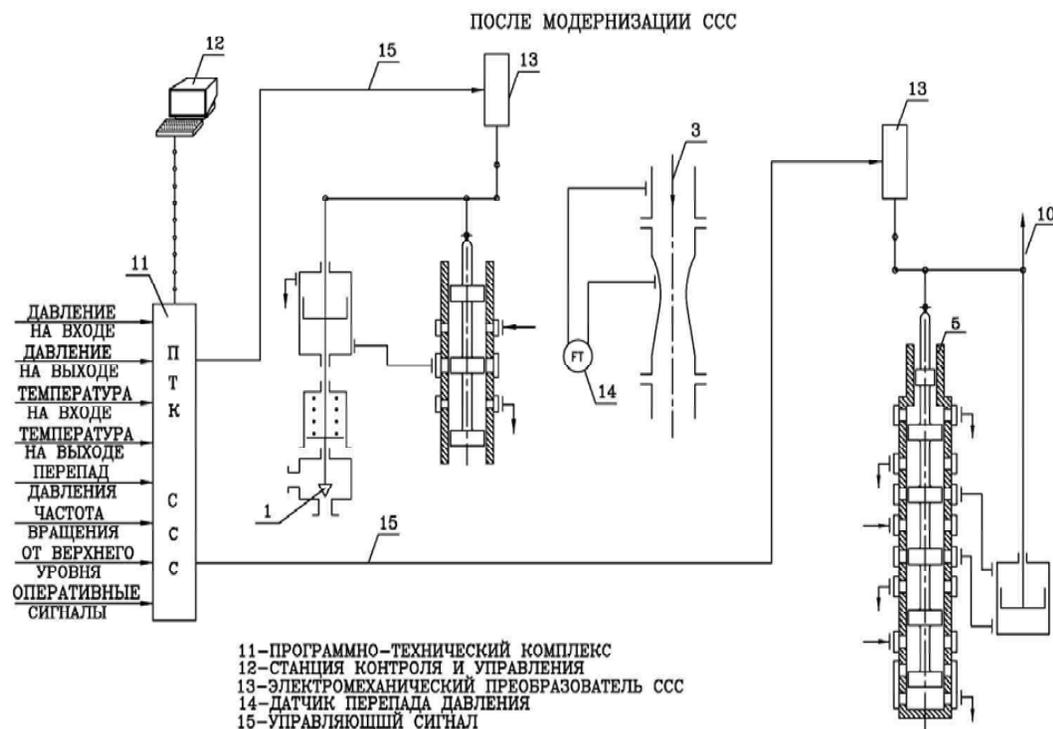


- **Струйные противопомпажные регуляторы примитивны.**
- **Они не обеспечивают ни требуемого быстродействия, ни адаптации нелинейных характеристик компрессора, ни требуемых вычислений.**
- **Элементы гидравлической системы со временем изнашиваются и требуют поднастройки для обеспечения устойчивости.**
- **Отсутствует современный интерфейс оператора.**

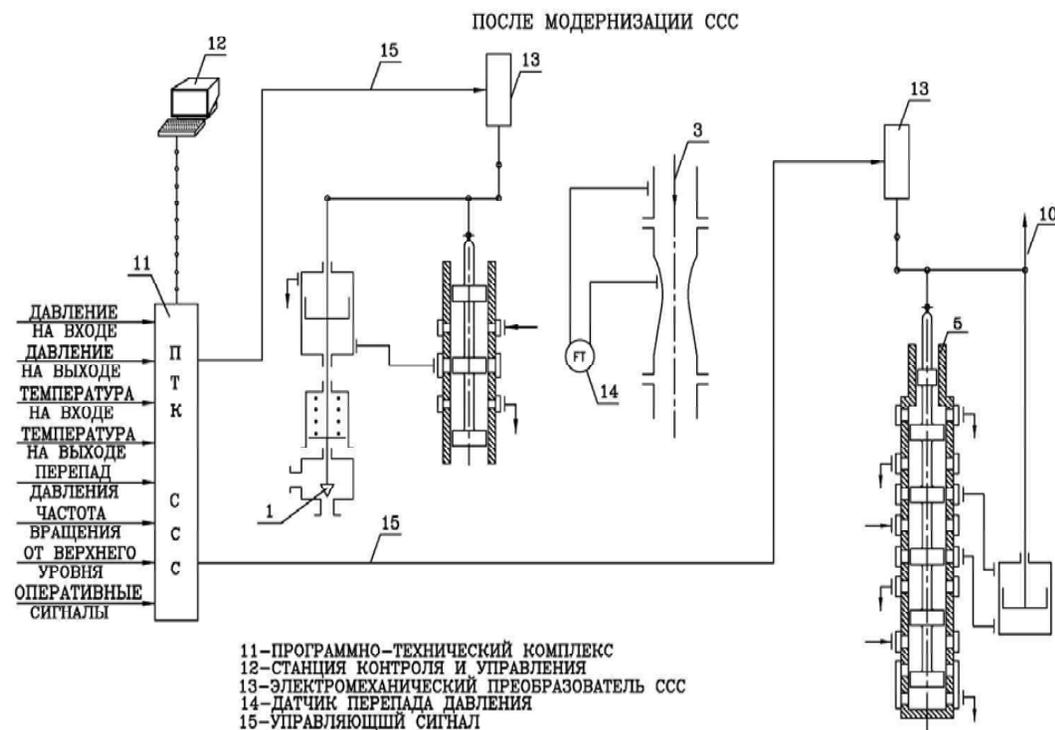


- **Оператор печи часто управляет расходом на печь, манипулируя своим СНОРТ'ом, со всеми вытекающими потерями обогащенного кислородом дутья.**
- **Между тем, систему подачи дутья в печь можно коренным образом улучшить и автоматизировать, модернизировав существующую САР.**

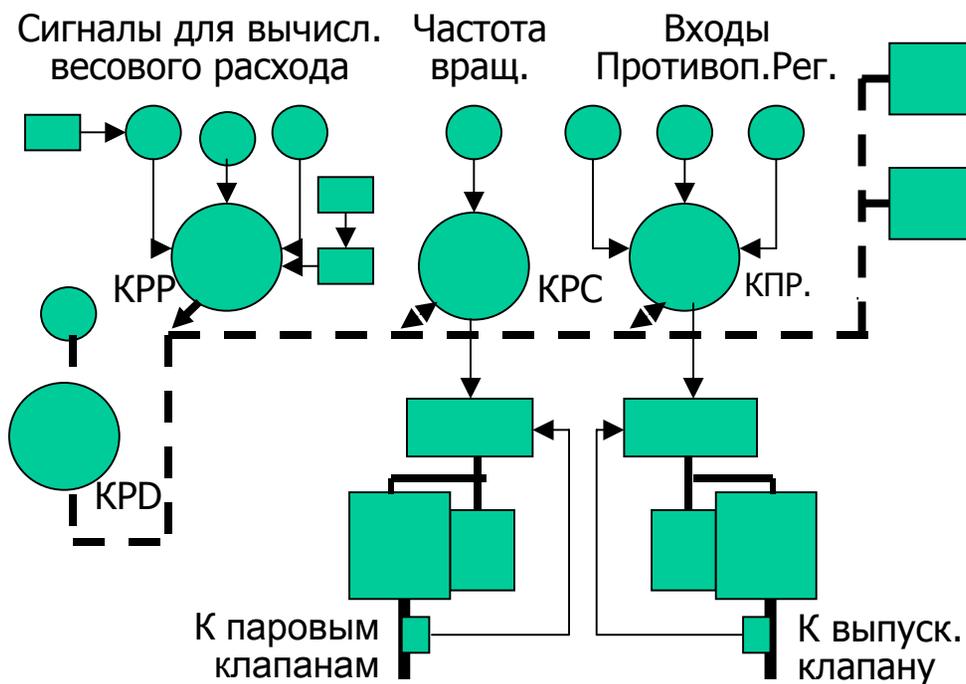
## 3. МОДЕРНИЗАЦИЯ САР



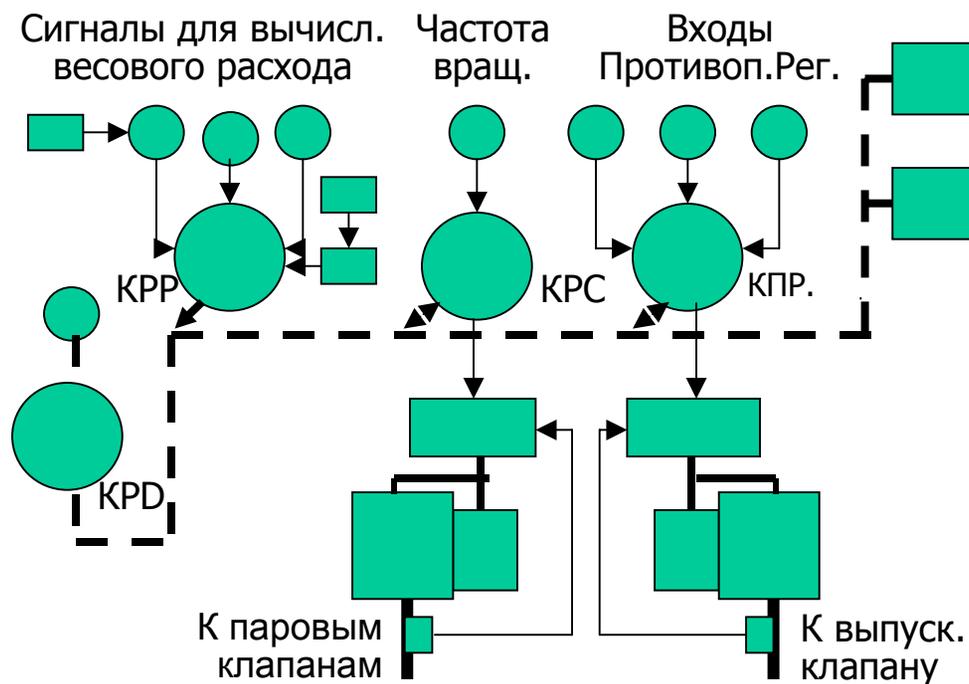
- На этом слайде показана принципиальная схема модернизированной электрогидравлической системы регулирования.
- Исчезли в модернизированной системе струйные регуляторы расхода и противопомпажный с их золотниками.



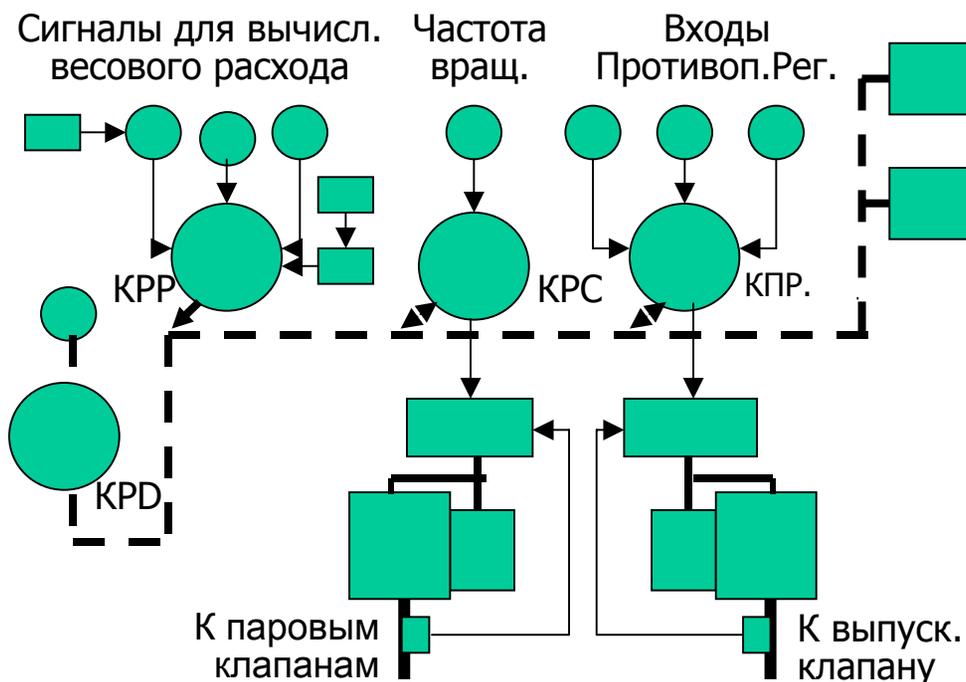
- Исчезла и система проточного масла, управлявшего отсечным золотником сервомотора паровых клапанов.
- Импеллер перестал быть датчиком оборотов.
- Модернизированы сервопривод выпускного противомпажного клапана и сервопривод паровых клапанов.



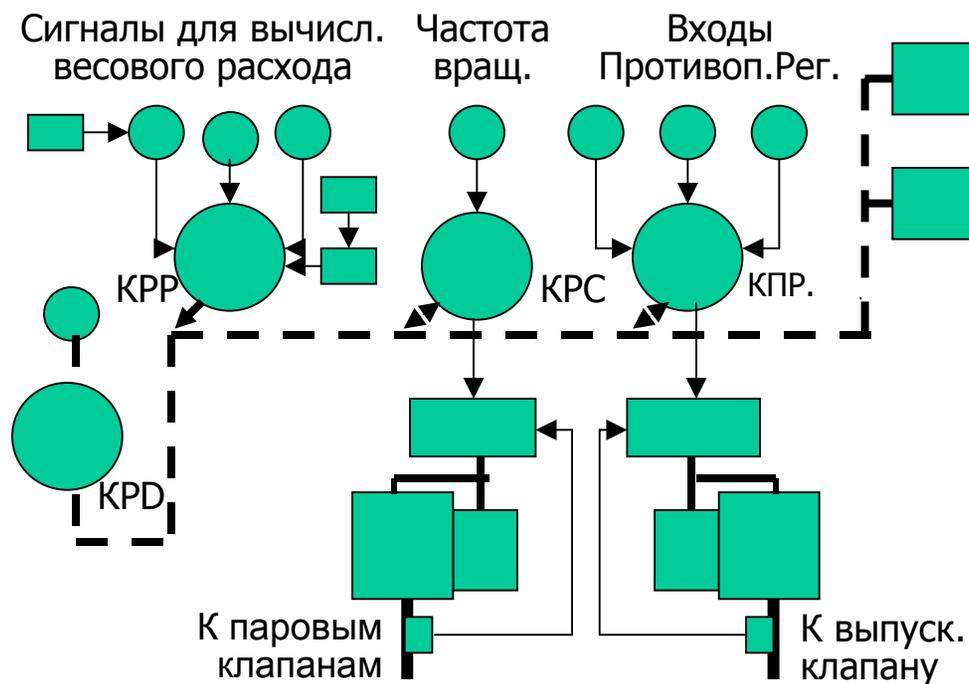
- На этом слайде приведена Схема ПТК, осуществляющего регулирование.
- PID контур регулирования весового расхода КРР использует в качестве своего регулируемого параметра вычисленный им весовой расход воздуха через измерительное устройство, установленное в нагнетании, после врезки выпускного клапана.



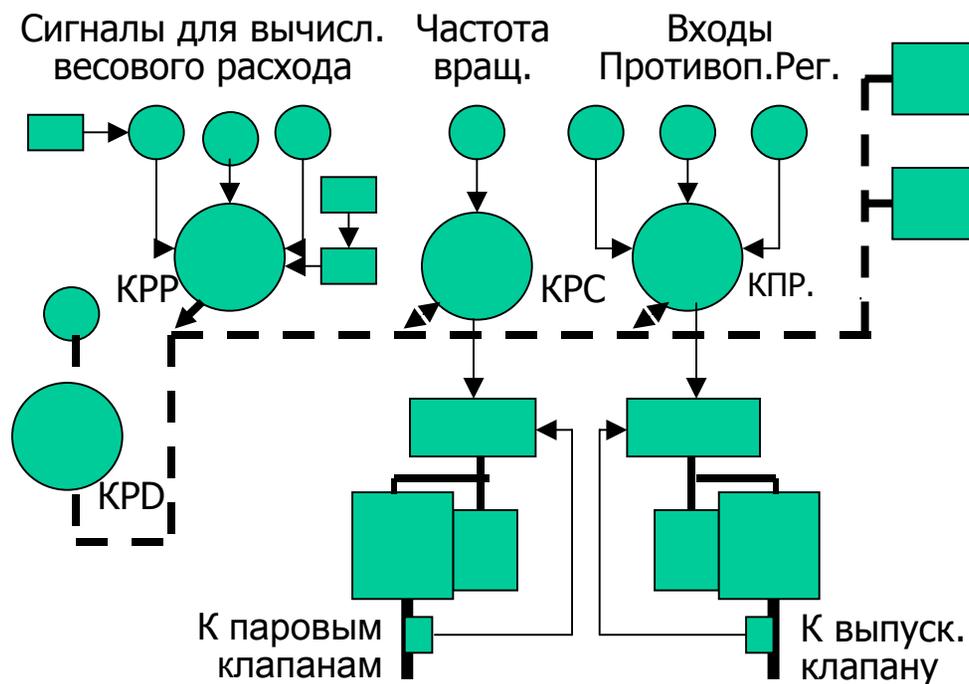
- Для вычисления используются сигналы 3-х датчиков:
  - перепада давлений на расходомере,
  - давления нагнетания
  - и температуры.
- Через переключатель и датчик КРР и КРД получают задания по весовому расходу дутья между переключениями кауперов или по давлению в периоды переключений.



- **КРР и КРД электрически соединены по каскадной схеме с PID контуром регулирования скорости вращения КРС.**
- **Этот контур согласно заданию от КРР или КРД меняет обороты агрегата, управляя сверхточным и исключительно быстрым электро-механическим преобразователем.**



- Этот преобразователь перемещает штатный отсечной золотник, а следовательно и поршень сервомотора паровых клапанов.
- Шток сервомотора связан с рычагом обратной связи по положению сервомотора.
- Каскадная схема существенно улучшает устройчивость и быстродействие САР.



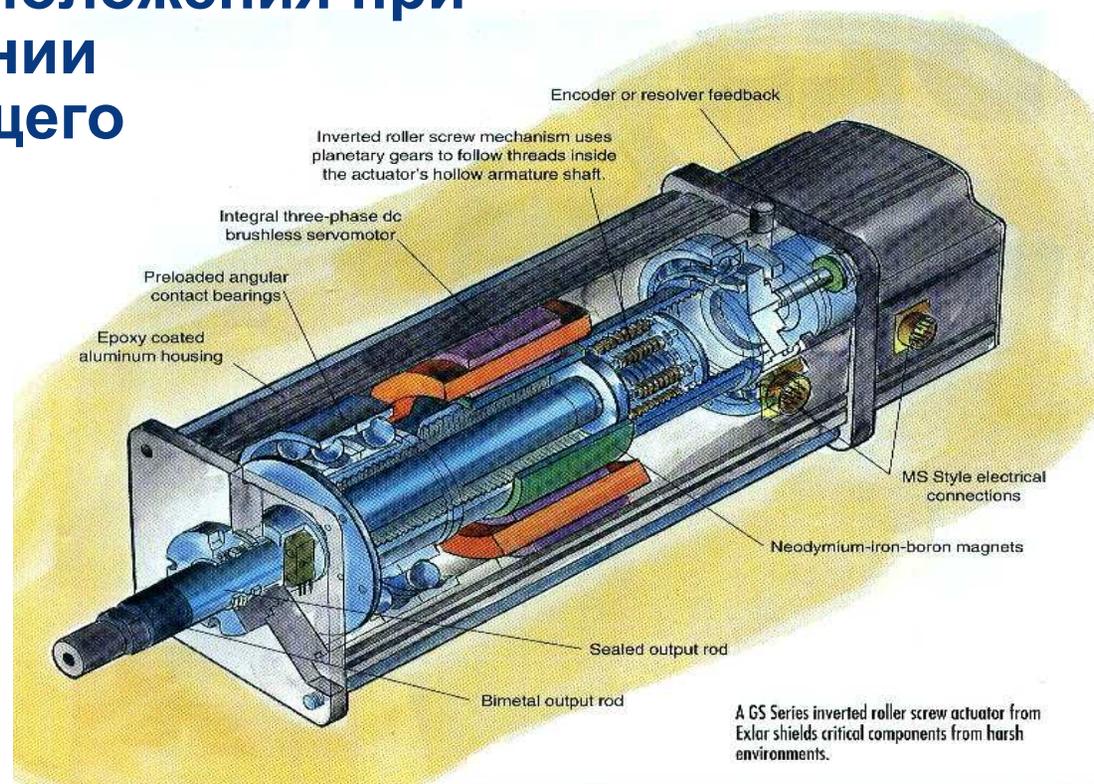
- По своему управляющему воздействию КПР аналогичен КРС.
- Он также управляет электро-механическим преобразователем, перемещающим отсечной золотник.
- Отсечной золотник в свою очередь управляет сервомотором с рычагом обратной связи, возвращающим золотник в положение отсечки



# **Достоинства ЭМП электромашиного типа**

- Применение ЭМП с микропроцессорным блоком управления позволило фирме ССС вместо традиционного принципа силового равновесия отсечных золотников применить принцип позиционирования, который обеспечивает приложение к отсечному золотнику максимального усилия (150-250 кгс) независимо от величины управляющего сигнала.
- Это усилие существенно превышает силы сопротивления в отсечном золотнике.
- ЭМП позволяют обеспечить время перемещения на 25 мм за 0,06-0,1 сек.

- Кроме того обеспечиваются:
  - Прецизионная точность
  - Малая нечувствительность (0,01%)
  - Высокая надежность и долговечность
  - Фиксация положения при исчезновении управляющего сигнала.



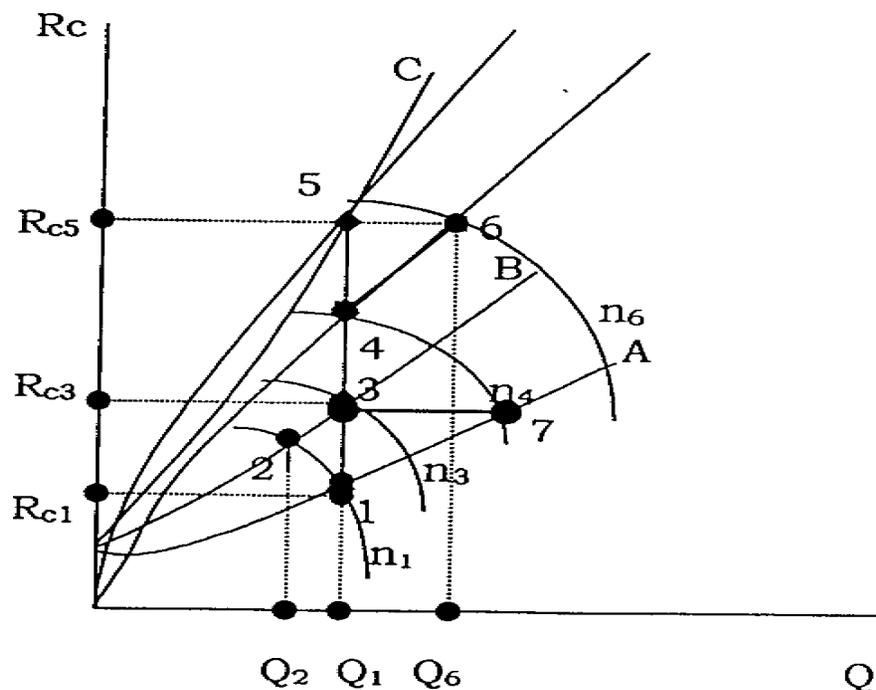


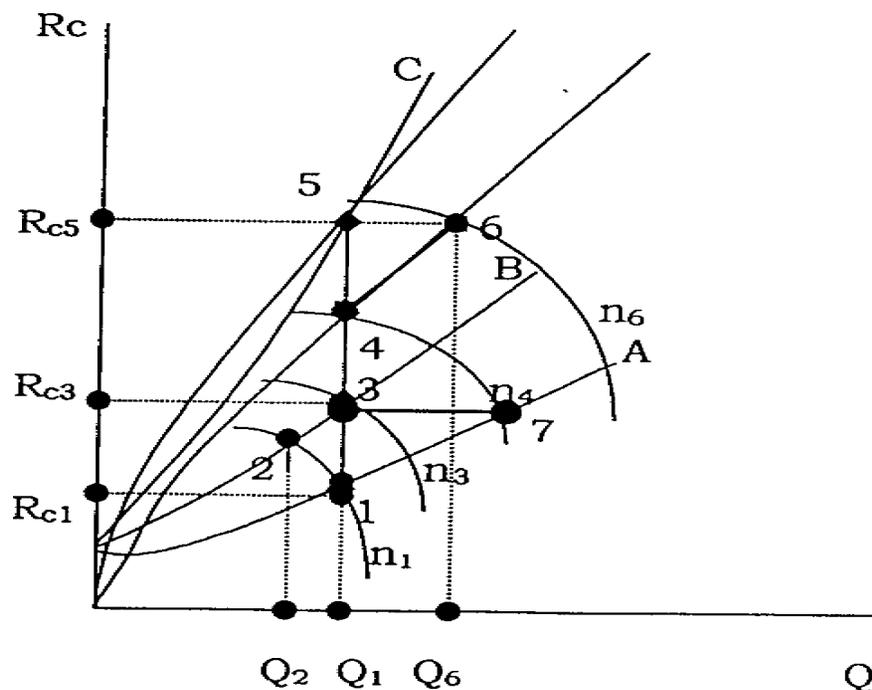
- **Столь высокие характеристики обеспечиваются применением бесщёточного мотора с преобразованием вращательного движения в поступательное с помощью совмещения планетарного механизма с роliko-винтовой передачей. Ресурс такого механизма в 15 раз больше, чем у шарико-винтовой передачи.**
- **Предусмотрена возможность автоматического расхаживания золотников на величину до 0,1 мм, например, один раз в 10 сек.**
- **Применение микропроцессорного регулирования и прямое соединение ЭМП с отсечными золотниками позволили существенно упростить гидромеханическую часть САР.**

## 4. ПРИМЕРЫ РАБОТЫ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ САР РАСХОДА ДОМЕННОГО ДУТЯ.

### Пример №1

- Исходная рабочая точка компрессора - точка 1.
- При этом скорость вращения равна  $n_1$ , степень сжатия равна  $R_{c1}$ , расход через компрессор -  $Q_1$ , а выпускной клапан и СНОРТ закрыты.
- Сопротивление печи выросло и его характеристика переместилась из положения А в положение В.

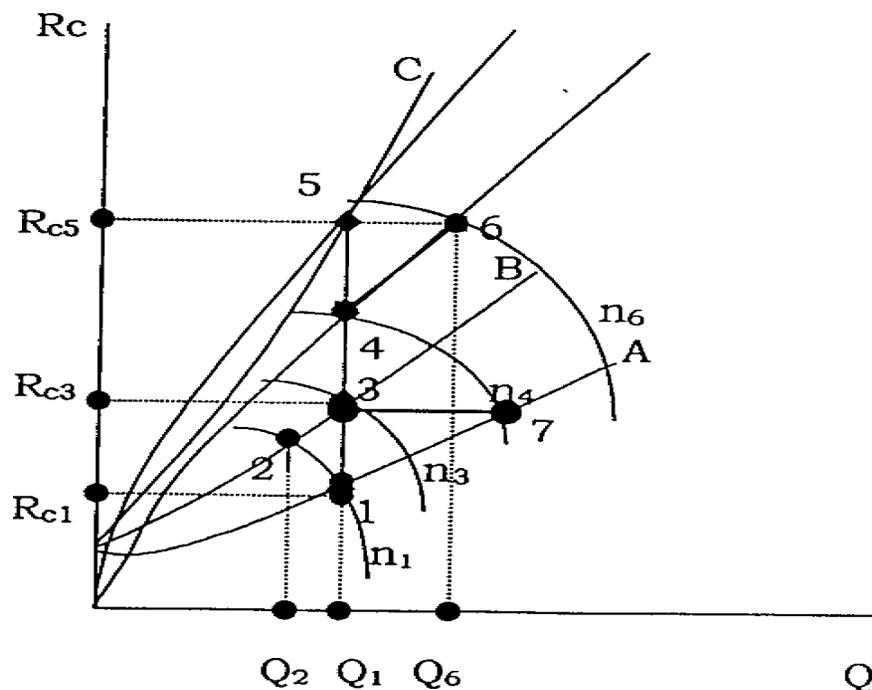




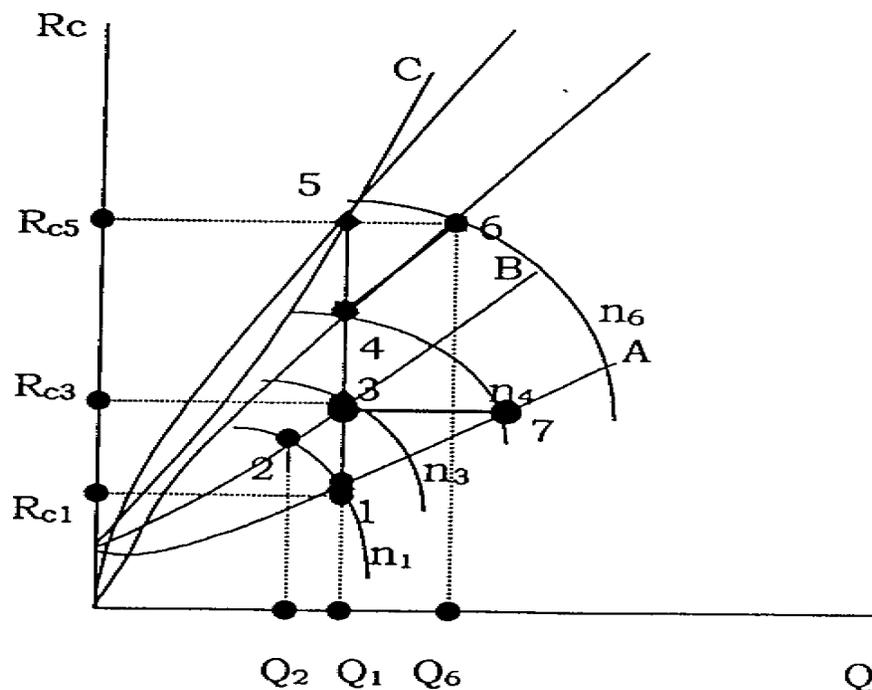
- САР, препятствуя снижению расхода на печь, увеличивает обороты до значения  $n_3$ , перемещая рабочую точку в положение 3.

### Пример №2

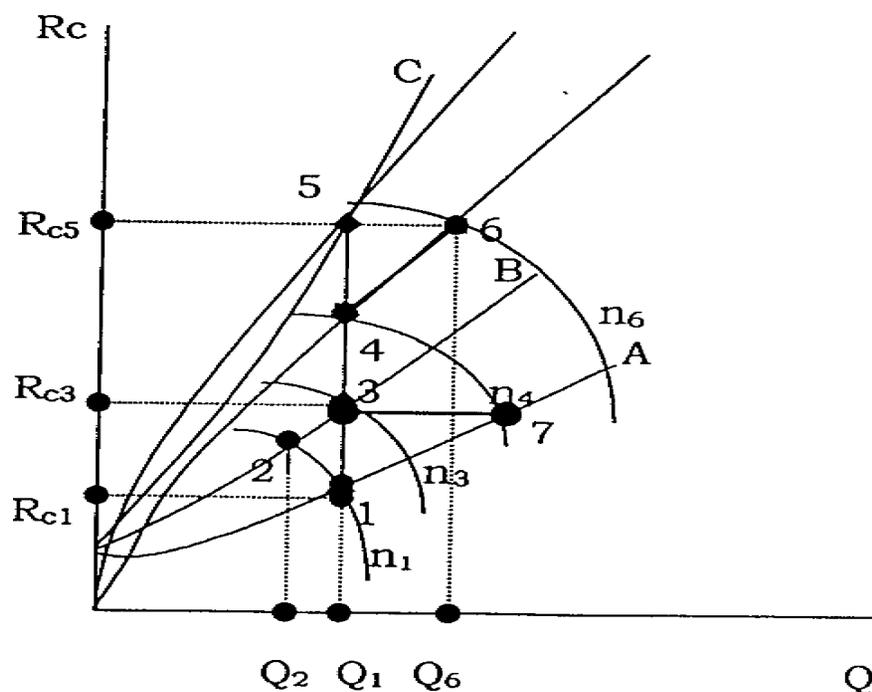
- Допустим, что сопротивление домны вновь выросло.
- Его новое положение-С.



- **САР при этом увеличивает обороты, стараясь удержать расход дутья на заданном уровне.**
- **При оборотах  $n_4$  рабочая точка достигает линии настройки контура ротивопомпажного регулирования.**
- **С этого момента САР одновременно с увеличением оборотов открывает выпускной клапан.**

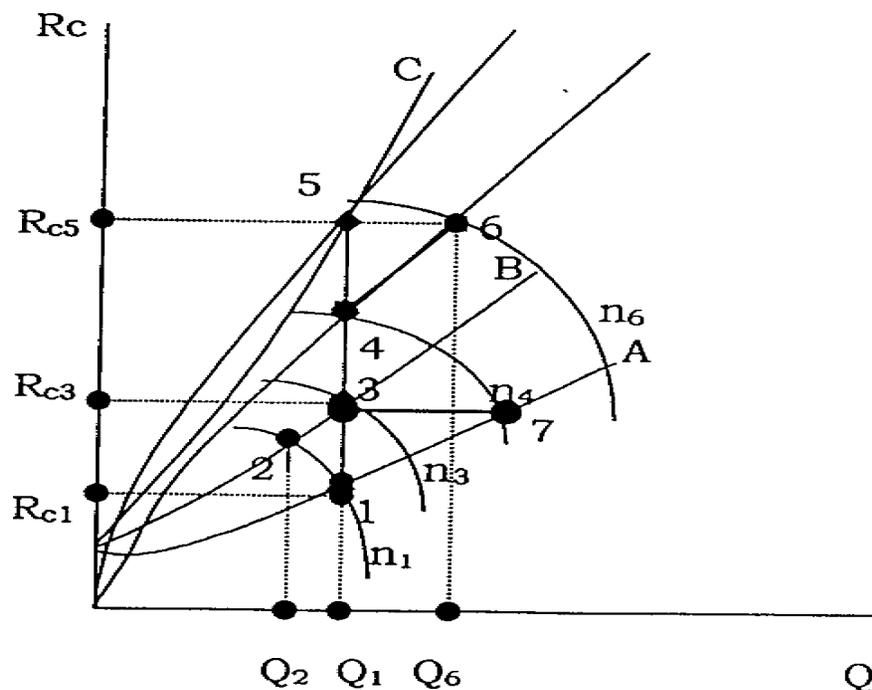


- И наоборот, открытие выпускного клапана увеличивает обороты.
- В результате, рабочая точка двигается вдоль линии настройки противопомпажного регулирования пока не достигнет положения 6.
- Расход воздуха ( $Q_5 - Q_6$ ) выпускается при этом в атмосферу, в то время как доменная печь получает заданный расход дутья  $Q_5$ .



## Пример №3

- Рабочая точка находилась в положении 3, когда в САР поступил сигнал о переключении кауперов.
- Подключение пустого каупера к коллектору холодного дутья уменьшает сопротивление сети (положение А).



- **САР, переключившись на поддержание постоянного давления, увеличивает обороты, поддерживая давление на уровне, имевшем место до переключения.**
- **По мере заполнения каупера САР уменьшает обороты, возвращая рабочую точку в исходное положение.**



## 5. Экономическая эффективность САР ССС

*По данным проф. Рамма (книга “Современный доменный процесс”) повышение давления под колошником на каждые 0,1 ати дает:*

- Рост производительности домны на 1,2%.
- Экономия кокса на 0,6%.
- Сокращение выноса колошниковой пыли на 20 - 50%
- Уменьшение содержания кремния на 0,6%.
- По опыту внедрения и данным наших заказчиков применение систем ССС позволяет поднять давление на выходе воздуходувки в среднем на 0,2 ати.
- Производительность доменной печи увеличивается при этом в среднем на 2,4%.
- Расход кокса сокращается на 1,2%.
- Сокращаются потери при переключении кауперов.

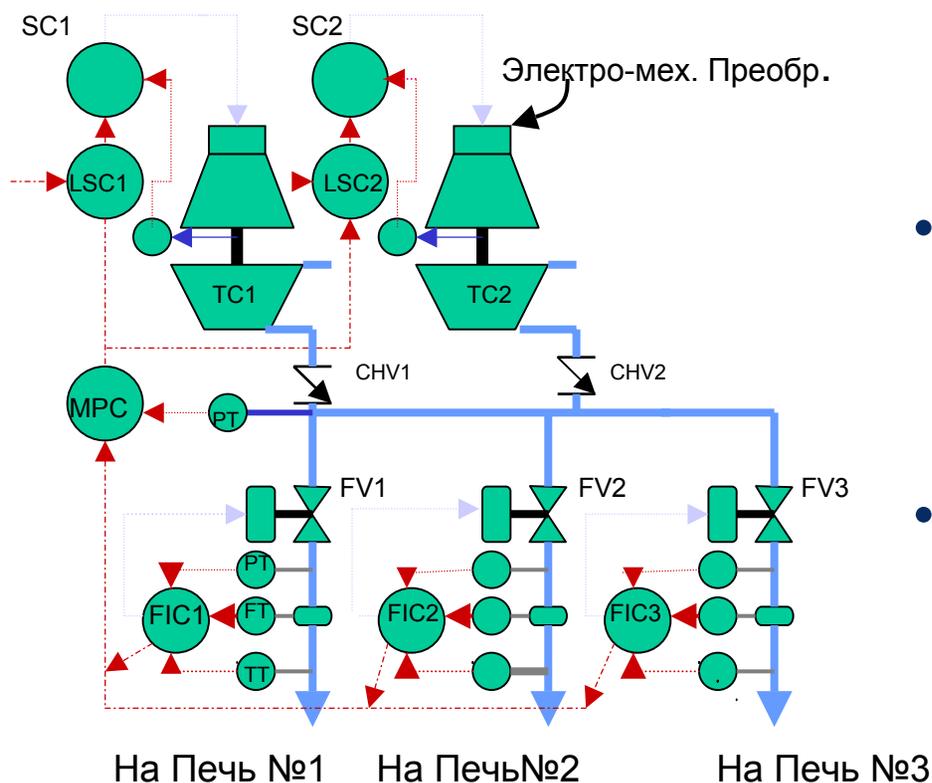


## **6. Объединенное Дутьё на несколько Печей**

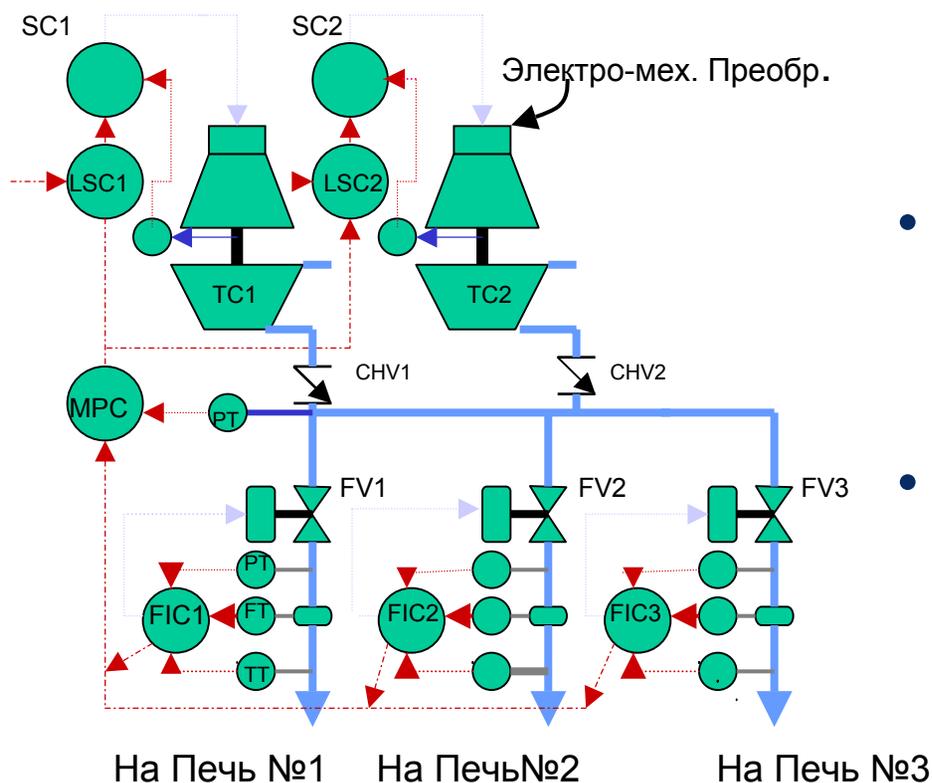
- **Условия сырьевого рынка и рынка сбыта металла predeterminedелили в настоящее время заметное сокращение подачи дутья в доменные печи.**
- **При этом многие доменные воздуходувки начали работать с повышенным выпуском воздуха в атмосферу.**
- **Схема подачи дутья, при которой каждая воздуходувка обеспечивает сжатым воздухом свою доменную печь, при таких условиях нерентабельна.**



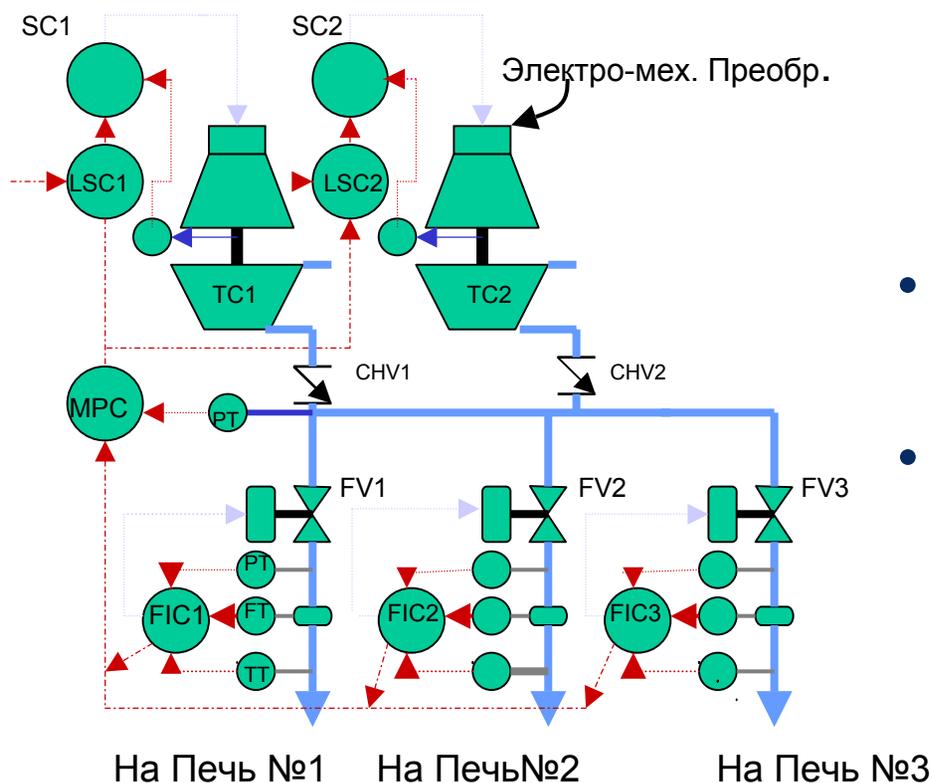
- **С другой стороны, индивидуальность каждой печи требует автономности подачи в неё дутья**
- **Приведенная ниже схема подачи дутья, при которой не только соблюдается эта автономность, но и обеспечивается возможность обеспечения дутьём большего количества доменных печей от меньшего количества доменных воздуходувок, может существенно повысить экономичность доменного процесса.**



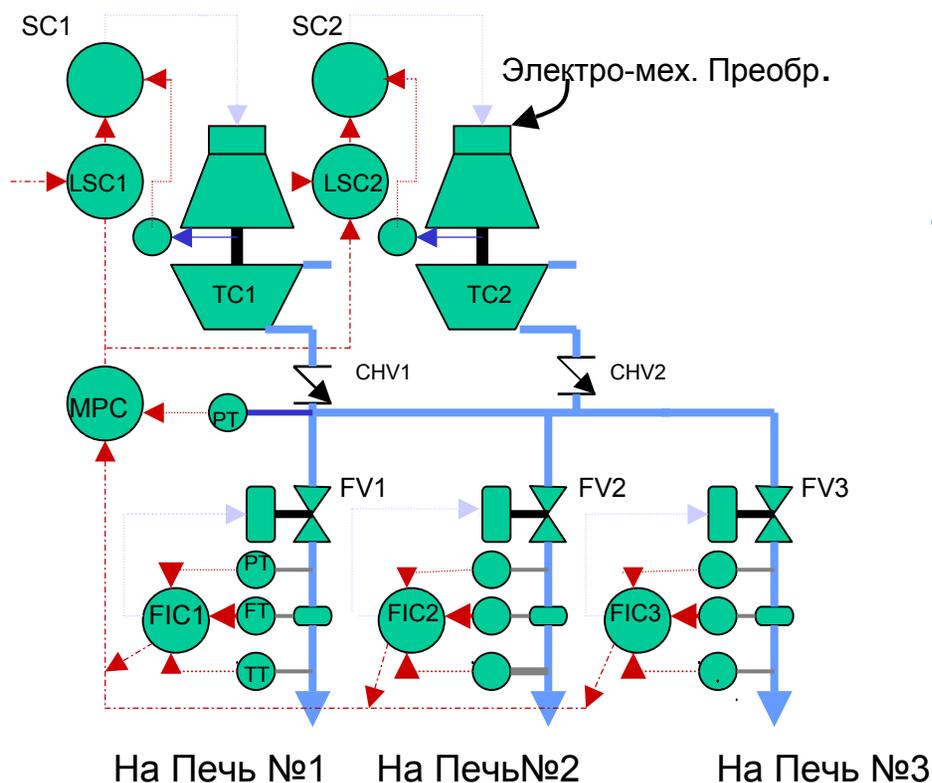
- На приведенной схеме два воздушных компрессора TC1 и TC2 с паротурбинными приводами обеспечивают дутьем три доменные печи.
- Оба компрессора через свои обратные клапаны CHV<sub>i</sub> подают сжатый воздух в общий коллектор нагнетания.
- Каждая доменная печь получает дутьё из этого коллектора через соответствующие дроссельные клапаны (заслонки) FV<sub>i</sub>.



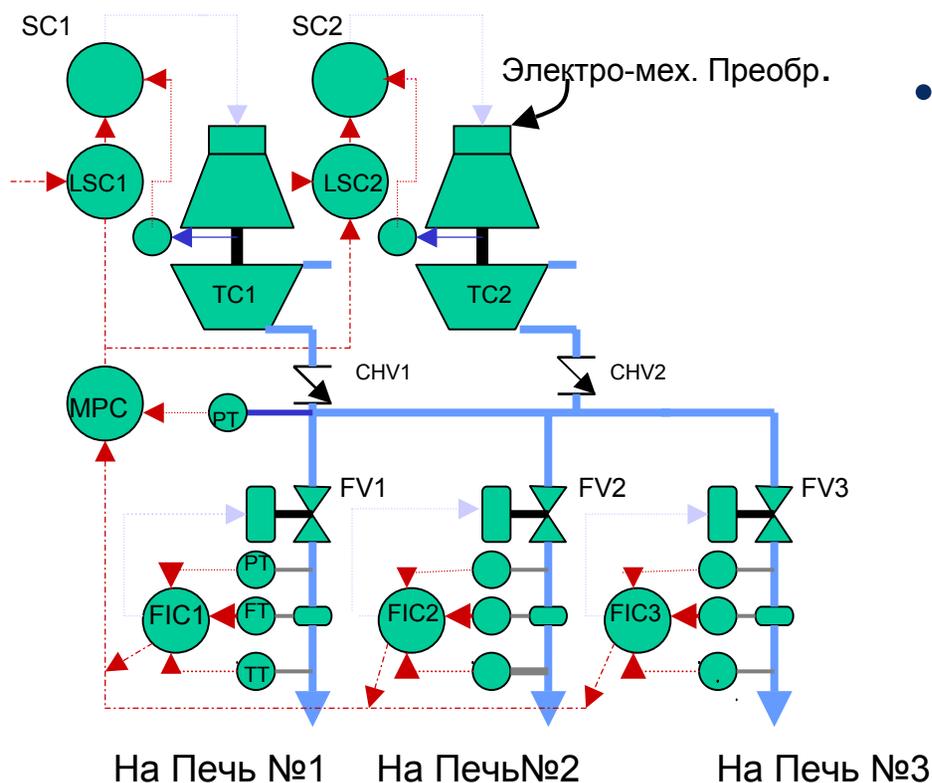
- В каждом из трёх воздуховодов холодного дутья имеется измерительное устройство по расходу холодного дутья на печь.
- Дроссельные клапаны оснащены электропневматическими сервоприводами.
- Каждый дроссельный клапан управляется соответствующим PID Модулем по расходу дутья FIC<sub>i</sub>.



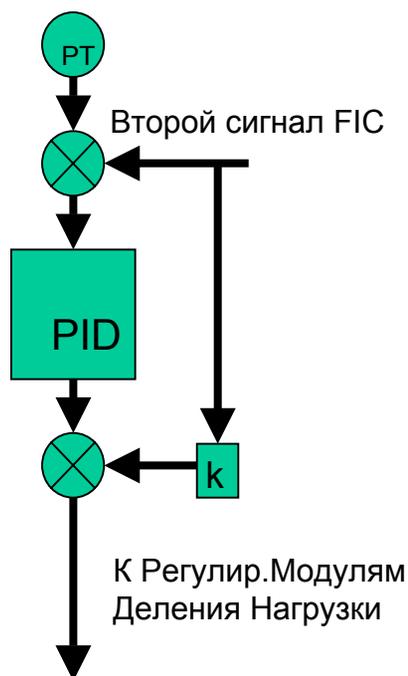
- Каждый Модуль FIC вычисляет весовой расход дутья на свою печь, используя сигналы датчиков: давления РТ, температуры ТТ и перепада на расходомере FT.
- В общем случае давление дутья на каждую печь разное.
- FIC печи, требующей наибольшее давление всегда будет держать свой дроссельный клапан полностью ОТКРЫТЫМ.



- Давление за этим клапаном будет равно давлению в общем нагнетательном коллекторе компрессоров.
- Давление за этим клапаном будет равно давлению в общем нагнетательном коллекторе компрессоров.



- Каждый FIC имеет два выхода.
- Первый управляет своим дроссельным клапаном.
- После достижения этим сигналом уровня, соответствующего полному открытию клапана, FIC начинает менять второй сигнал, поступающий по электронному каналу связи в Мастер Регулятор Давления компрессорных машин.



- **Мастер Регулятор получает своё задание от FIC, дроссельный клапан которого полностью открыт, как в обычной каскадной схеме.**
- **Но выход его PID части суммируется со скорректированным выходом FIC, для компенсации известного и крайне неприятного противодействия контуров расхода и давления.**



- **Поддержание давления в нагнетательном коллекторе компрессоров позволяет практически избежать влияние перемещения дроссельного органа одной из печей на остальные печи.**
- **Изменение же уровня этого давления компенсируется соответствующим перемещением частично прикрытых дроссельных органов, что препятствует изменению расходов дутья на доменные печи с частично прикрытыми дроссельными клапанами.**



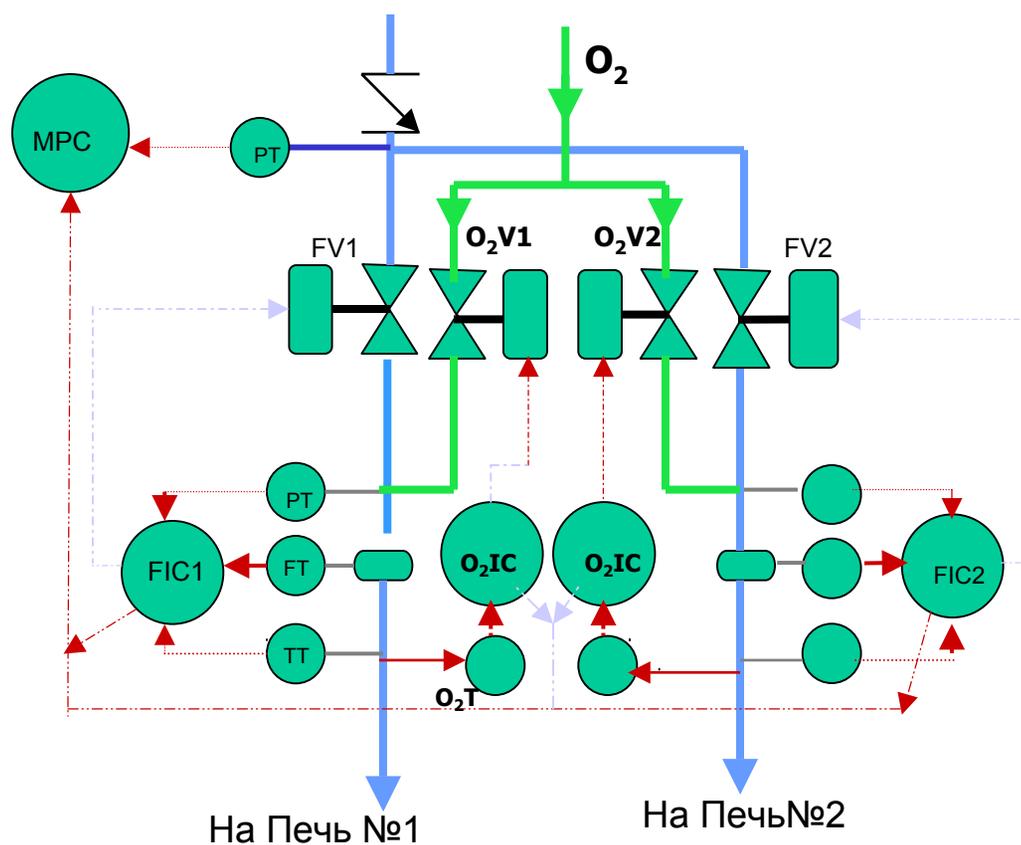
- Для этого выходной сигнал FIC, управляющий давлением нагнетания компрессоров, подаётся также на выходы остальных FIC, прикрывая частично открытые клапаны при росте давления в общем коллекторе компрессоров, и открывая их при уменьшении давления.
- В приведенной схеме расходы дутья на печи с более низким давлением обеспечиваются дросселированием, в то время как расход дутья на печь с наиболее высоким давлением обеспечивается за счет изменения оборотов компрессорных агрегатов.



## **7. Подача дутья на большее количество печей от меньшего количества воздуходувок с обеспечением разного содержания кислорода**

- В настоящее время содержание кислорода в дутье автоматически не регулируется.
- Наиболее рациональным решением является подвод кислорода не во всасывание воздуходувных агрегатов, а после дроссельных заслонок, регулирующих подачу дутья на каждую из печей.
- При этом кислород должен подводиться из линии технического кислорода, имеющего более высокое давление, чем давление после доменной воздуходувки.

- Схема регулирования содержания кислорода в дутье на каждую печь показана на следующем слайде.
- Содержание кислорода регулируется специальными PID модулями.
- Каждый из этих модулей управляет дроссельным клапаном с электропневмоприводом.
- В качестве датчиков используются датчики концентрации кислорода.

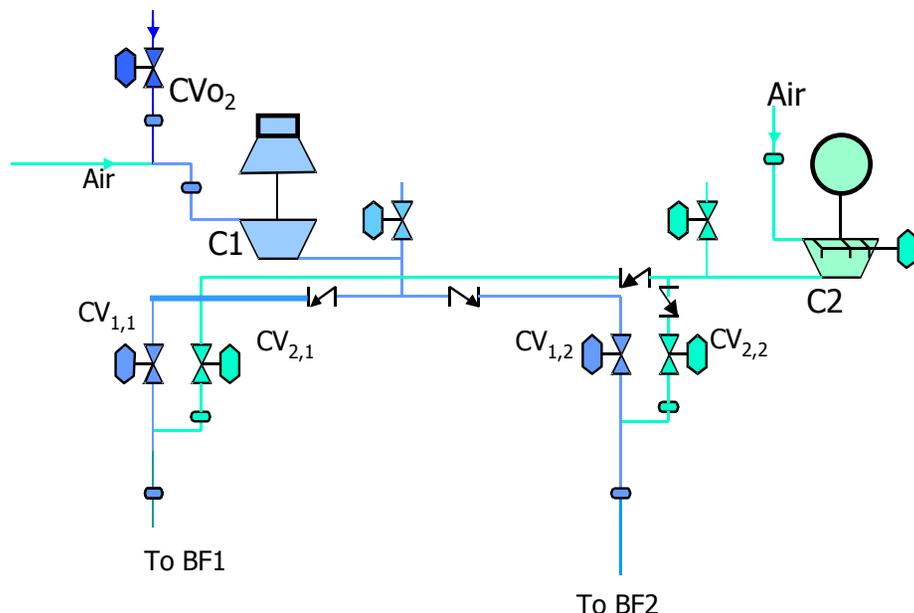




## 7а. Подача дутья на две печи от двух воздуходувок с обеспечением разного содержания кислорода

- Доменный компрессор  $C_1$  с паротурбинным приводом подает обогащенный кислородом воздух в общий коллектор нагнетания, из которого воздух через дроссельные заслонки  $CV_{1,1}$  и  $CV_{1,2}$  поступает соответственно в

коллекторы нагнетания доменных печей №№1 и 2

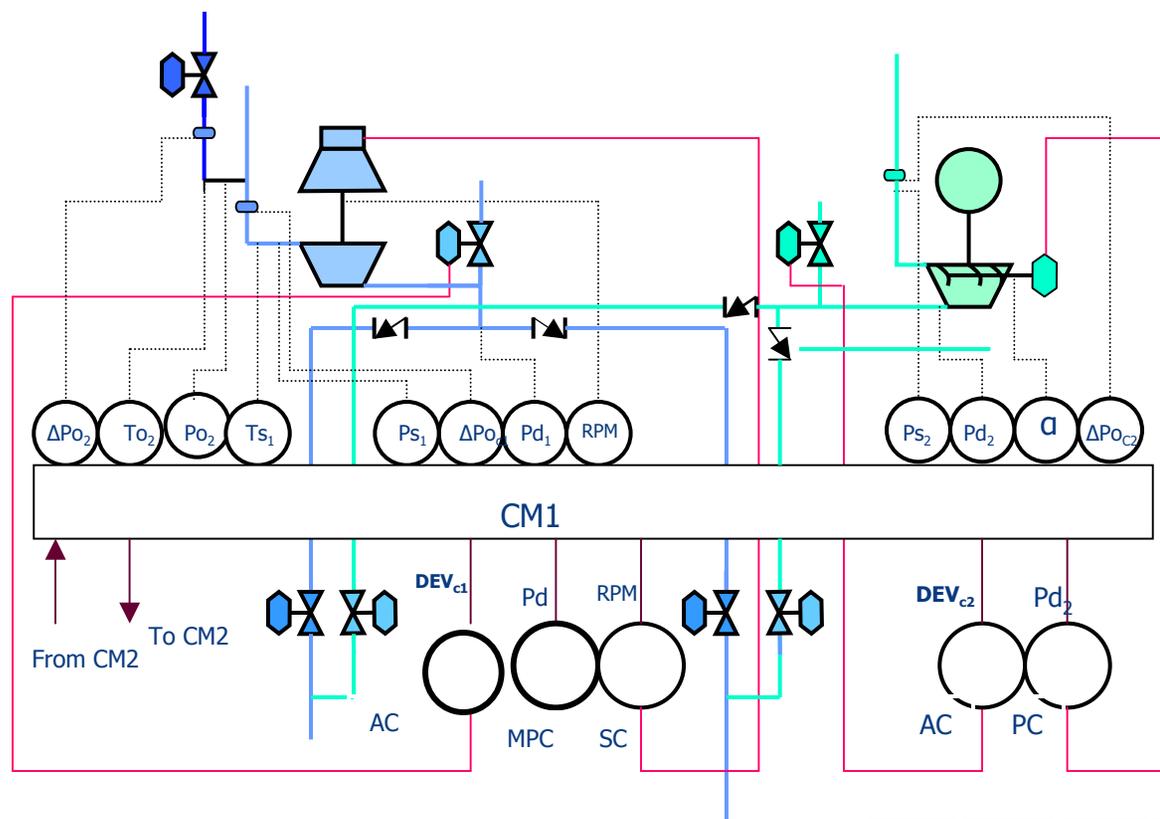


Содержание кислорода в дутье, подаваемом этим компрессором:

$$\beta_{O_2} = 0,21 + \frac{W_{C_1}}{W_{O_2}}$$

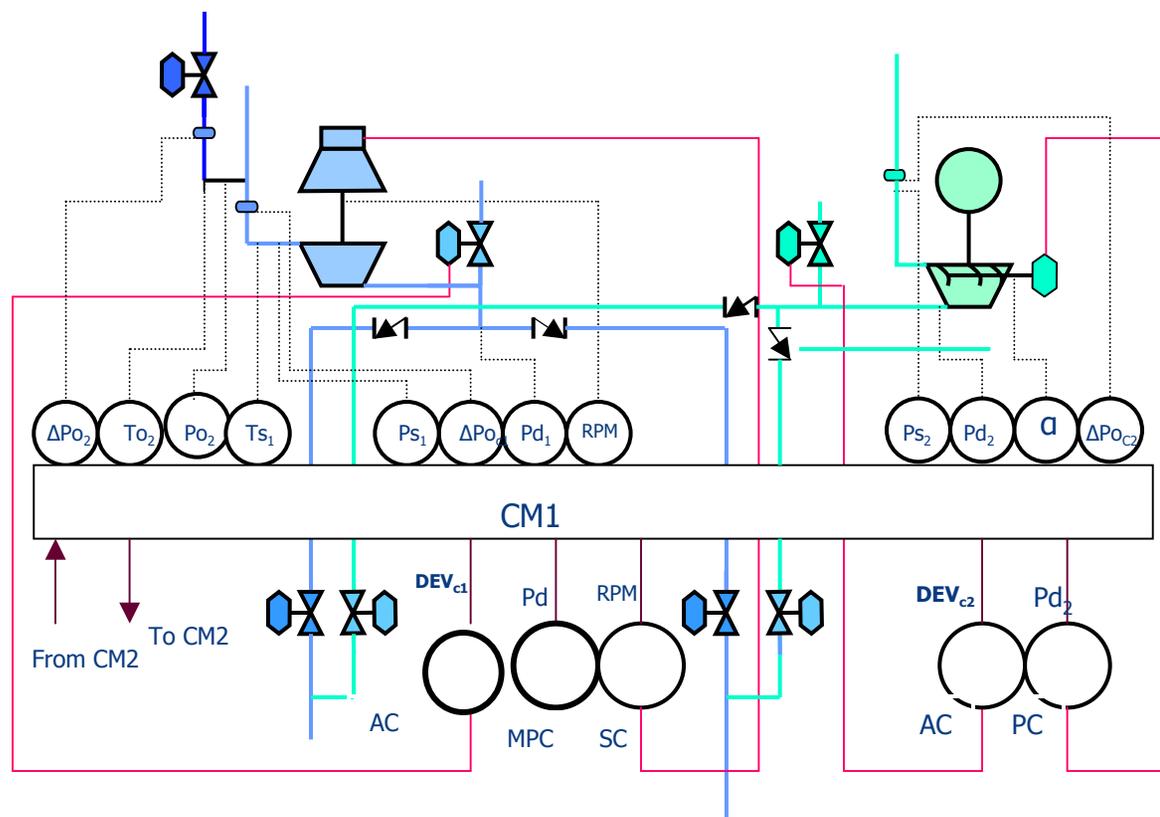


- **Контур регулирования MPC поддерживает давление в коллекторе нагнетания компрессора  $C_1$  на уровне, необходимом для подачи дутья в печь, требующую большего давления**



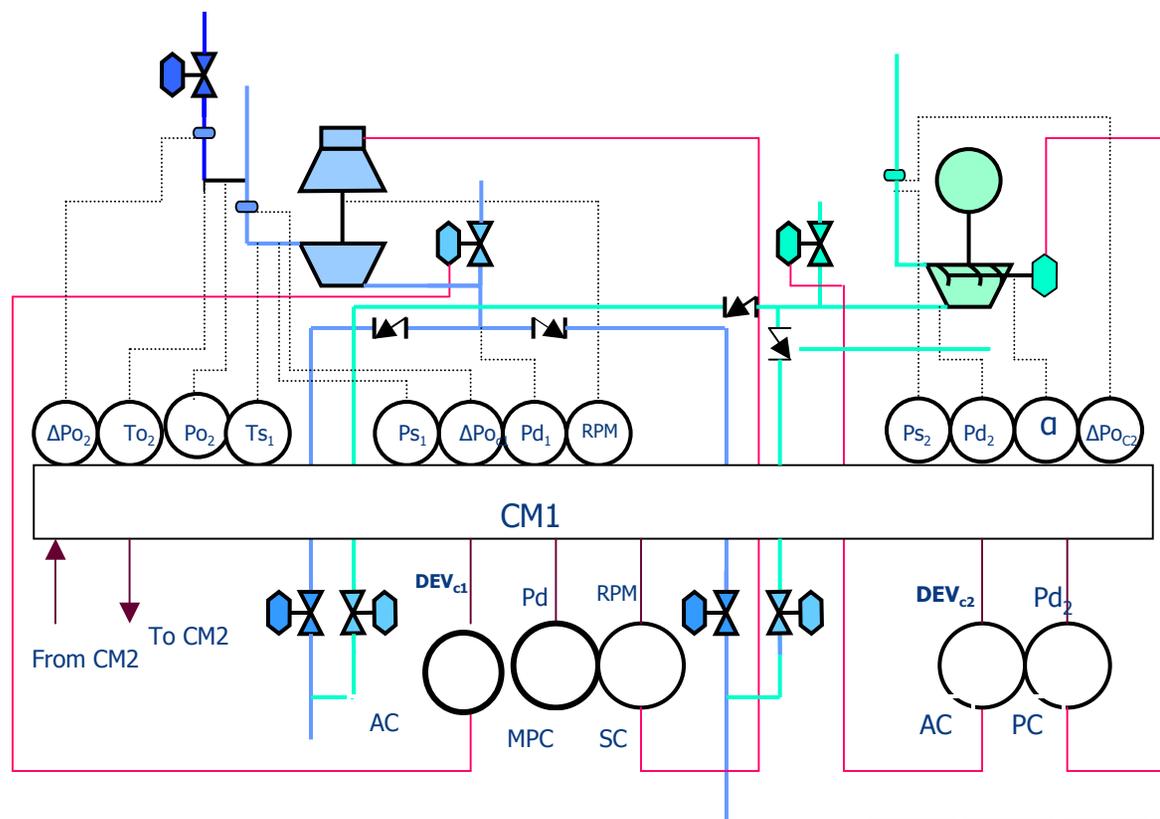


- Контур регулирования РС обеспечивает заданную разность давлений в коллекторах компрессоров  $C_1$  и  $C_2$ .





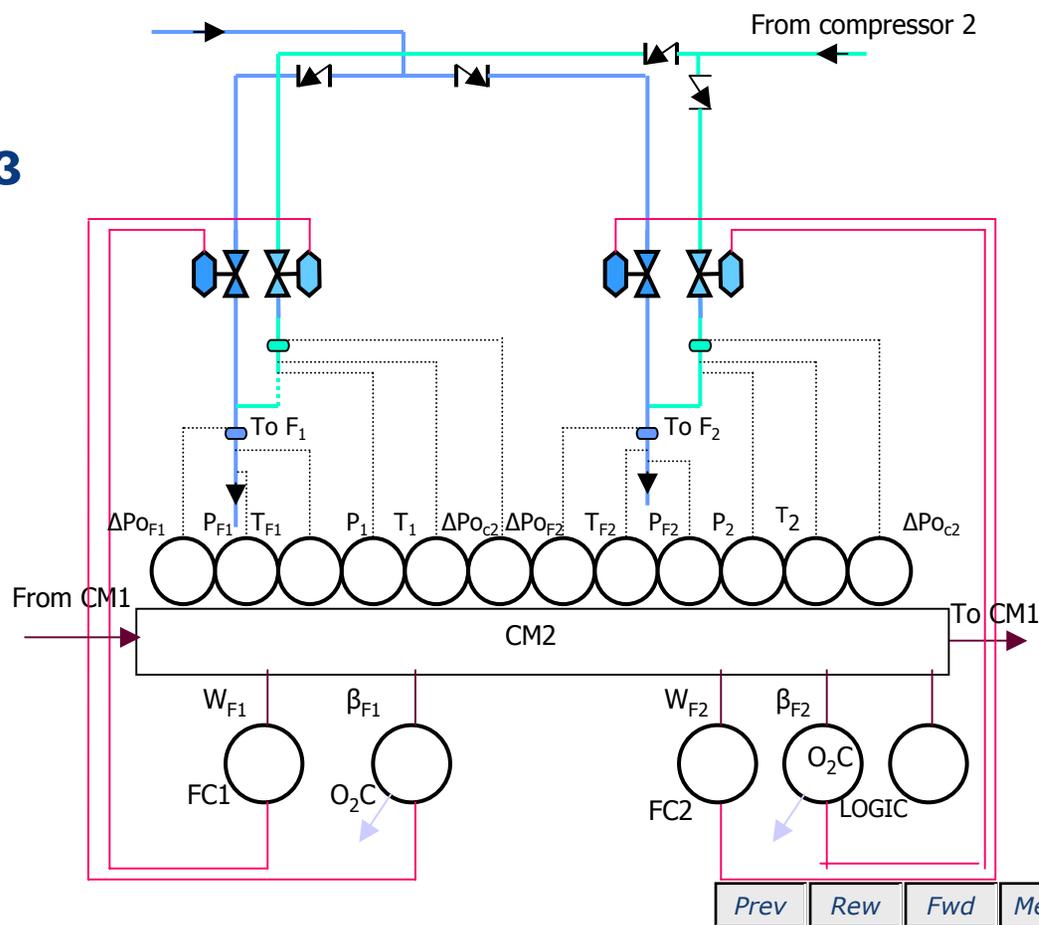
- Контур MPC по каскадной схеме меняет задание контуру регулирования скорости SC, в свою очередь меняющему производительность компрессора  $C_1$
- Контур регулирования PC управляет поворотными лопатками компрессора  $C_2$





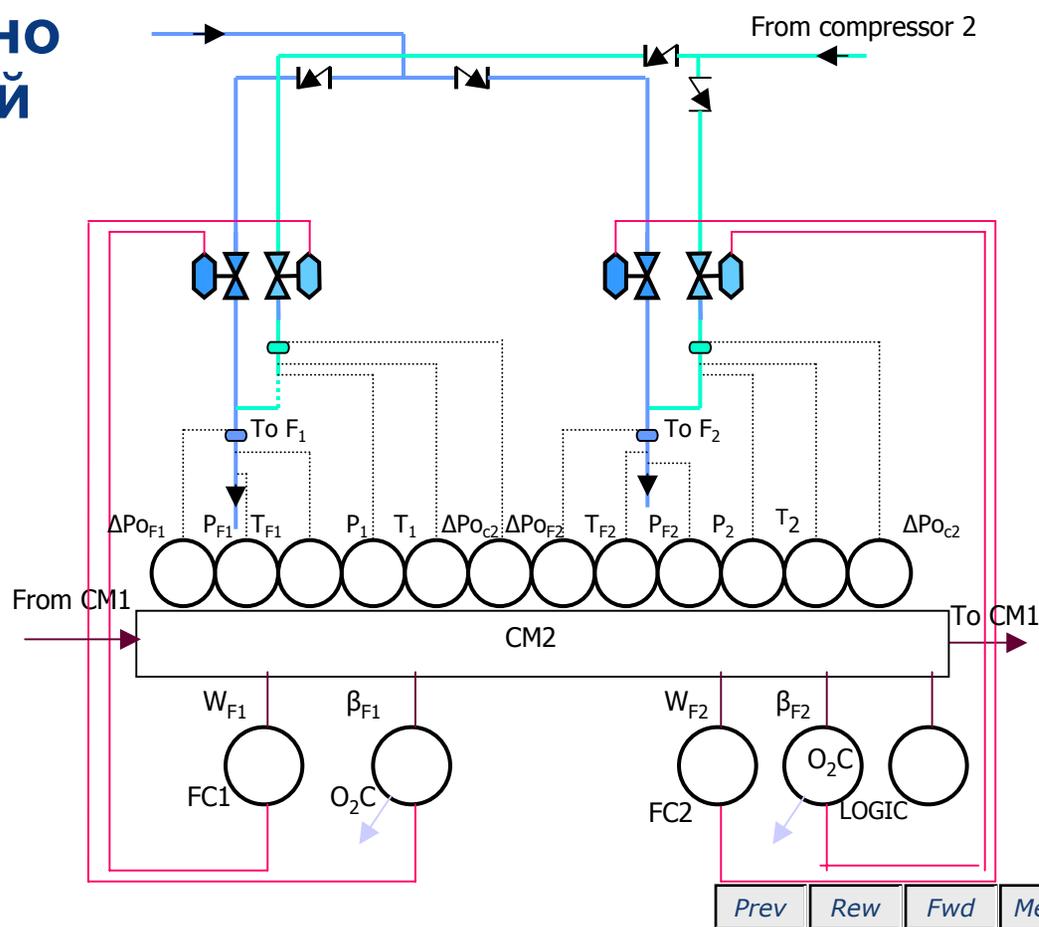
- Каждый из контуров регулирования расхода  $FC_1$  и  $FC_2$  управляет последовательно своей дроссельной заслонкой  $CV_{1,1}$  или  $CV_{1,2}$  и (после её полного открытия) заданием контуру регулирования MPC

- В каждый момент времени одна из дроссельных заслонок  $CV_{1,1}$  или  $CV_{1,2}$  полностью открыта



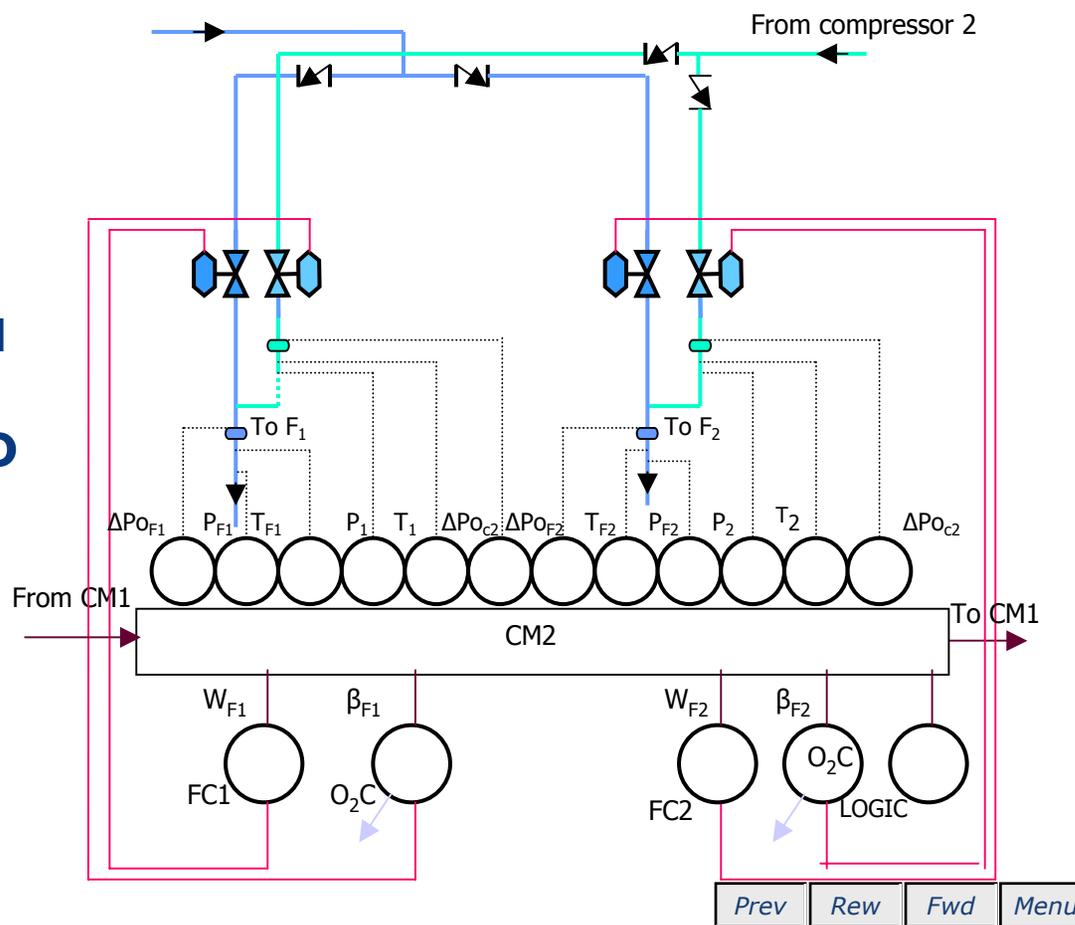


- Каждый из контуров регулирования содержания кислорода в дутье на печи №№1 или 2 последовательно управляет своей дроссельной заслонкой  $CV_{2,1}$  или  $CV_{2,2}$  и дроссельной заслонкой  $CV_{O_2}$  на подводе кислорода к компрессору С1.



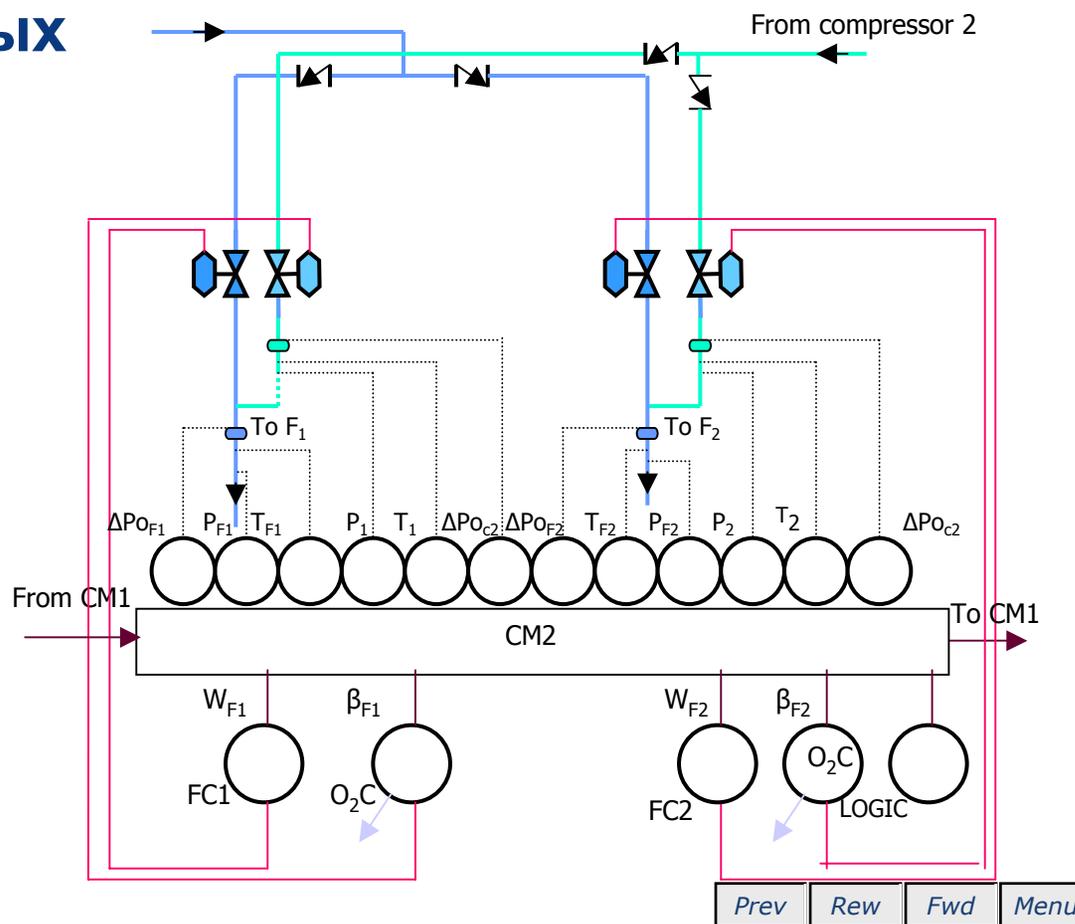


- При нормальных обстоятельствах  $SV_{O_2}$  управляется контуром, требующим более высокое содержание кислорода
- Более низкое содержание  $O_2$  обеспечивается добавкой необогащённого кислородом воздуха, поступающего от компрессора  $C_2$





- Все контуры регулирования содержания находятся в двух модулях регулирования CM1 и CM2, связанных между собой
- Один из них находится в помещении ПВС, другой в операторной доменного цеха





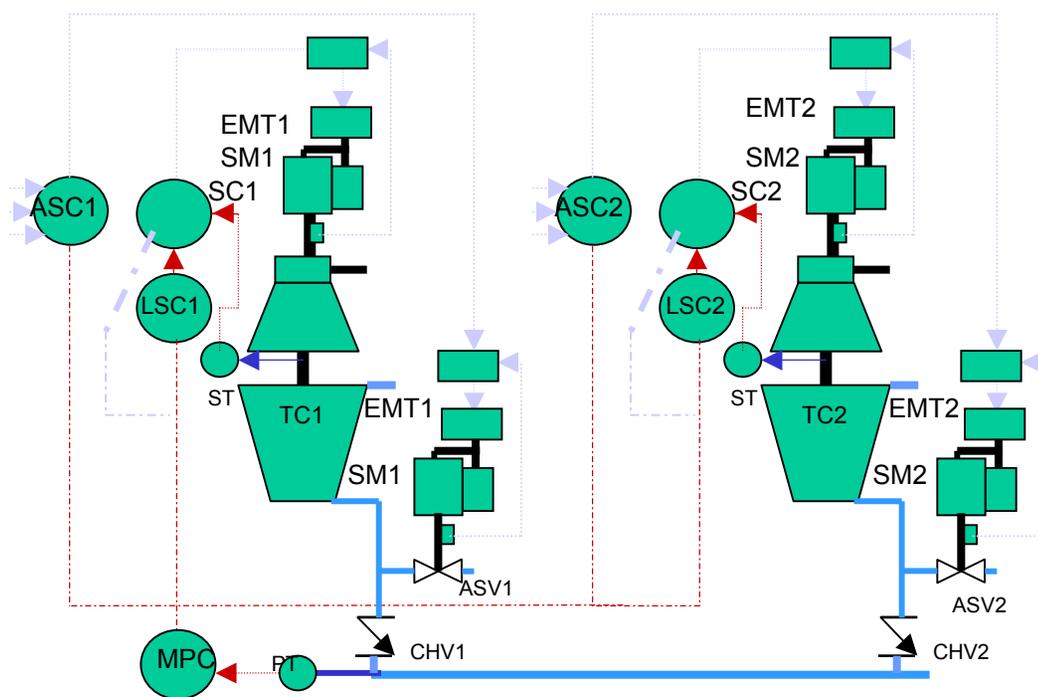
## ***D. Модернизация САР Компрессоров Кислородных Цехов***

- **Воздушные и кислородные турбокомпрессоры являются одними из главных элементов кислородного производства.**
- **В качестве привода воздушных компрессоров применяются как паровые турбины, так и электродвигатели.**
- **Как правило несколько параллельно работающих воздушных компрессоров обслуживают несколько блоков разделения воздуха.**
- **В существующих САР воздушных компрессоров с паротурбинным приводом в лучшем случае осуществляется регулирование оборотов.**
- **Производительность этих агрегатов меняется вручную, чтобы адаптироваться к меняющимся условиям всасывания.**

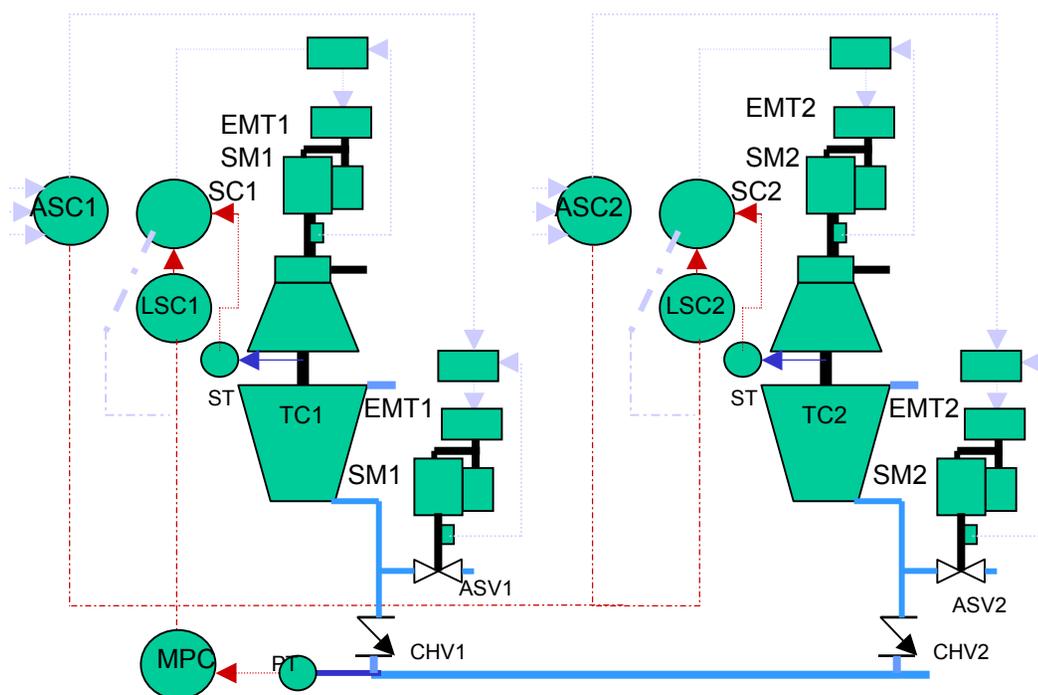


- В САР компрессоров с электроприводом производительность чаще всего меняется дроссельными заслонками, управляемыми вручную.
- Существенно реже производительность меняется поворотными лопатками во всасывании компрессоров, также управляемыми вручную.
- Автоматическое деление нагрузки отсутствует.
- Противопомпажное регулирование компрессоров также как и в доменном производстве работает неудовлетворительно.
- Модернизация САР воздушных компрессоров может обеспечить как повышение надежности, так и повышение экономичности.

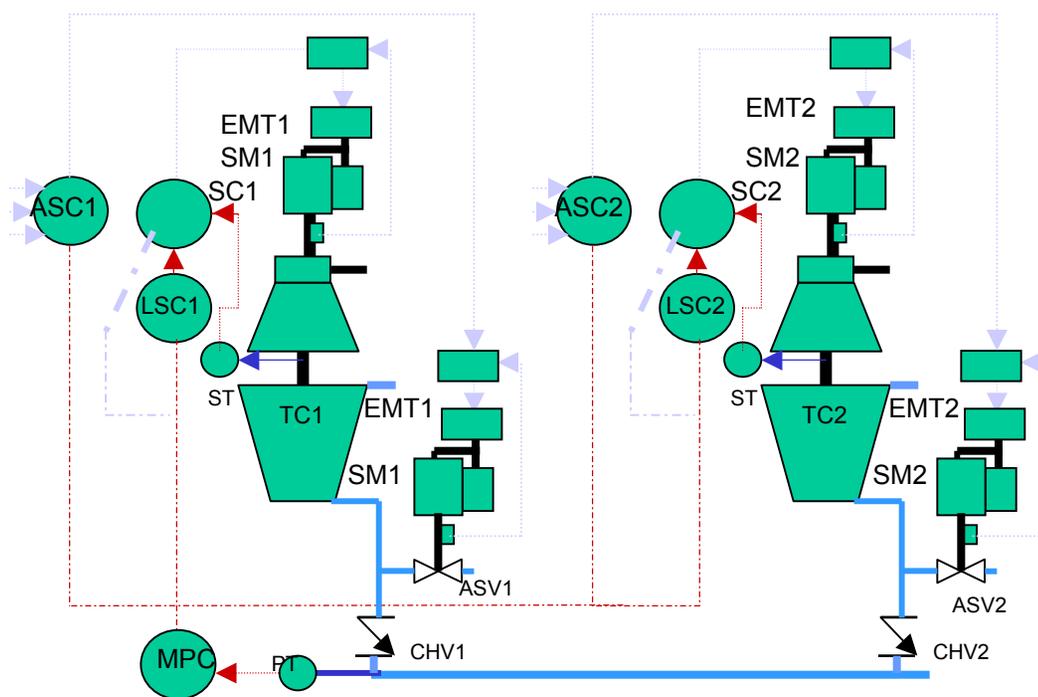
- На приведенной схеме показана САР двух воздушных компрессоров TC1 и TC2 с паротурбинным приводом.
- PID регулирующий модуль группы агрегатов MPC поддерживает давление в общем нагнетательном коллекторе на заданном уровне.

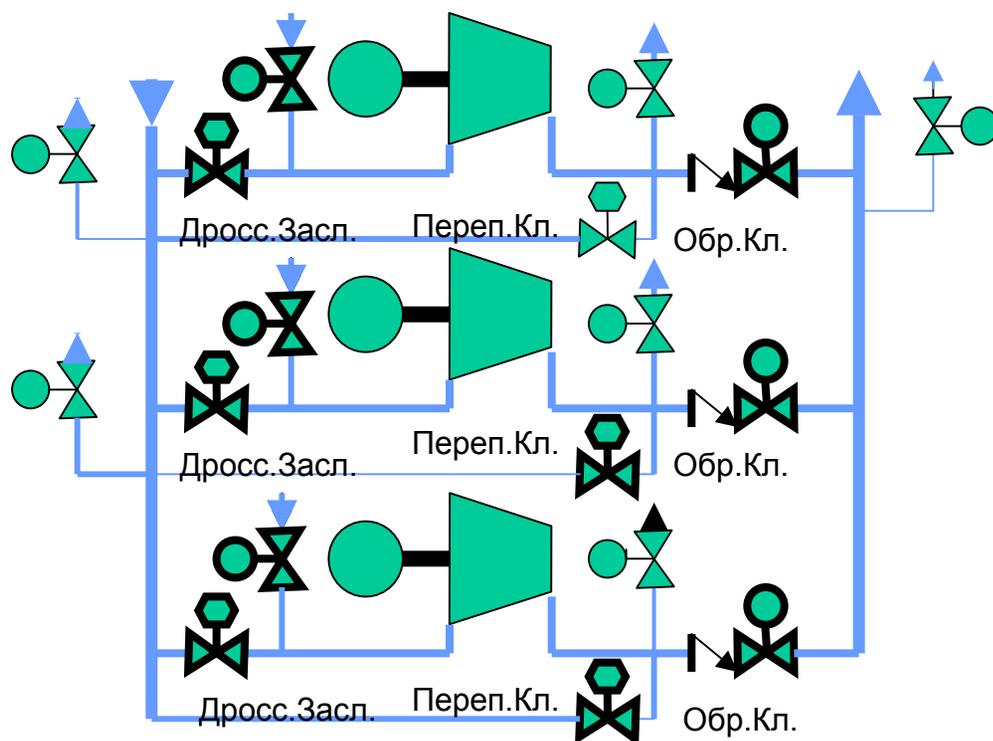


- Каждый из агрегатов управляется своим модулем регулирования скорости SC1 или SC2, который в свою очередь управляется модулем MPC и модулем деления нагрузки LSC1 или LSC2.
- Противопомпажное регулирование осуществляется модулями ASC1 и ASC2.

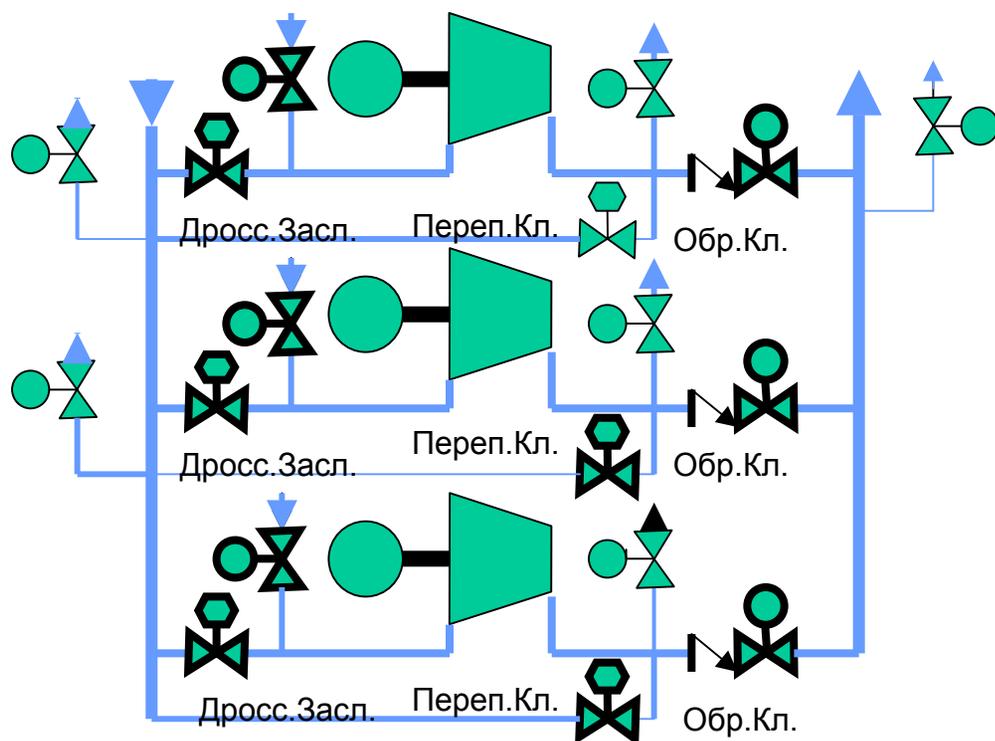


- Модули регулирования скорости и противопомпажный управляют электромеханическими преобразователями, перемещающими отсечные золотники сервомоторов системы парораспределения и выпускного противопомпажного клапана.



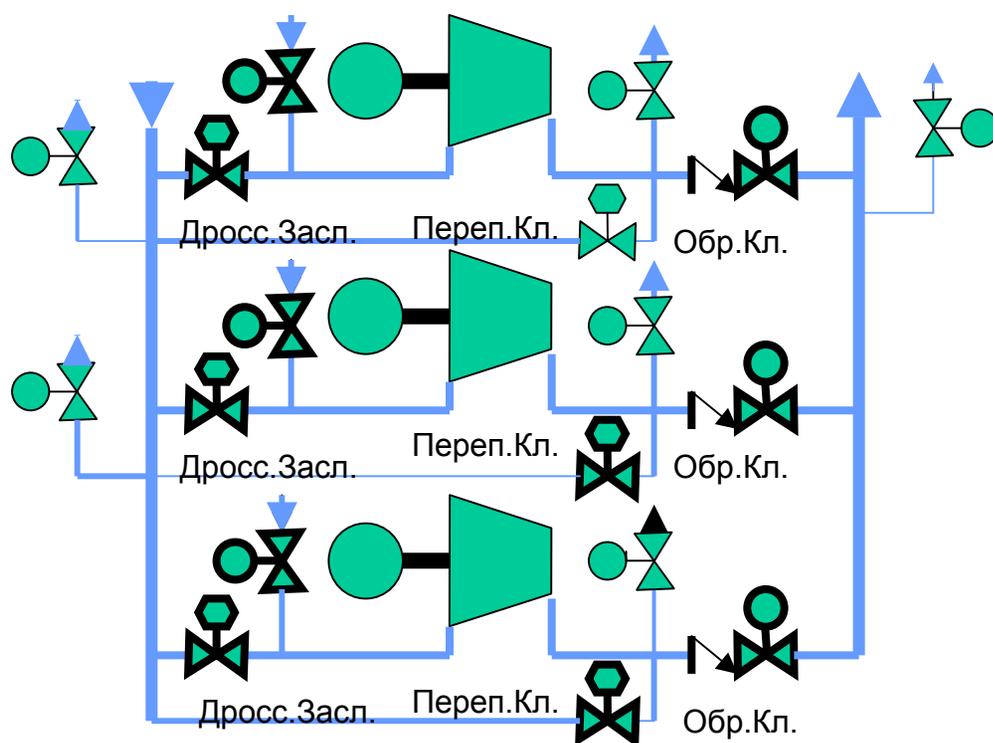


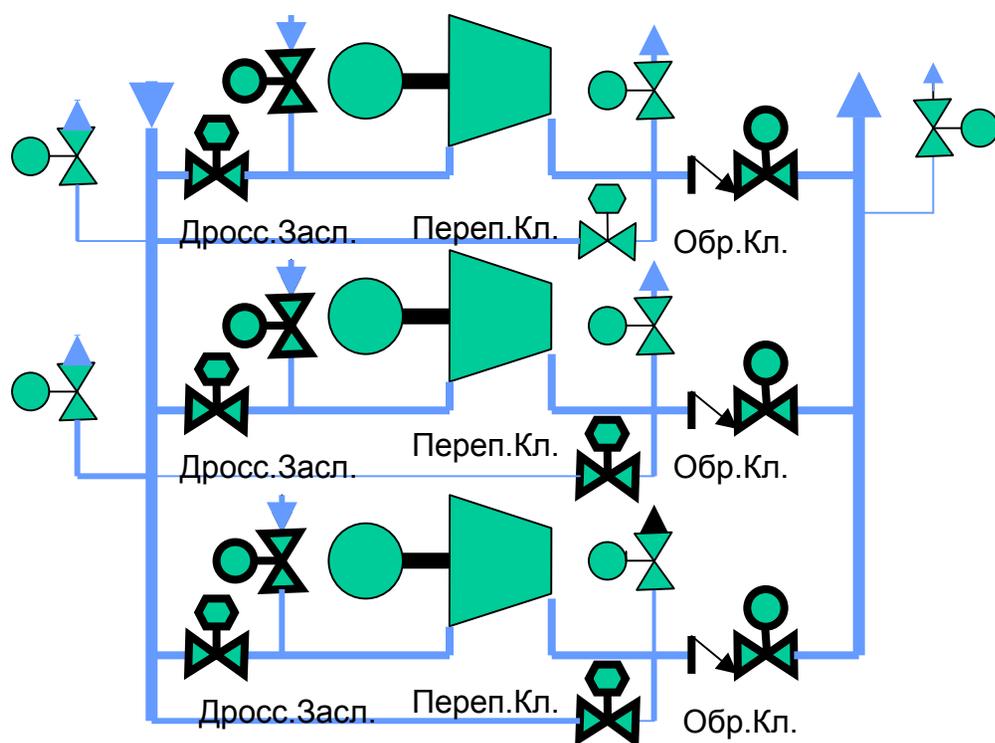
- **Схема компрессорной станции с тремя параллельно работающими кислородными компрессорами, имеющими общие коллекторы всасывания и нагнетания, показана на этом слайде.**
- **В коллекторе всасывания установлены два клапана для сброса в атмосферу.**



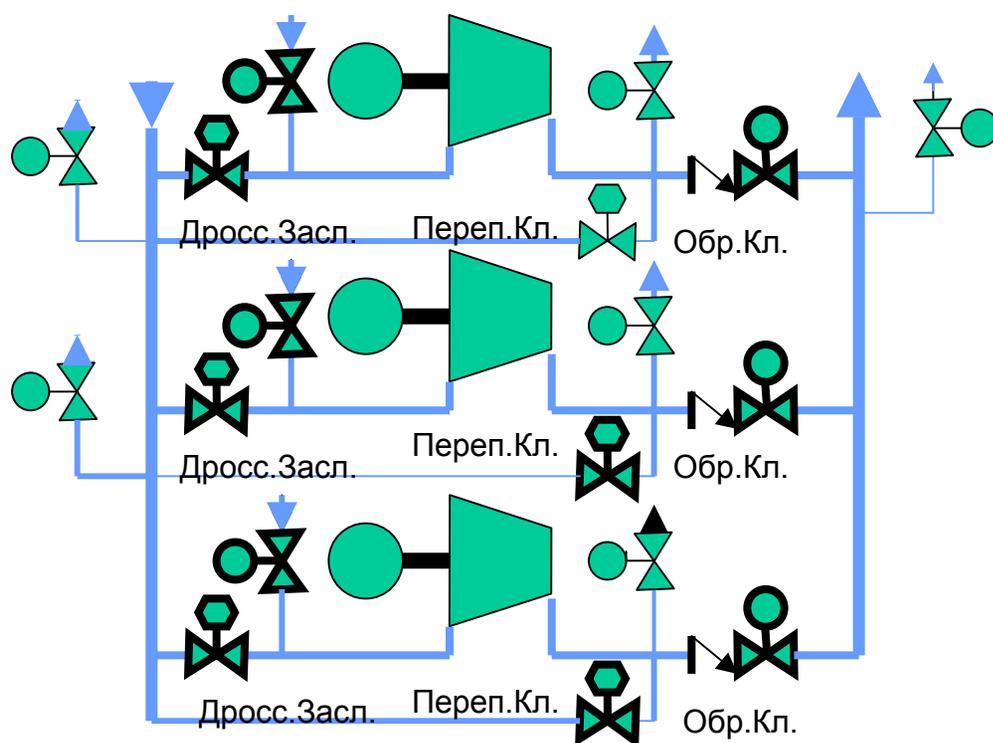
- В коллекторе нагнетания также имеется клапан сброса в атмосферу.
- Каждый компрессор имеет дроссельную заслонку во всасывании для изменения его производительности и перепускной противопомпажный клапан.

- Каждый компрессор подсоединяется к общему нагнетательному коллектору через свой обратный клапан и запорную задвижку, а к общему коллектору всасывания только через запорную задвижку.



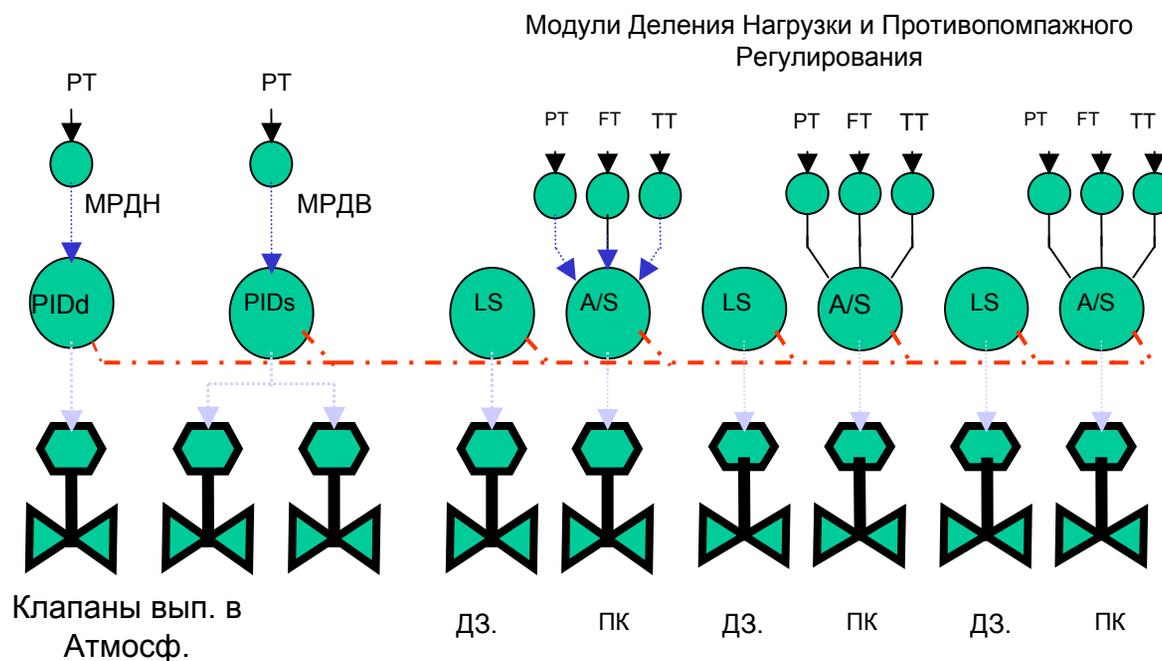


- Во всасывании и нагнетании каждого компрессора имеются электроздвижки для пуска компрессора на воздухе.
- До модернизации системы автоматического противопомпажного регулирования практически не было.

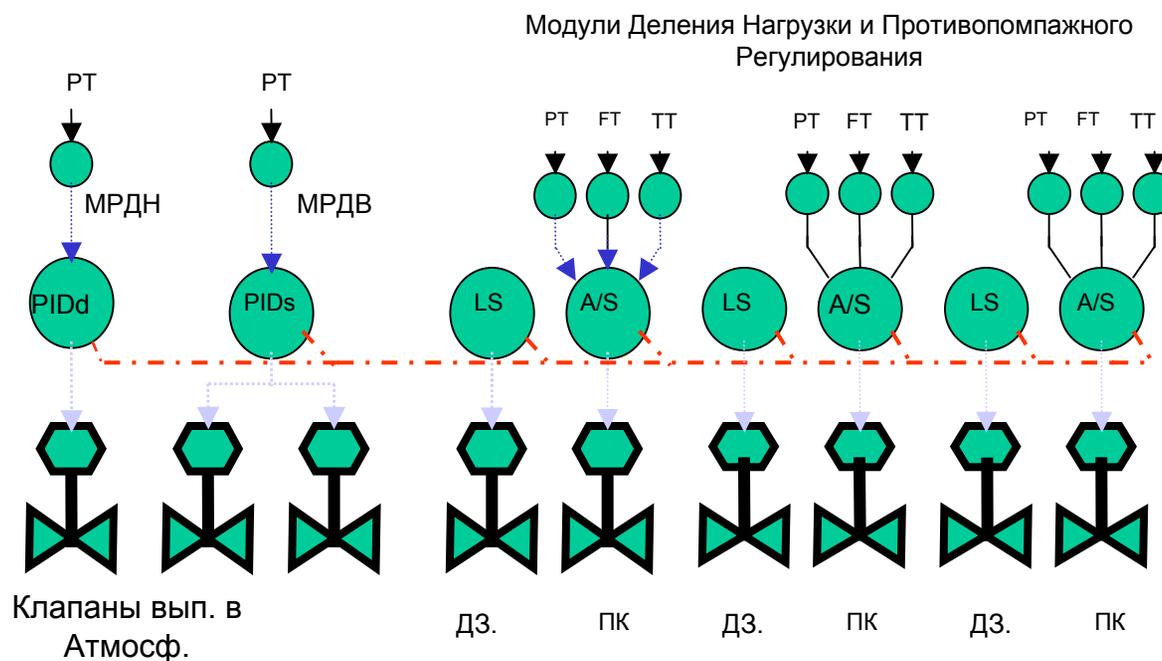


- Компрессоры до реконструкции управлялись вручную.
- Предельное регулирование давлений в коллекторах нагнетания и всасывания работало неудовлетворительно.

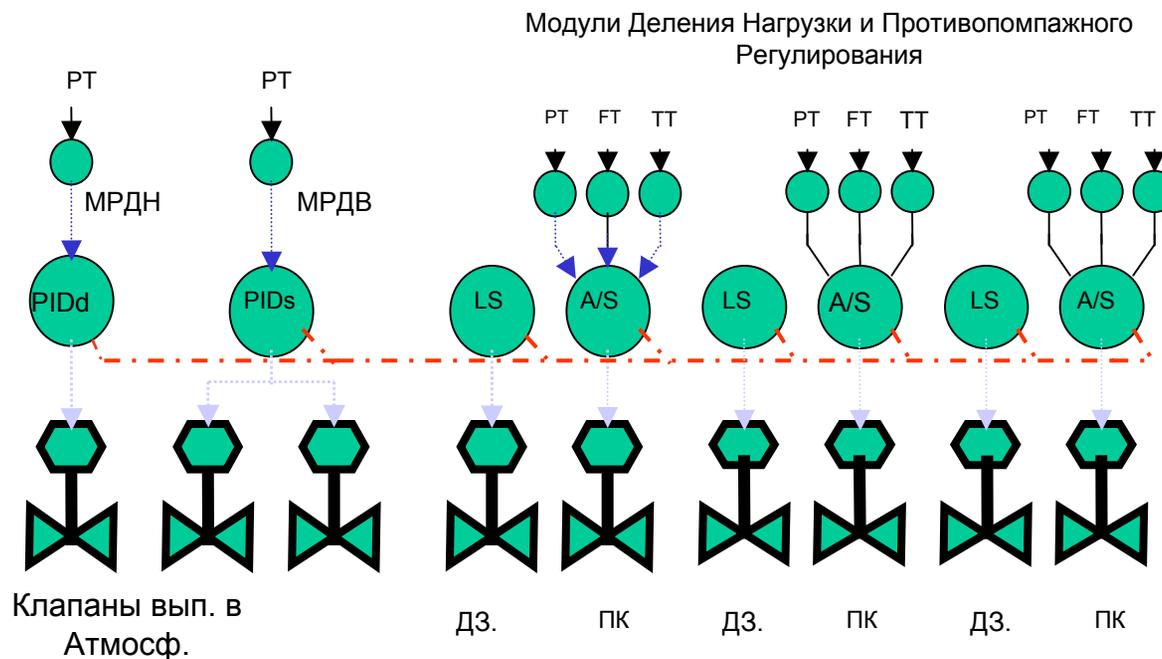
- После модернизации каждый компрессор управляется Модулем Деления Нагрузки и Станционным Мастером-Регулятором Давления Нагнетания.



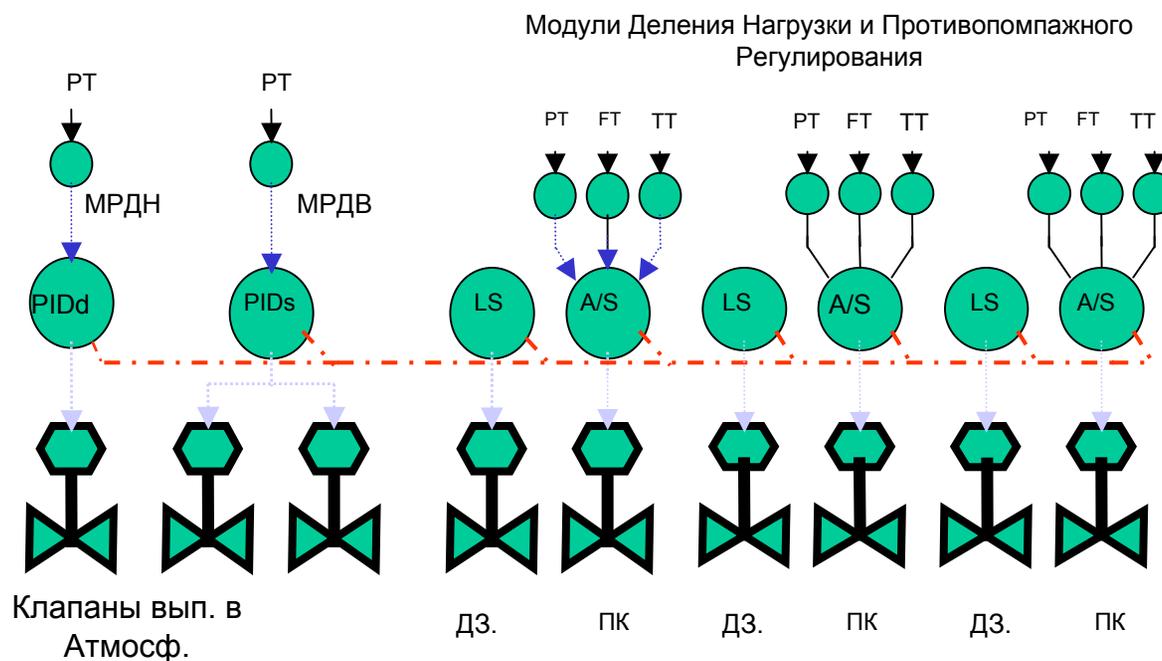
- Каждый компрессор оснащён также Модулем Противопомпажного регулирования, управляющим перепускным клапаном.



- Модули Предельного Регулирования Давления в нагнетании и Давления во всасывании управляют соответствующими сбросными клапанами в нагнетании и всасывании.



- **Специальный Логический Модуль осуществляет автоматический пуск и останов компрессоров**





# **Список Внедрений**

**САР ССС успешно работают  
во всем мире:**

- U.S. Steel (США)**
- British Steel (Великобритания)**
- Italsider Steel (Италия)**
- Hoogovens (Голландия)**
- Belgium Steel Mill (Бельгия)**
- Tata Iron & Steel Co. (Индия)**



## ***Series 5 существенно уменьшает различие между САР общего назначения и специализированными САР***

- **Системы Регулирования Общего назначения открыты, но...**
  - Страдают отсутствием специализированных прикладных программ и технологического know-how;
  - Почти всегда не обеспечивают необходимых для турбомашин эксплуатационных качеств, например быстродействия;
  - Почти всегда не имеют операционных систем, обеспечивающих детерминизм, и по-настоящему способных одновременно решать несколько задач;
  - Часто не обеспечивают возможность менять настройки во время работы.
- **Специализированные системы обеспечивают высокие эксплуатационные качества, но...**
  - Не имеют таких стандартных инструментов и поддержки, как системы общего назначения;
  - Имеют нестандартную архитектуру и нестандартную связь с оператором;
  - Потребителю такие системы представляются как некий “чёрный ящик”;
  - Их эксплуатация более дорога.



# Series 5 Платформа

- В отличие от PLCs общего назначения **Series 5** обеспечивает...
  - **Высокое быстродействие**
    - Пример: Время обмена в системе топливного регулирования газовой низкоэмиссионной турбины меньше 10 мсек.
  - **Решение сложных вычислительных задач**
    - Пример: Более медленные вычисления в сложных диагностических программах, в программах вибрационного анализа и симуляции процесса могут осуществляться параллельно с быстрыми задачами регулирования.
  - **Очень короткие промежутки между обновлениями входов и выходов**
    - Скорость обмена 1 мсек позволяет обнаруживать дефекты сигнала еще до того, как он используется в алгоритмах управления.
  - **Сокращение времени и стоимости инженерных разработок**
    - В прибор уже заложены разработанные и оттестированные алгоритмы.



# Series 5

## Открытые Стандарты

- В отличие от большинства так называемых «закрытых систем», **Series 5** основан на уже хорошо себя зарекомендовавших стандартах:
  - так называемых «открытых стандартах» сPCI
    - Power PC CPU
    - Дистанционных I/O (входы/выходы), осуществленных при помощи Profibus
  - «открытых стандартах» программного обеспечения
    - IEC-61131 Среда программирования
  - «открытых стандартах» коммуникаций
    - 10 Base-T/FL Ethernet (TCP/IP and OPC)
    - 16-bit Modbus RTU
- **Series 5** соответствует международному стандарту IEC Публикация 654, Часть 1 (1993)
  - Условия работы
    - Уровень C1 (-5 to +50 °C)
  - Условия хранения
    - Уровень C2 ( -40 to + 60 °C)



# *Series 5 vs. S3+ and S4*

- Инженеры могут создавать приспособленное к требованиям заказчика периферийное программное обеспечение
- Дистанционные входы/выходы,
- Ethernet коммуникации с OPC-сервером (программная технология на базе моделей компонентных объектов, поддерживающая автоматизацию техпроцессов и интерфейсов доступа к ним),
- Заводы-изготовители турбооборудования могут использовать стандарт IEC-61131 для создания своих программ.



# Series 5 The Product Family

## Vanguard

- сРСI
- Возможность увеличивать количество I/O
- FTA-терминалы для локальных I/O
- Возможность применения дистанционных I/O
- Ethernet & Серийные коммуникации



## Reliant

- Закрепление в панели или на стене
- Фиксированное количество I/O
- Локальные или FTA терминалы
- Серийные коммуникации





# Vanguard

- **Имеет гибкую конфигурацию аппаратного обеспечения**
- **Возможность резервирования**
- **Возможность замены модулей на ходу**
- **Снабжен средствами развития**
- **Построен на базе общедоступных стандартов**
- **Размеры плат соответствуют Европейскому стандарту**
- **Предусматривает заднее подключение сигналов и питания**





# Vanguard

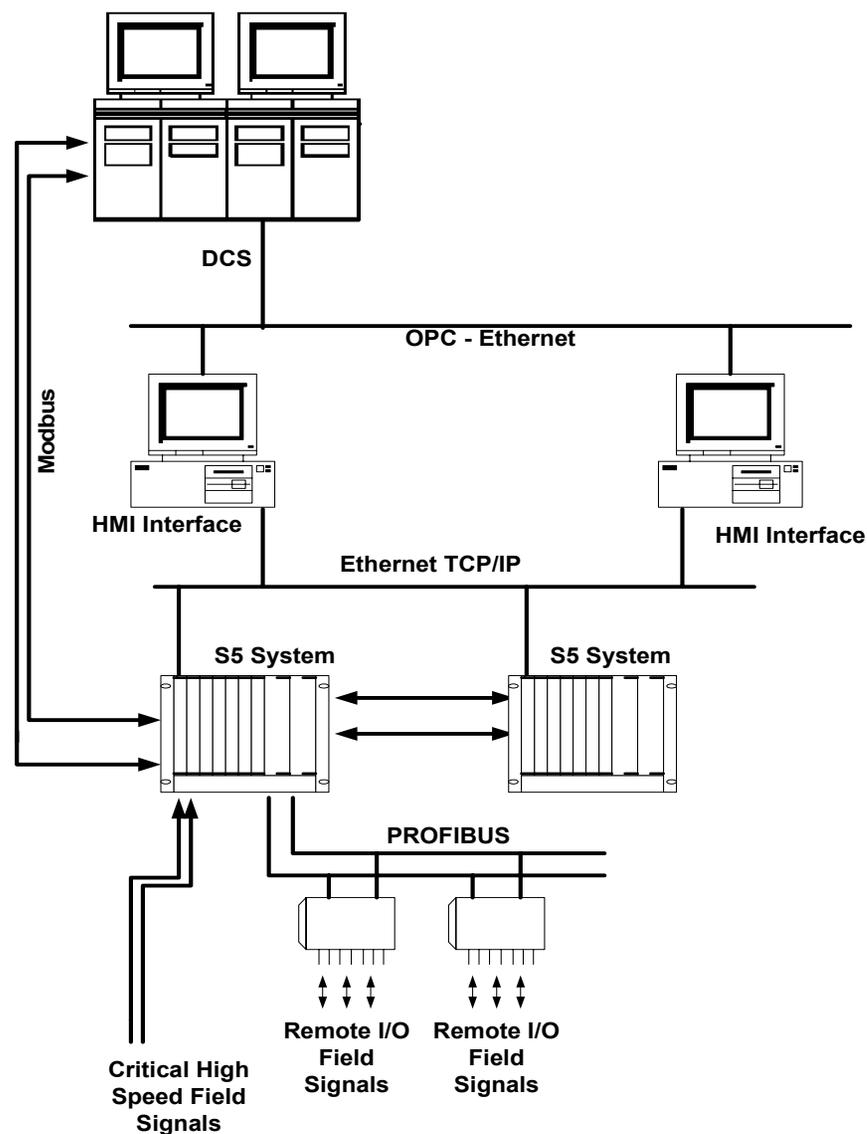
- **Стандарты и унифицированные решения**
  - **Аппаратурные стандарты и решения**
    - Шасси на базе стандарта cPCI
    - Унифицированные модульные преобразователи местного и дистанционного ввода/вывода
  - **Решения в области программного обеспечения**
    - Полномасштабная поддержка стандарта IEC-61131
    - Операторский интерфейс на базе Windows 2000 (включая OPC и ActiveX)
  - **Коммуникационные и сетевые стандарты и решения**
    - Скоростной протокол на базе стандарта 10 Base-T Ethernet (TCP/IP)
    - Индустриальный скоростной протокол Profibus DP
    - Поддержка 16-битовой версии стандарта Modbus RTU



# Vanguard

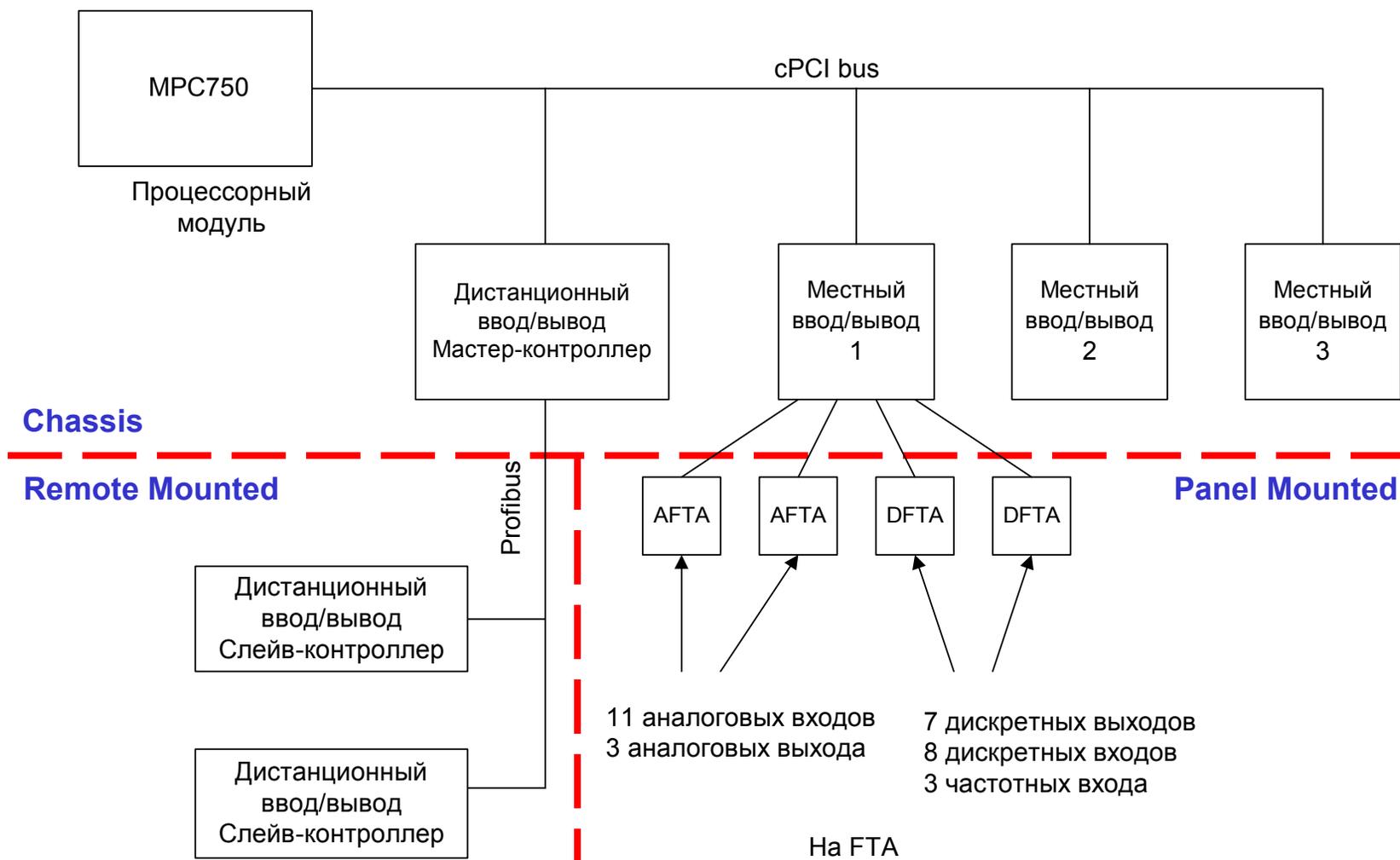
- **Оригинальные решения**
  - **Аппаратурные решения**
    - Дублированное питание всех устройств от двух независимых сетей
    - Диагностика состояния датчиков и линий связи
    - Расширенный диапазон рабочих температур для устройств дистанционного ввода/вывода до -40...+85°C
    - Защита аналоговых входов и выходов от перенапряжения до 240 В переменного тока
  - **Решения в области программного обеспечения**
    - Полномасштабная автоматизация проектирования на единой базе данных
  - **Коммуникационные и сетевые стандарты и решения**
    - Резервированный 10 Base-T Ethernet (TCP/IP) на оптоволокне

- Соединение с DCS или с системой более высокого порядка при помощи Ethernet OPC или Serial Modbus
- Ethernet OCl к панели управления
- Основанные на индустриальном протоколе Profibus дистанционные I/O
- Локальные I/O для быстрых сигналов

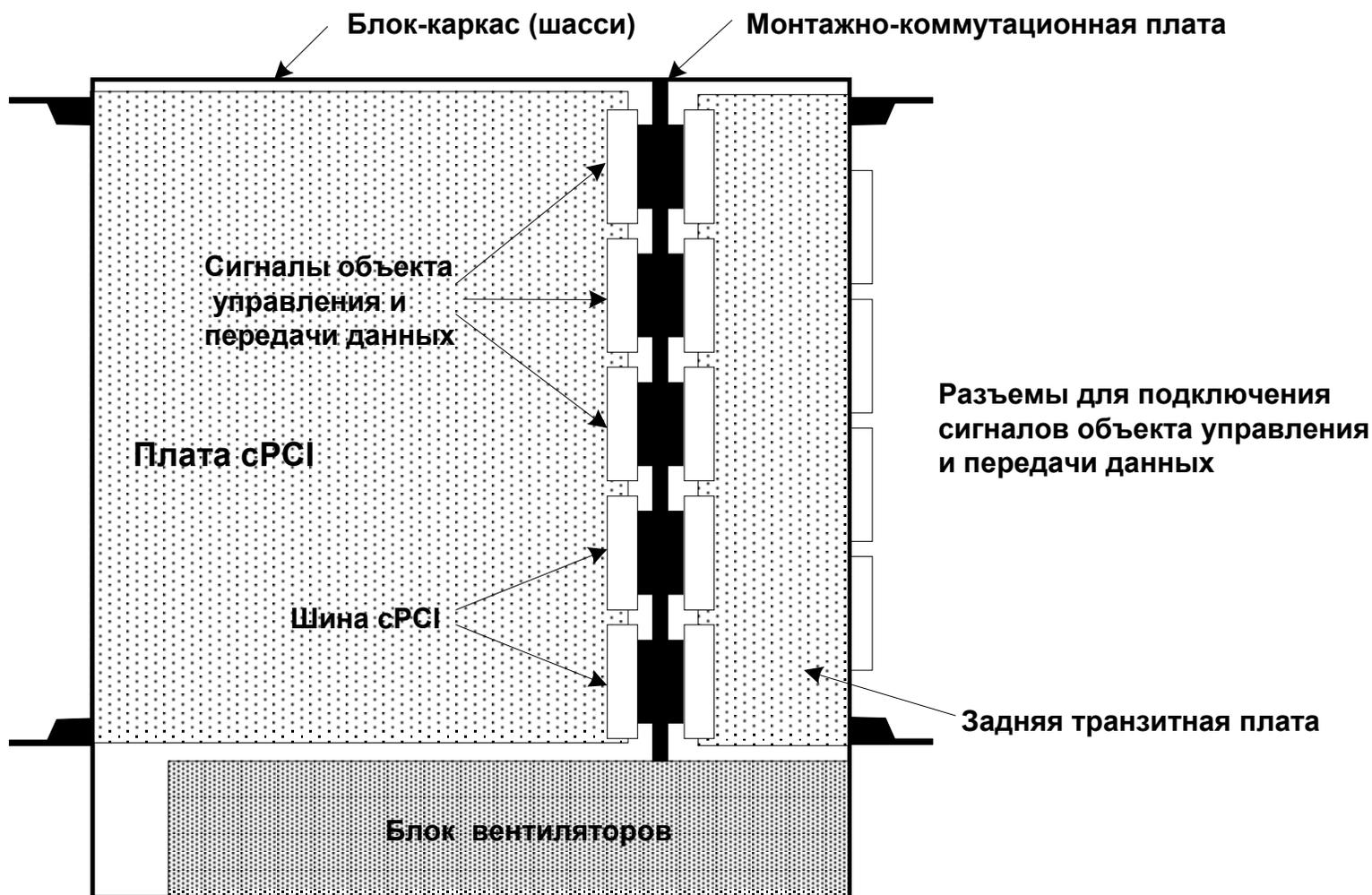




# Нерезервированный Vanguard



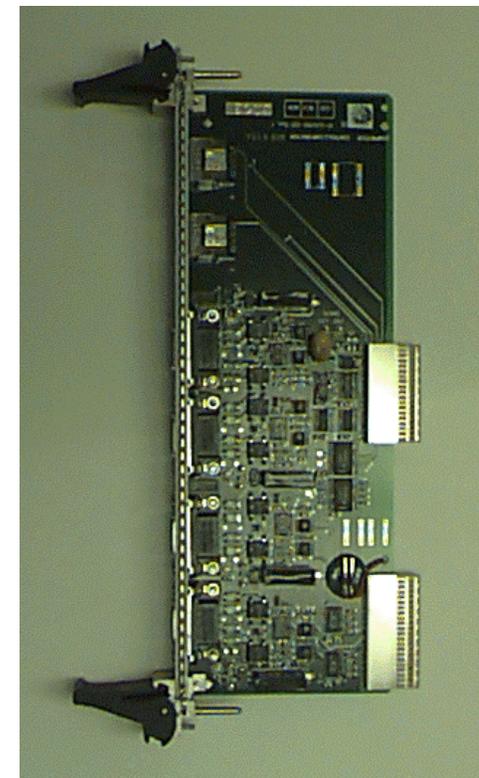
# Vanguard блок-каркас (вид справа)



# Vanguard

## Задняя транзитная плата процессорного модуля

- Позволяет осуществлять соединения с входами / выходами с задней стороны шасси
- Обеспечивает удобные разъёмы для коммуникаций:
  - TMPU-750-X
    - 4 порта RS-485 (DB-9F разъёмы) с оптической изоляцией, защитой от ЭСЭ и светодиодной индикацией (TX/RX)
    - 2 порта Ethernet TIOC-555 (разъёмы RJ-45 copper, или ST - fiber), 10/100BaseT
    - 4 разъёма I/O высокой плотности,
    - 1 DB-9F разъём для порта RS-485
  - TRCC-PBM
    - 2 DB-9F разъёма для Profibus
- Обеспечивает защиту контуров





# *Vanguard* Плата Главного Микропроцессора (MPU)

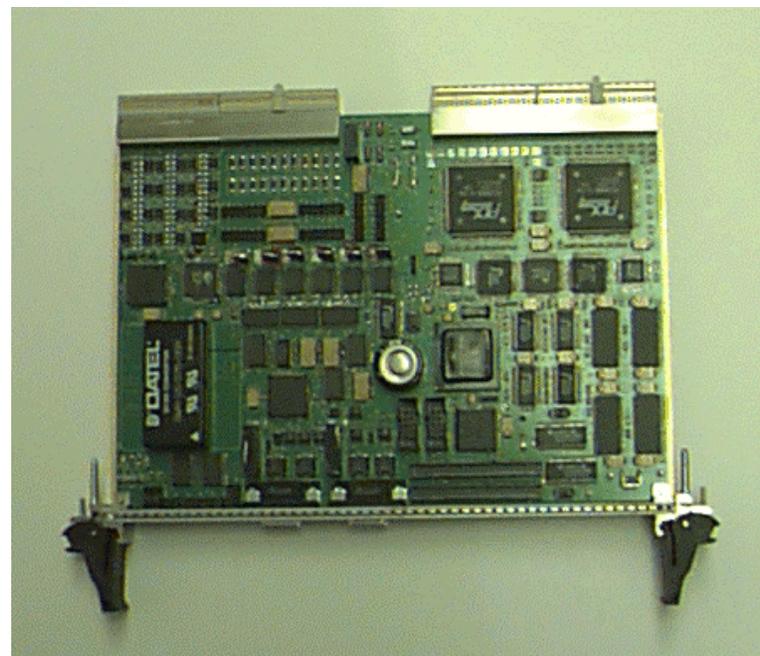
- Процессор PowerPC 233 MHz 32 bit  $\mu$ P
- 3 канала Ethernet
- 4 порта RS-485
- Неразрушаемая память для программ и данных (NVRAM)
- ОС-PV OSE



# Vanguard

## Модуль местного ввода/вывода

- 22 аналоговых ВХОДОВ
- 6 аналоговых ВЫХОДОВ
- 16 дискретных ВХОДОВ
- 14 дискретных ВЫХОДОВ
- 6 частотных ВХОДОВ
- 1 порт RS-485
- реле неполадки НО/НЗ
- светодиоды для индикации состояния
- Измерение температуры внутри модуля.
- Скорость замера - 1 мсек





# ***Vanguard*** **Модуль местного ввода/вывода** (продолж.)

- **Прецизионная проверка A/D Конвертера**
- **Обратная связь на выходы**
- **Преобразует, фильтрует и калибрует аналоговые сигналы с циклом опроса 1 мс**
- **Имеет встроенный эталонный источник для калибровки аналоговых сигналов**
- **Производит контроль смены состояния для дискретных входов**
- **Реагирует на смену состояния дискретных выходов**
- **Имеет быстродействующие частотные входы**



# Устройство связи с объектом

- Фиксированное расположение сигналов по типам
- Дублированный ввод питания
- Непрерывный контроль и индикация состояния вводов питания
- Стандартные и специальные модульные преобразователи сигналов:
  - специальные аналоговые модули обеспечивают диагностику линий связи с объектом и защищены от перенапряжения до ~240 В





# Местные аналоговые сигналы

- **аналоговые входы**
  - Ток, напряжение (вольты, милливольты), ТСП/ТСМ, ТХА/ТХК
  - Точность - 0.15 %
  - Разрешающая способность -15 бит
  - Два эталонных источника для калибровки преобразователей
  - Диагностика линий связи и датчиков
  - Гальваническая изоляция
  - Защита от перенапряжения
- **аналоговые выходы**
  - Ток 4 – 20 мА
  - Точность - 0.15 %
  - Разрешающая способность -12 бит
  - Диагностика обрыва линии связи
  - Гальваническая изоляция
  - Защита от перенапряжения



# Местные дискретные сигналы

- Дискретные ВХОДЫ
  - $\sim/\approx$  110/220 В
  - $\sim/\approx$  24 В
  - Светодиодная индикация состояния
  - Гальваническая изоляция
- Дискретные выходы
  - Электро-механические реле
    - $\sim$ 250 В до 5 А
  - Полупроводниковые реле
    - $\approx$ 260 В до 1 А
  - Светодиодная индикация состояния
  - Гальваническая изоляция
  - Предохранители для защиты выходов





# Местные частотные входы

- Специализированный нормирующий модуль
- 6 - 20000 Гц





# **Подсистема дистанционного ввода/вывода**

- **Распределенная система построена на базе промышленного протокола Profibus DP (до 12 мбит/с)**
- **Предназначена главным образом для некритических контуров управления**
- **До 16 слейв-контроллеров на один мастер-контроллер**
- **До 32 сигналов на один слейв-контроллер**
- **Диапазон рабочих температур: от - 40 до + 85°C, (для релейных выходных модулей (- 40 ... + 65°C))**



# Подсистема дистанционного ввода/вывода

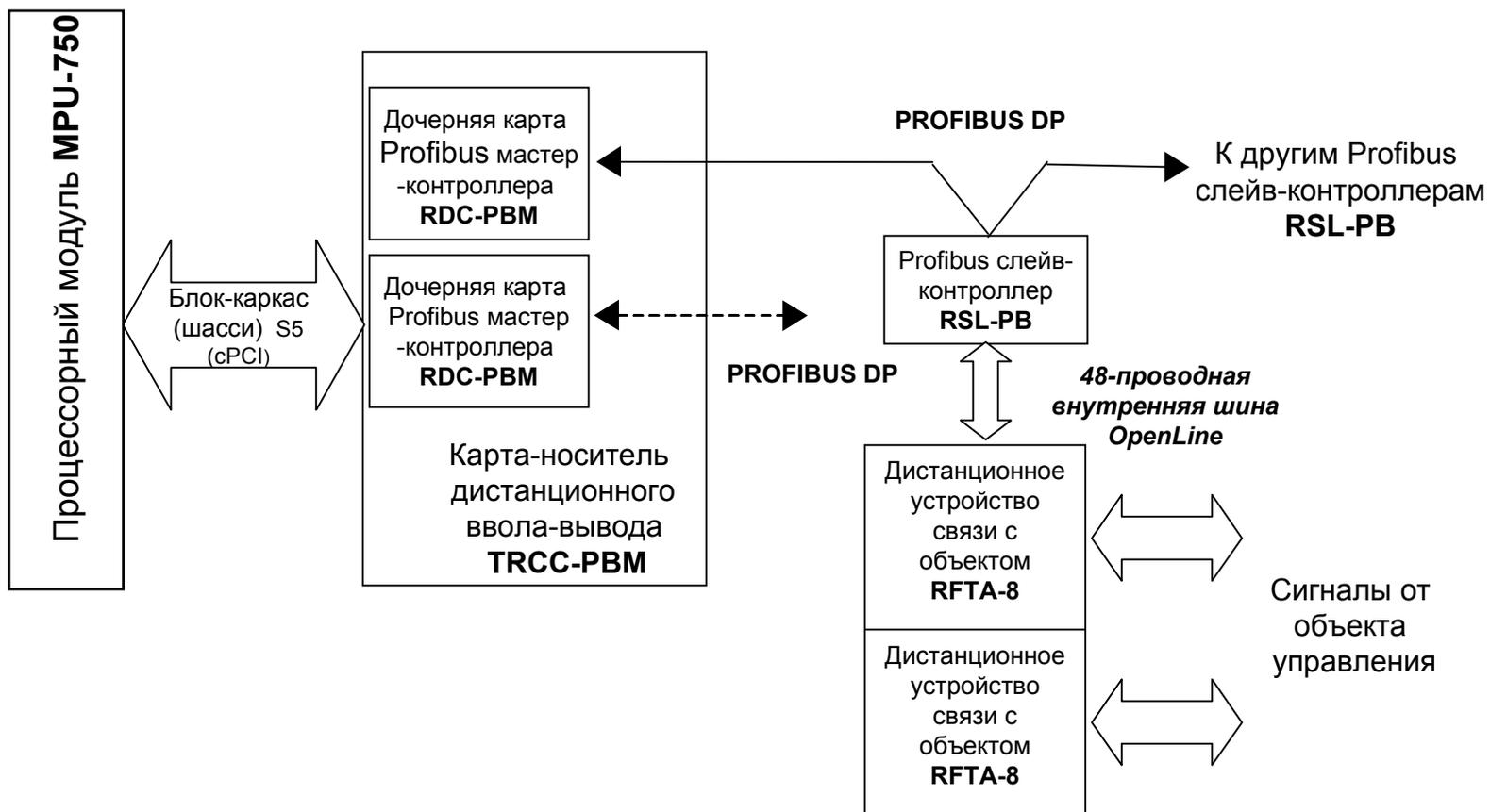
Внешний вид слейв-контроллера с двумя дистанционными устройствами связи с объектом и модульными преобразователями





# Подсистема дистанционного ввода/вывода

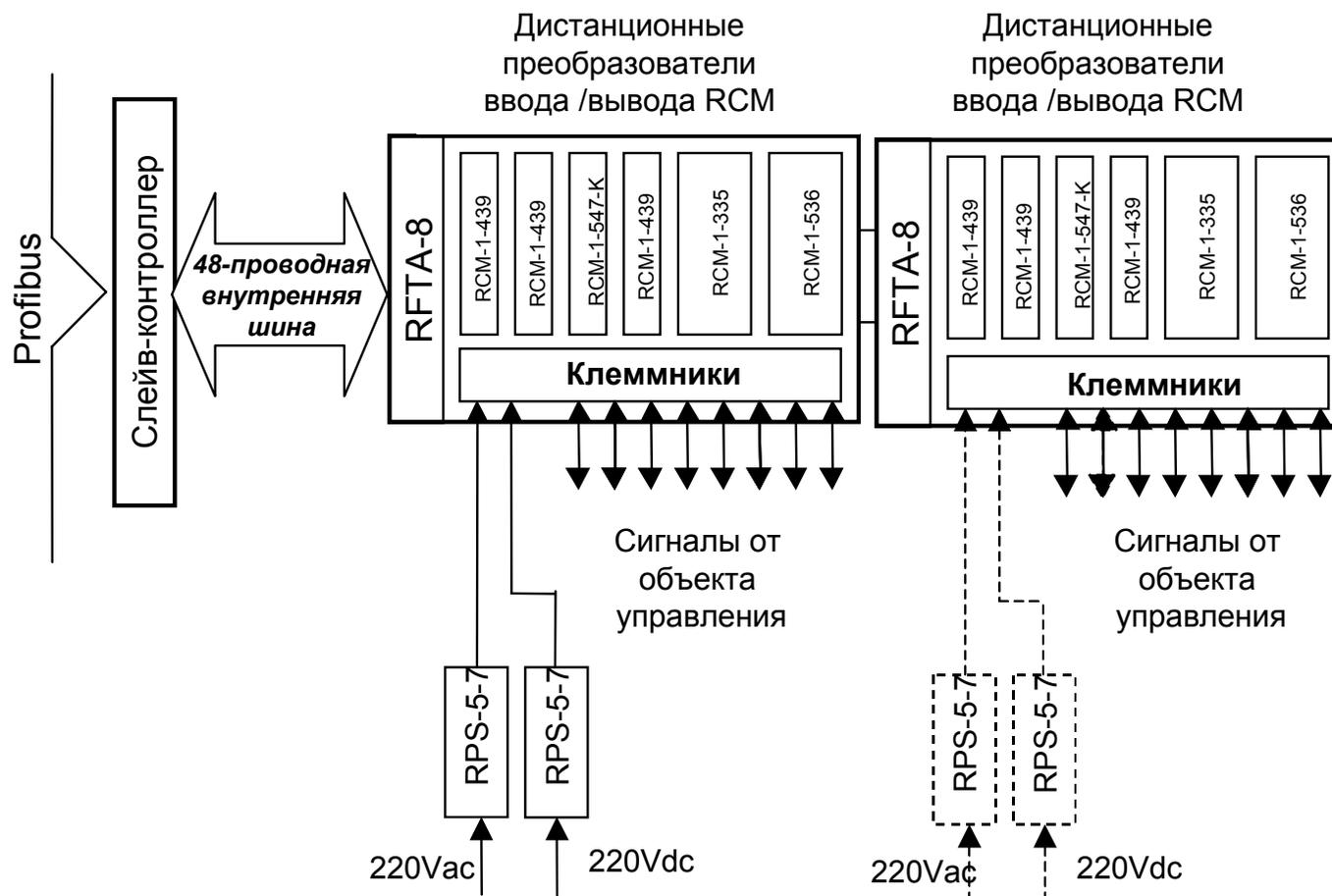
## Упрощенная структура





# Подсистема дистанционного ввода/вывода

## Упрощенная структура (продолжение)





# Дистанционные аналоговые сигналы

- **Аналоговые входы**
  - Двухканальные модули
  - Ток, напряжение (вольты, милливольты), ТСП/ТСМ, ТХА/ТХК
  - Точность - 0.15 %
  - Разрешающая способность -12 бит
  - Диагностика линий связи и датчиков
  - Гальваническая изоляция между модулями
  - Защита от перенапряжения
- **Аналоговые выходы**
  - Двухканальные модули
  - Ток 4 – 20 мА
  - Точность - 0.15 %
  - Разрешающая способность -12 бит
  - Диагностика обрыва линии связи
  - Гальваническая изоляция
  - Защита от перенапряжения



# Дистанционные дискретные сигналы

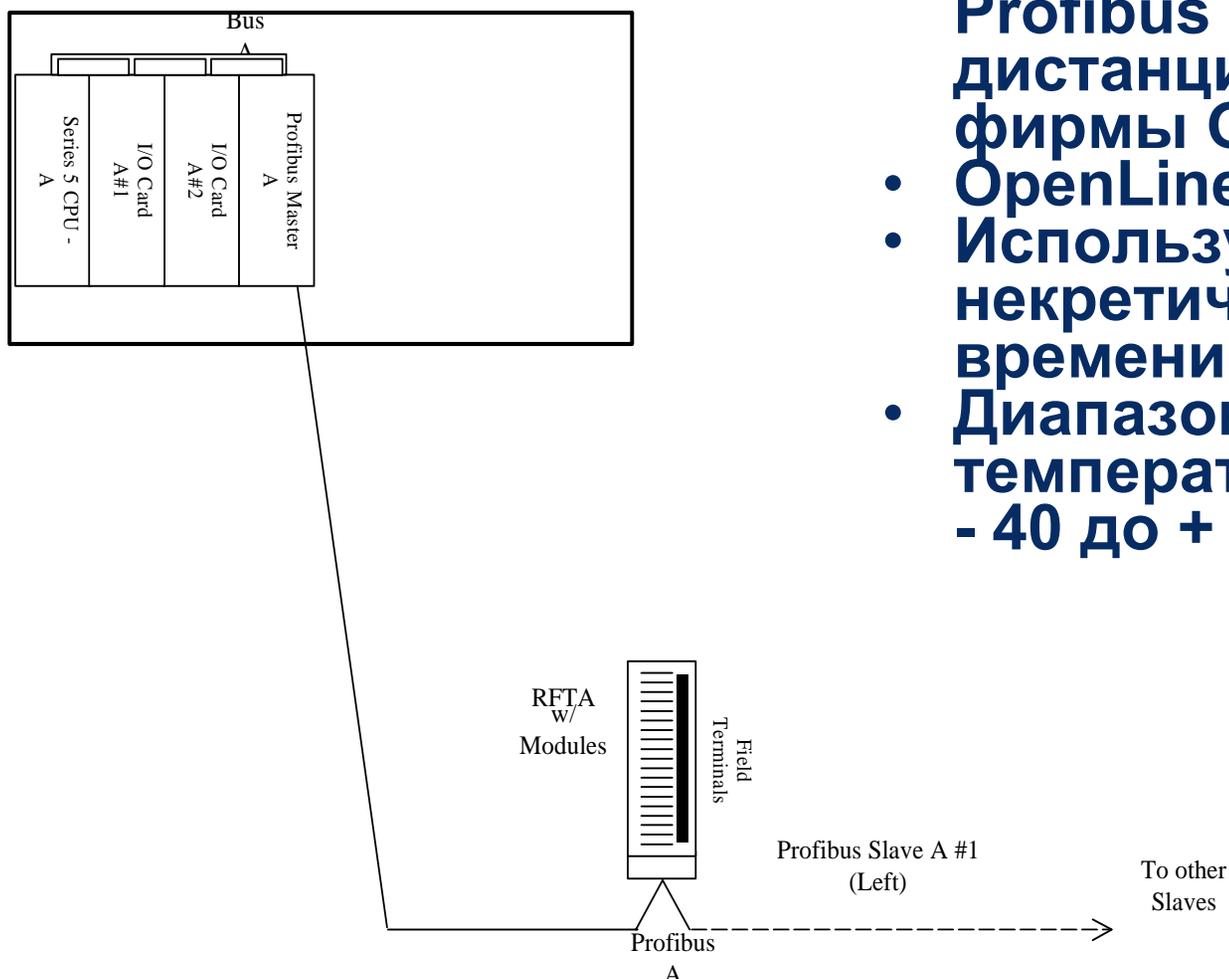
- **Дискретные входы**
  - Двухканальные модули
  - $\sim/\simeq$  110/220 В
  - $\sim/\simeq$  24 В
  - Специальные модули со встроенным контролем цепи
  - Светодиодная индикация состояния
  - Гальваническая изоляция
- **Дискретные выходы**
  - Двухканальные модули
  - Электро-механические реле  $\sim$ 250 В до 5 А
  - встроенный контроль цепи
  - полупроводниковые реле  $\simeq$ 260 В до 1 А
  - светодиодная индикация состояния
  - Гальваническая изоляция
  - Предохранители для защиты выходов





# Недублированные дистанционные I/O

Series 5 Controller Chassis

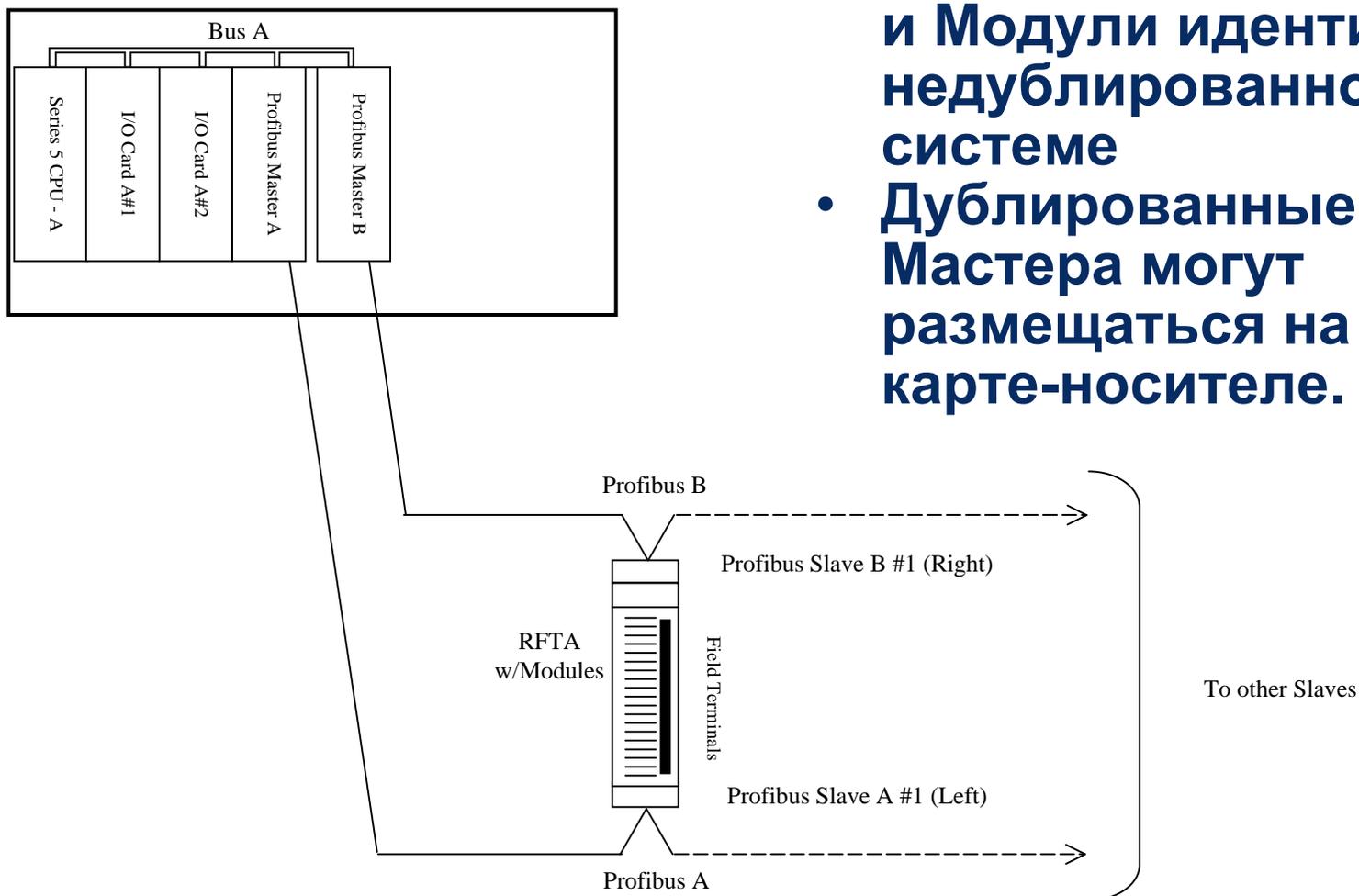


- Улучшенная версия базирующихся на Profibus дистанционных I/O фирмы Grayhill
- OpenLine™ I/O
- Используются для I/O, некритичных по времени
- Диапазон рабочих температур:  
- 40 до + 85°C



# Дублированные дистанционные I/O

Series 5 Controller Chassis

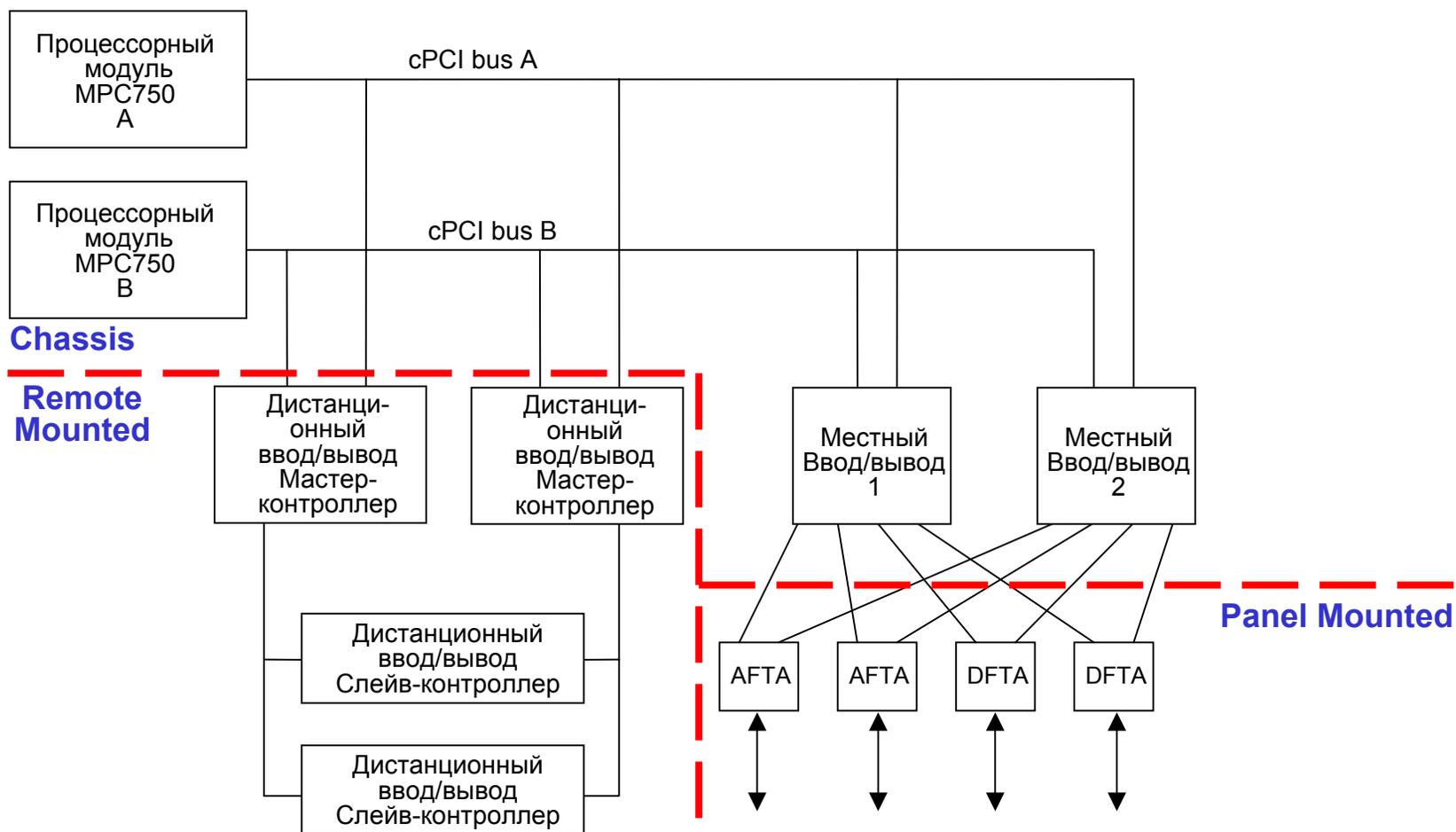


- Profibus Мастер, карта-носитель, RFTA, и Модули идентичны недублированной системе
- Дублированные Мастера могут размещаться на одной карте-носителе.



# Дублированный Vanguard

- Работает при множественных отказах
- CPU не переключаются при отказах входов





# Дублированный Vanguard

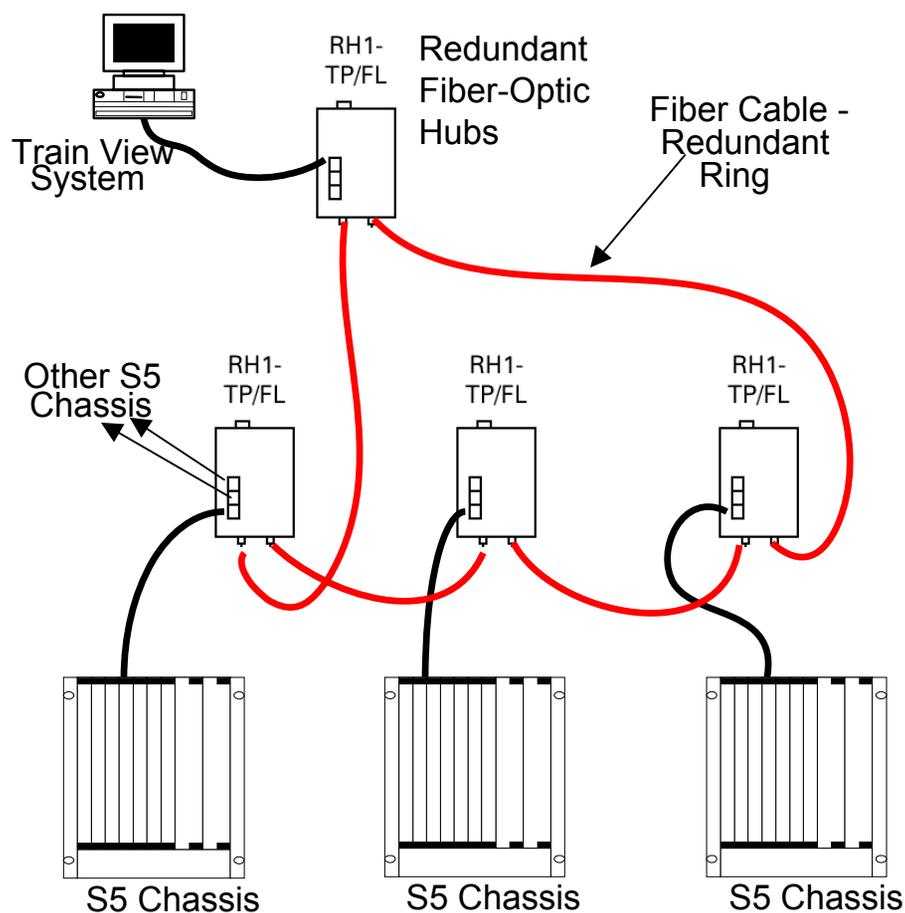
- **Уникальные Компоненты**
  - Отказоустойчивая структура, обеспечивающая работоспособность FTA's, аппаратного и программного обеспечения
- **Компоненты, общие с недублированной системой**
  - Центральный процессор (CPU) платы входов/выходов
  - Питание
  - FTA кабели
  - Нормирующие преобразователи



## ***Vanguard*** ***Каналы связи***

- **3 порта Ethernet TIOС-555 copper или ST-fiber, 10/100BaseT**
  - OPC к DCS или Другому компьютеру
  - OCI к TrainView
  - 10Base-T Copper или 10Base-FL Fiber-Optic
- **2 порта Profibus к дистанционным I/O**
- **4 порта RS-485 с оптической изоляцией, защитой от ЭСЭ и светодиодной индикацией (TX/RX) серийных каналов связи**
  - Series 3 Plus Порт 2 and Series 4 IMCB
  - Modbus RTU к DCS или другому компьютеру
  - TMPU-750-X

# Fault-Tolerant Ethernet



- Отказ любого компонента не приводит к остановам оборудования
- Защита от обрыва кабеля
- Изоляция от помех и паразитных контуров с замыканием через землю



# Reliant

- Фиксированная Конфигурация
- Решение для малых систем
- Недублированная и Дублированная модели





# **Reliant**

## **Общий обзор**

- Такая же как в Vanguard среда IEC-61131 для программирования и создания новых приложений открывает возможности для расширения системы.
- Интегрированные в контроллере терминалы или FTA.
- Интегрированные в контроллере порты связи RS-485
- Коммуникации для расширения системы.
- Диапазон рабочих температур 0 - 70°C
- Возможно исполнение для Class 1 Zone/Div 2



# **Reliant**

## **аналоговые входы/выходы**

- **22 Аналоговых Входа**
  - 0.1% точность
  - Верхний и нижний пороги определения отказа
  - Разрешающая способность 15-bit
  - Два встроенных источника напряжения для верификации правильной работы конвертера
  - Конфигурация для токовых входов или входов по напряжению
  
- **6 Частотных входов**
  - 0.01 % точность
  - Активные или пассивные
  - 5 Hz до 40K Hz
  
- **6 Аналоговых выходов**
  - 0.1 % точность
  - Определение отказа, включая обрыв цепи
  - 12-bit Разрешающая способность
  - 4 - 20 mA Выход
  - Изолированные



# **Reliant**

## **дискретные входы/выходы**

- **16 Дискретных входов**
  - 30 V AC или DC
  - Изолированные
  - Bi-Directional
- **14 Дискретных выходов**
  - Бесконтактные (Solid Stat) Реле
  - 24 VDC
  - 1/2 Amp
  - НО контакты



# **Reliant**

## **каналы связи**

- **5 Интегрированных серийных портов (SP) RS-485:**
  - **SP1** – для внутриконтроллерных коммуникаций TrainLink
  - **SP2** – для связи с программным пакетом TrainTools Workstation
  - **SP3** – для связи с контроллерами Series 3 Plus или по протоколу Modbus
  - **SP4** – для связи с контроллерами Series 4 IMCB или по протоколу Modbus
  - **SP5** – для связи с программным пакетом TrainTools Workstation или по протоколу Modbus
  
- **Готовятся к внедрению Протоколы связи:**
  - **Ethernet**
  - **Profibus**
  - **Foundation Fieldbus**
  - **ContoNet**