

# Теория Автоматического Управления Часть 10

Полулях Антон Иванович, к.т.  
н., доцент кафедры АД, зам.  
начальника отдела  
проектирования систем  
автоматического управления

## 8. САУ авиационных ГТД

- Система автоматического управления и топливопитания двигателя обеспечивает подачу топлива в камеру сгорания и управление работы двигателя на запуске, переходных и установившихся режимах в соответствии с заданными программами управления, а также взаимодействие с другими системами, обеспечивающими работу двигателя во всех условиях эксплуатации.
- Система автоматического управления газотурбинного двигателя тесно связана с системой топливопитания, это объясняется тем, что управление двигателями различных типов в той или иной степени производится путем изменения расхода топлива.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Кроме того, большей частью системы регулирования двигателя конструктивно объединяются в одних агрегатах с топливными насосами и другими элементами топливной системы, так что отдельные детали и узлы в равной мере относятся и к системе автоматического управления, и к системе топливопитания.
- В ряде случаев выбор типа регулятора предопределяется характеристиками топливной системы и, наоборот, с целью осуществления определенной программы регулирования часто приходится изменять схему топливной системы и выбирать соответствующим образом конструктивные параметры ее элементов.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Общим требованием, предъявляемым к системам регулирования ГТД, является автоматическое поддержание таких значений регулируемых параметров, при которых на разных высотах и при различных скоростях полета обеспечивается режим, заданный летчиком соответствующей установкой рычага управления двигателем. Заданный режим должен быть достигнут в данных условиях полета без механических или тепловых перегрузок, приводящих к повреждению деталей двигателя.
- При регулировании параметров, которые определяют величину тяги и удельного расхода топлива, от системы управления требуется, чтобы она устойчиво поддерживала требуемое значение регулируемого параметра и быстро и без больших колебаний восстанавливала это значение в случаях, когда произошло отклонение от установившегося режима работы.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Система управления ГТД должна обеспечивать наилучшую возможную для данного двигателя приемистость.
- Характеристики САУ должны быть такими, чтобы ни при каких условиях не возникал помпаж компрессора, срыв пламени в камерах сгорания или другие явления, нарушающие нормальное протекание рабочего процесса двигателя.
- Большое значение имеет эксплуатационная надежность системы управления ГТД, которая во многом предопределяется выбором принципиальной схемы регулирования и топливопитания.
-

## 8. САУ авиационных ГТД

- Основными задачами, выполняемыми современными САУ ГТУ являются:
- управление пусковой электроавтоматикой и подачей топлива на режимах запуска ГТД;
- управление стационарными и переменными режимами турбокомпрессора и ограничение его предельных параметров;
- управление механизацией компрессоров и турбин, радиальными зазорами, теплообменниками и другими элементами газоз-воздушного тракта;
- диагностика состояния двигателя, защита его от аварийных режимов, самоконтроль и диагностика системы управления.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Управление запуском двигателя.
- Процессы управления запуском характеризуются рядом признаков:
- узкой областью допустимого изменения управляющего воздействия (расхода топлива) в критических точках пусковых характеристик;
- наложением на характеристики запуска процесса заполнения топливных магистралей и коллекторов основной камеры сгорания, в значительной степени определяющего действительный расход топлива;
- сильной зависимостью пусковых свойств двигателя от условий эксплуатации (вязкости топлива и масла, полноты сгорания топлива, мощности турбины и воздушного стартера при изменении величины  $P_n$  и  $T_n$ , влияния влажности воздуха).

## 8. САУ авиационных ГТД

- Система управления на розжиге осуществляет подачу топлива по программе  $G_T = f(P_{ВХ}^*, T_{ВХ}^*)$ . На участке разгона существует несколько вариантов законов подачи топлива. С появлением САУ ГТУ наибольшее распространение получил закон запуска по разомкнутой схеме, работающий в соответствии с параметрическими или временными программами вида

$$G_T = f(P_{ВХ}^*, T_{ВХ}^*, n_{ВД}), \quad G_T = f(P_{ВХ}^*, \tau).$$

- С целью повышения надежности запуска с помощью цифровых систем управления для новых поколений отечественных и зарубежных двигателей нашли практическое применение регуляторы запуска замкнутой схемы, реализующие программу управления по ускорению ротора высокого давления вида

$$\dot{n}_{ВД} = f(P_{ВХ}^*, n_{ВД}).$$

## 8. САУ авиационных ГТД

- Эти регуляторы в сравнении с традиционными (программы по расходу топлива) обладают рядом преимуществ:
- принципиально исключаются режимы «бедного» зависания, что позволяет проходить критические участки пусковой характеристики с минимальными избытками топлива;
- уменьшаются погрешности дозирования топлива;
- программа подачи топлива автоматически адаптируется к смещению статической характеристики двигателя, мощности стартера, полноте сгорания, сорту и температуре топлива, загрузке ротора приводными агрегатами.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Особенностью программы управления процессом запуска по ускорению ротора является возможность большого увеличения расхода топлива при значительных рассогласованиях между заданным и фактическими темпами раскрутки ротора. Это может проявляться при больших отклонениях пусковых характеристик двигателя от их номинальных значений, а также в ситуациях частичной управляемости объекта (например, в процессе заполнения топливных коллекторов, при частичных срывах горения, при потере газодинамической устойчивости). С целью ограничения расхода топлива в подобных ситуациях в состав системы управления вводится устройство, реализующее программу ограничения расхода на запуске вида

$$G_T = f(P_{ВХ}^*, T_{ВХ}^*, n_{ВД}).$$

## 8. САУ авиационных ГТД

- Высокие значения температуры газов на пусковых режимах, малые расходы воздуха на охлаждение рабочих лопаток турбины, значительная степень выработки ресурса двигателя в процессах запуска определяют необходимость введения защиты двигателя от перегрева на пусковых режимах. Поэтому в состав подсистемы управления двигателем на запуске вводится устройство защиты от высокой температуры газов. При достижении температурой газов предельно допустимого значения это устройство осуществляет релейное снижение расхода топлива путем воздействия на механизм останова. При снижении температуры газа восстанавливается расход топлива и запуск продолжается по пониженной программой ограничения топлива.

## 8. САУ авиационных ГТД

- К элементам пусковой электроавтоматики относятся электромагниты, осуществляющие подачу пускового топлива, агрегаты зажигания, органы управления воздушным, электрическим или турбостартером, сигнализаторы процесса запуска. Задача САУ управления этими элементами состоит в формировании заданной логической последовательности прохождения команд или циклограммы запуска в зависимости от вида пусковой операции (запуск в воздухе, запуск на земле, холодная прокрутка и т.п.), текущего состояния двигателя и команд экипажа.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Система управления на основных режимах.
- На режиме «Малый газ» система управления поддерживает минимальный режим путем поддержания минимально заданной постоянной величины расхода топлива в камеру сгорания и минимально заданной частоты вращения ротора газогенератора .

$$n_{\text{ВДПР MIN}} = \text{const}, \quad G_{\text{T MIN}} = \text{const}$$

- Регулирование частоты вращения КВД на установившихся режимах производится САУ по положению РУД, значениям параметров окружающей среды – температуры и давления воздуха на входе в двигатель и состоянию системы управления отборами воздуха .

$$n_{\text{ВД}} = f(\alpha_{\text{РУД}}, P'_{\text{ВХ}}, T'_{\text{ВХ}}, C_{\text{ОТБ}})$$

## 8. САУ авиационных ГТД

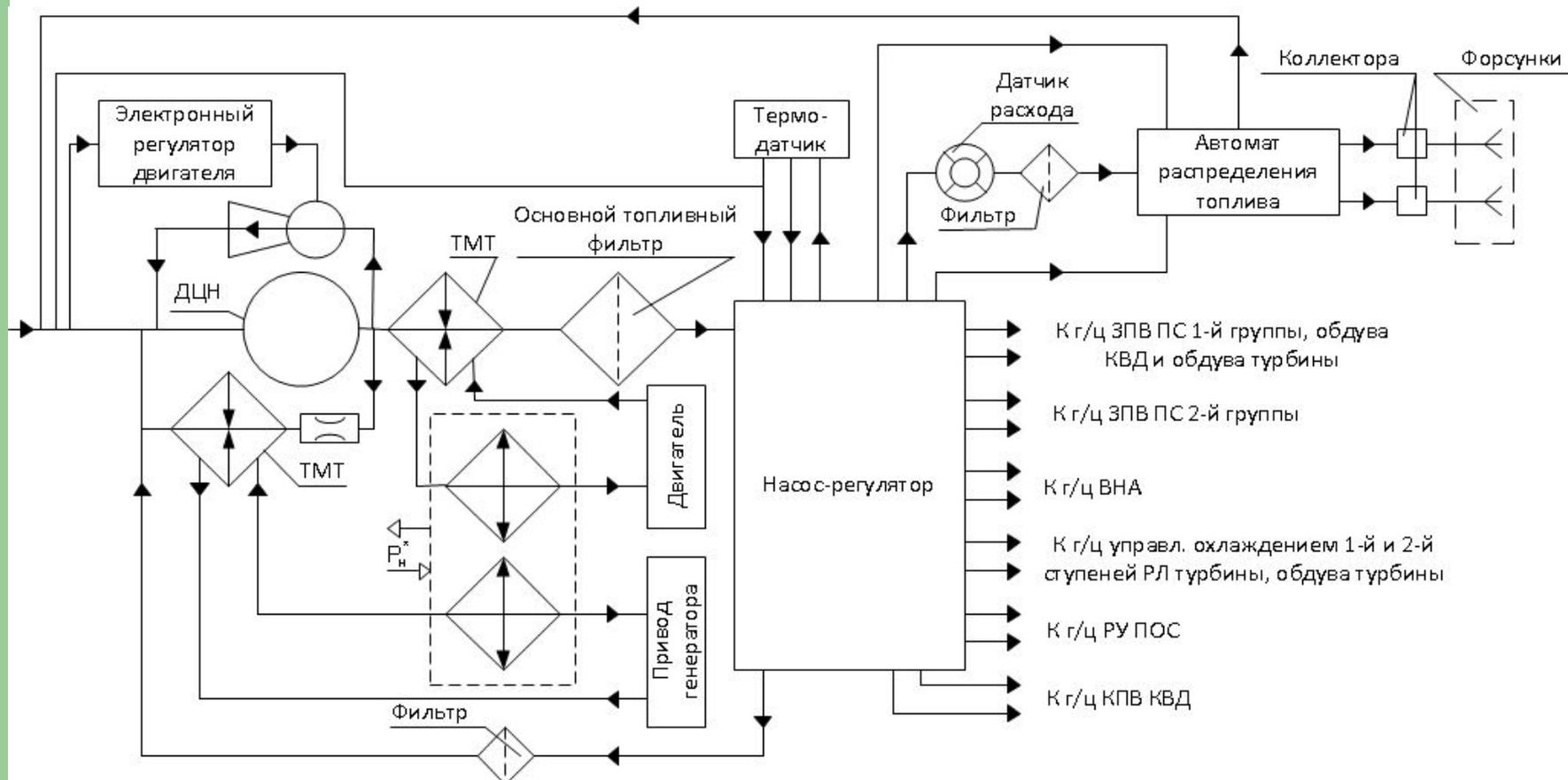
- Сравнивая программное значение  $n_{вд}^{прог}$  с фактическим значением  $n_{вд}$ , система управления по вычисленному рассогласованию формирует управляющий сигнал на изменение регулирующего органа насоса – регулятора. Процесс регулирования заканчивается при достижении фактической частоты  $n_{вд}$  величины ее программного значения в пределах заданной точности.
- На всех установившихся и переходных режимах работы двигателя система управления ограничивает температуру газа за турбиной низкого давления. САУ используя информацию о положении РУД, входной температуре и давлению формирует программное значение ограничения температуры  $T_{ТНД}^{огр} = f(\alpha_{руд}, P'_{вх}, T'_{вх})$
- Сравнивая сформированное значение с измеренным система формирует воздействие ограничивающее температуру

## 8. САУ авиационных ГТД

- Топливная система.
- Общим требованием к системе топливопитания ГТД является обеспечение подачи в камеры сгорания надлежащим образом распыленного топлива в количестве, необходимом для нормальной работы двигателя на каждом данном режиме.
- В состав системы топливопитания двигателя входят следующие системы:
  - система топливопитания низкого давления;
  - система топливопитания высокого давления;
  - дренажная система
  - трубопроводы и фильтры системы топливопитания
  - электропроводка.

# 8. САУ авиационных ГТД

- Топливная система.



## 8. САУ авиационных ГТД

- Топливо является рабочей жидкостью гидромеханической части системы управления и хладагентом масляной системы двигателя и привода генератора.
- Топливная система низкого давления предназначена для фильтрации и подачи топлива к качающему узлу насоса-регулятора (НР), для охлаждения масла двигателя и привода-генератора и включает в себя:
  - подкачивающий двигательный центробежный насос (ДЦН);
  - основной топливный фильтр;
  - топливомасляный теплообменник для охлаждения масла двигателя;
  - топливомасляный теплообменник для охлаждения масла привода-генератора.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Насос ДЦН интегрального типа (приводной вал и уплотнения входят в состав коробки приводов двигателя) обеспечивает необходимую подачу топлива под давлением в топливную систему высокого давления. Насос ДЦН устанавливается на коробке приводов двигателя.
- Основной топливный фильтр обеспечивает фильтрацию топлива с определенной тонкостью, поступающего на вход качающего узла насоса-регулятора. При засорении топливного фильтра в процессе эксплуатации и повышении его гидравлического сопротивления выше допустимых норм срабатывает сигнализатор перепада давления и выдается информация в кабину пилота о засорении фильтра.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Топливо-масляный теплообменник двигателя предназначен для охлаждения масла двигателя за счет передачи тепла топливу, поступающего в двигатель.
- Топливо-масляный теплообменник двигателя предназначен для охлаждения масла двигателя за счет передачи тепла топливу, перепускаемому через теплообменник с выхода на вход в подкачивающий насос ДЦН.
- Топливная система высокого давления с системой автоматического управления обеспечивает подачу и регулирование количества топлива, подаваемого в камеру сгорания на всех режимах работы двигателя.
- Топливная система высокого давления включает в себя качающий узел насоса-регулятора, датчик расхода топлива (ДРТ), коллекторы, форсунки.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Качающий узел насоса-регулятора плунжерного типа, предназначен для создания необходимого давления топлива перед форсунками камеры сгорания двигателя и подачи топлива высокого давления в гидроцилиндры систем управления узлов двигателя (механизации компрессора, регулирования зазоров КВД и ТВД, охлаждения рабочих лопаток первой и второй ступеней турбины).
- Датчик расхода топлива, установленный после насоса-регулятора перед автоматом распределения топлива (АРТ), служит для измерения текущего и суммарного расхода топлива через камеру сгорания двигателя и выдачи информации о величине расхода двигателя в бортовую систему контроля двигателя.

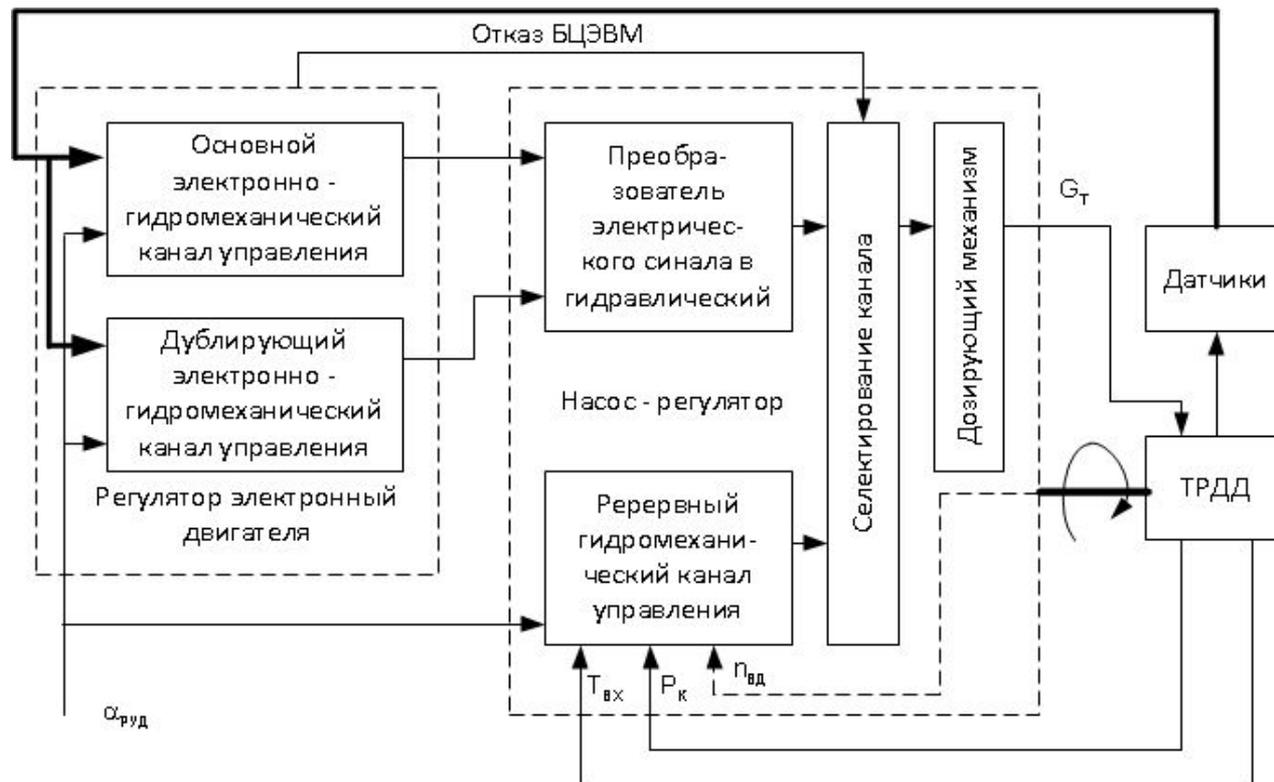
## 8. САУ авиационных ГТД

- Коллекторы предназначены для подвода топлива, поступающего от агрегата АРТ к топливным форсункам.
- Форсунки предназначены для распыла и подачи топлива в камеру сгорания.
- Трубопроводы и фильтры.
- Трубопроводы системы топливопитания обеспечивают гидравлические связи между агрегатами, входящими в систему автоматического управления двигателем.
- Фильтры предназначены для очистки топлива и воздуха, поступающих в полости агрегатов системы топливопитания двигателя, от механических примесей.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Задание режимов работы двигателя осуществляется рычагом РУД в кабине самолета, который через систему управления двигателем соединен с системой управления насосом-регулятором и реверсивным устройством.
- Система автоматического управления состоит из следующих систем:
  - системы управления;
  - электронно-гидромеханической системы управления двигателем (основной и дублирующий каналы);
  - гидромеханической системы управления двигателем (резервной);
  - противопомпажной системы;
  - системы управления механизацией компрессора;

# 8. САУ авиационных ГТД



## 8. САУ авиационных ГТД

- системы управления радиальными зазорами компрессора и турбины;
- системы управления охлаждением рабочих лопаток ступеней турбины;
- системы защиты турбины от раскрутки (СЗТР);
- элементов управления охлаждением теплообменников привода-генератора;
- элементов переключения отборов воздуха.
- Система управления обеспечивает установку рычага насоса-регулятора в положение соответствующее положению РУД на режимах прямой и обратной тяги, и управление реверсивным устройством через механизм управления и блокировки.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Электронно-гидромеханическая система управления двигателя состоит из электронной части и взаимодействующих с ней гидромеханических агрегатов и выполняет функции управления двигателем в полном объеме во всех условиях эксплуатации по заданным программам без ограничения эксплуатационных характеристик.
- Гидромеханическая система управления является резервной системой автоматического управления двигателем и обеспечивает управление подачей топлива в камеру сгорания двигателя по упрощенным законам, подачу топлива на управление механизацией компрессора и систем двигателя на всех режимах работы двигателя и проведение запусков при отказе или отключении основной (электронной) системы автоматического управления.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Переключение с основной на резервную систему управления осуществляется автоматически электромагнитом из состава насоса-регулятора по сигналу от встроенной системы контроля (СВК) за работой электронной САУ или по команде из кабины экипажа самолета.
- Работа системы. Топливо из системы подкачки самолета поступает в подкачивающий насос системы низкого давления и через основной фильтр подается к насосу-регулятору. От насоса-регулятора отдозированное в соответствии с программами управления основной или резервной системы управления, топливо высокого давления поступает к автомату распределения топлива, который распределяет топливо по коллекторам к форсункам камеры сгорания.

## 8. САУ авиационных ГТД

- По определенным программам обеспечивается подвод командного топлива высокого давления для управления гидроцилиндрами систем:
- управления механизацией компрессора;
- отборов воздуха;
- управления зазорами;
- управления охлаждения рабочих лопаток;
- управления охлаждением масла привода-генератора.

## 8. САУ авиационных ГТД

- *Системы автоматического управления и контроля наземных газотурбинных установок*
- 
- Назначение системы автоматического управления и контроля
- Объектом управления и контроля является газотурбинная установка (ГТУ). Основным элементом ГТУ является газотурбинный двигатель (ГТД) наземного применения. Кроме того, в состав ГТУ могут входить редуктор, входные и выходные устройства, трансмиссия "двигатель-редуктор", трансмиссия "редуктор -приводимый агрегат" и др.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Система автоматического управления ГТУ (САУ ГТУ) предназначена для выполнения функций управления, регулирования, контроля и защиты ГТУ, обеспечивающих длительную безаварийную работу ГТУ в двух режимах:
- во взаимодействии с системой автоматического управления более высокого уровня;
- в автономном, при отсутствии или неработоспособности системы автоматического управления более высокого уровня.
- Системой управления более высокого уровня может быть система автоматического управления газоперекачивающим агрегатом (САУ ГПА) или система автоматического управления газотурбинной электростанцией (САУ ГТЭС).

## 8. САУ авиационных ГТД

- Выбор системы автоматического управления и контроля ГТУ и её элементов
- Исходным условием для выбора САУ ГТУ и ее элементов является наличие технического задания (ТЗ) на САУ или иного документа, содержащего необходимые и достаточные конкретные требования к САУ ГТУ.
- Конкретные требования определяются параметрами и конструкцией газотурбинной установки, рассматриваемой как объект управления.

## 8. САУ авиационных ГТД

- С учетом функционального назначения объекта управления (привод центробежного нагнетателя газа или привод турбогенератора) САУ ГТУ должна выполнять следующие функции:
- обеспечивать надежную работу ГТУ на всех эксплуатационных режимах;
- удерживать ГТУ на холостом ходу при заданной частоте вращения;
- устойчиво поддерживать заданную частоту вращения силовой турбины, обеспечивающей привод нагрузки;
- обеспечивать при изменении нагрузки в заданных пределах плавное изменение режима работы ГТУ;

## 8. САУ авиационных ГТД

- удерживать частоту вращения силовой турбины привода турбогенератора, не вызывающую срабатывания автомата безопасности, при внезапном сбросе нагрузки до заданного значения (в том числе до нуля);
- обеспечивать беспомпажную работу компрессора ГТУ;
- обеспечивать защиту от превышения заданных параметров ГТУ на всех режимах от запуска до максимального;
- обеспечивать контроль параметров ГТУ.
- Для выполнения перечисленных функций в ТЗ (или ином документе) должны быть сформулированы требования по управлению ГТУ, обеспечивающие требуемое изменение параметров компрессора, камеры сгорания, турбины и др. на всех режимах работы.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Выбор САУ и ее элементов рекомендуется начинать с датчиков параметров ГТУ. Это связано с тем, что многие датчики входят в конструкцию ГТУ и разработчик (конструктор) при проектировании ГТУ должен иметь представление о типе датчиков, их габаритах, линиях связи.
- Одновременно с выбором датчиков рекомендуется выбирать составные части (агрегаты САУ), входящие в состав топливной системы ГТУ с учетом рекомендаций по выбору элементов топливной системы, а также агрегаты (и исполнительные механизмы), обеспечивающие управление различными элементами ГТУ.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Следующий этап – выбор программно-технических средств, принимающих и перерабатывающих входную информацию, формирующих управляющие команды и информационные сигналы.
- Выбор завершается определением типа проводников электрических сигналов или оптических линий для связи агрегатов САУ между собой, а также для обмена информацией САУ ГТУ с системой автоматического управления более высокого уровня.

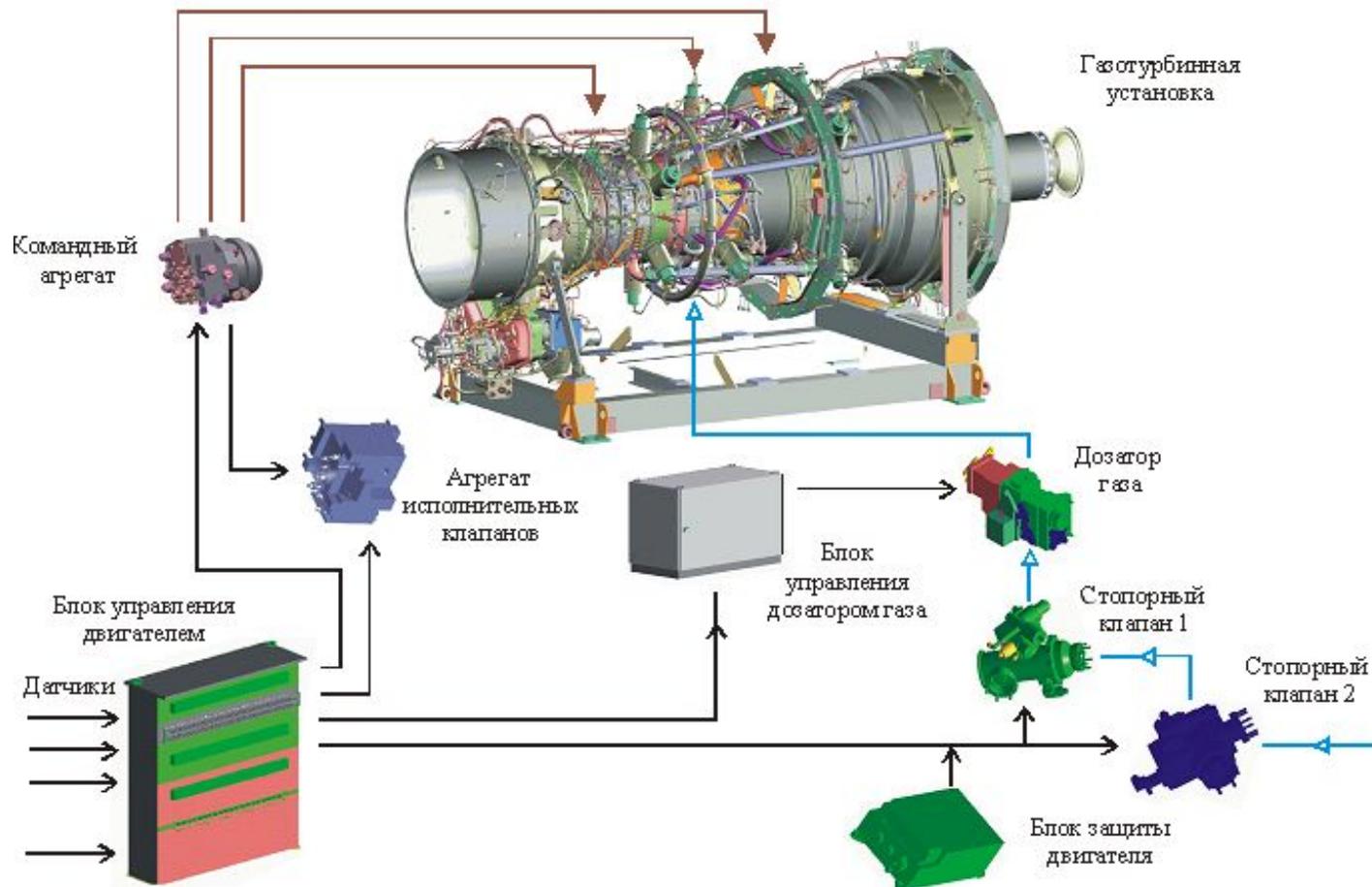
## 8. САУ авиационных ГТД

- **Состав САУ ГТУ**
- 
- Состав САУ ГТУ определяется выполняемыми функциями и зависит от вида топлива, используемого в ГТУ.
- В составе САУ ГТУ, работающей на газообразном топливе, в зависимости от функционального назначения выделяются следующие составные части:
  - блок управления двигателем (БУД);
  - стопорный клапан первый (СК1);
  - стопорный клапан второй (СК2);
  - дозатор газа;
  - блок управления дозатором газа;
  - блок защиты двигателя (БЗД);

## 8. САУ авиационных ГТД

- блоки (агрегаты) управления элементами ГТУ, определяющими геометрические параметры газоздушного тракта (ВНА, различными клапанами перепуска воздуха и др.);
- датчики и сигнализаторы технологических параметров ГТУ;
- линии связи между составными частями САУ ГТУ;
- аппаратура контроля вибраций ГТУ;
- кабели связи САУ ГТУ с САУ более высокого уровня;
- алгоритмы управления и контроля ГТУ;
- пульт технологический (инженерный).
- 
- БУД может быть как в виде отдельного блока, так и входить в состав программно-технических средств САУ ГПА (ГТЭС). На рисунке показан состав САУ ГТУ.

# 8. САУ авиационных ГТД



## 8. САУ авиационных ГТД

- В состав САУ ГТУ, работающей на жидком топливе, дополнительно к составным частям, перечисленным выше, включают:
- подкачивающий насос;
- насос высокого давления;
- дозатор жидкого топлива;
- распределитель жидкого топлива по контурам форсунок.
- При этом в состав САУ ГТУ не входят агрегаты, обеспечивающие подачу и дозирование газообразного топлива (СК1, СК2, дозатор газа, блок управления дозатором газа).

## 8. САУ авиационных ГТД

- САУ двухтопливных ГТУ, работающих на газообразном и жидком топливе, включает в свой состав составные части САУ ГТУ, работающей на газообразном топливе, и составные части САУ ГТУ, работающей на жидком топливе, с добавлением элементов, обеспечивающих переключения с одного вида топлива на другое и работу на одном конкретном виде топлива.
- 
- Основные характеристики САУ
- Рассматривая САУ как составную часть ГТУ, обеспечивающую выполнение предъявляемых к ней требований, в качестве основных характеристик принимают:
- 
- Характеристики быстродействия САУ ГТУ

## 8. САУ авиационных ГТД

- Быстродействие САУ ГТУ складывается из быстродействия каналов преобразования входных сигналов, из скорости прохождения и обработки преобразованных сигналов в вычислительной части САУ, формирующей выходные сигналы по заданным алгоритмам; из быстродействия выходных преобразователей, из быстродействия исполнительных механизмов, входящих в состав САУ; а также зависит от периодичности опроса входных сигналов.
- Поэтому существуют интегральные и частные характеристики быстродействия САУ ГТУ.
- В качестве интегрального параметра, характеризующего быстродействие САУ ГТУ, применяется, например, время реакции САУ ГТУ на изменение входного сигнала (время от приема сигнала до воздействия на объект управления).

## 8. САУ авиационных ГТД

- В качестве частных характеристик быстродействия обычно используются:
- время полного хода основных исполнительных механизмов, воздействующих на расход топлива или геометрические параметры газоздушного тракта ГТУ (дозирующего клапана, выходного штока механизма привода ВНА и др.);
- периодичность опроса аналоговых и дискретных сигналов.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Характеристики по точности поддержания параметров
- Точность выполнения программ управления оценивается отклонением текущего параметра от программного

$$\Delta\Pi = \frac{\Pi_{\text{проект}} - \Pi_{\text{реал}}}{\Pi_{\text{проект}}} \cdot 100\%$$

- Обычно допустимая точность поддержания параметров характеризуется симметричной величиной  $\pm \Delta\Pi$  %.
- Оценивается точность выполнения программ на статических (установившихся) режимах и на динамических (переходных) режимах.
- Чаще всего оценивается точность поддержания частоты вращения.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Для современных САУ ГТУ точность поддержания частоты вращения составляет  $\pm (0,1 \dots 0,2)$  % на статических режимах.
- В нормативных документах используется термин "степень нечувствительности системы регулирования частоты вращения". В соответствии с ГОСТ 29328 степень нечувствительности системы регулирования частоты вращения при любой нагрузке не должна превышать 0,2 % номинальной частоты вращения, ГОСТ 28775 допускает 0,3 %.
- В дается определение степени нечувствительности: это возможная относительная погрешность поддержания частоты вращения при одной и той же нагрузке или, иными словами, то изменение частоты, которое необходимо для того, чтобы началось перемещение исполнительных органов. Ее численной характеристикой является величина

## 8. САУ авиационных ГТД

$$E = \frac{\Delta n_1 + \Delta n_2}{n_0},$$

- где  $\Delta n_1 = n_1 - n_0$  – увеличение частоты вращения, минимально необходимое, чтобы вызвать движение исполнительных механизмов;
- $\Delta n_2 = |n_2 - n_0|$  – уменьшение частоты вращения, минимально необходимое, чтобы вызвать движение исполнительных механизмов;
- $n_0$  – номинальная частота вращения при данной нагрузке.
- К точности поддержания параметров на динамических режимах работы ГТУ для привода турбогенераторов предъявляются более жесткие требования, чем на динамических режимах работы ГТУ для привода центробежных нагнетателей.

## 8. САУ авиационных ГТД

- САУ ГТУ для привода турбогенераторов не должна допускать срабатывание автомата безопасности ГТЭС при внезапном сбросе нагрузки до нуля. Автоматы безопасности должны быть отрегулированы на срабатывание при повышении частоты вращения на 10...12% выше номинальной.
- Характеристики надежности
- Надежность – комплексное свойство, состоящее в общем случае из безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.
- Основные показатели безотказности:
- средняя наработка на отказ САУ, приводящий к необеспечению аварийного останова ГТУ (отказ типа "пропуск аварии"), не менее 100000 ч;

## 8. САУ авиационных ГТД

- средняя наработка на отказ САУ, приводящий к аварийному или вынужденному останову ГТУ, не менее 3500 ч;
- средняя наработка на отказ типа "невыполнение функции управления или регулирования", не менее 25000 ч;
- средняя наработка на отказ по каналу контроля технологических параметров, не менее 25000 ч.
- Основные показатели долговечности:
- назначенный ресурс, не менее 100000 ч;
- ресурс до первого капитального ремонта и между капитальными ремонтами, не менее 25000 ч;
- назначенный срок службы, не менее 15 лет.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Ремонтпригодность САУ – свойство, заключающееся в приспособленности САУ к поддержанию и восстановлению ее работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта. Основные показатели ремонтпригодности:
- среднее время восстановления работоспособного состояния САУ;
- вероятность восстановления работоспособного состояния САУ.
- Основным показателем сохраняемости является назначенный срок хранения.
- Характеристики безопасности
- В соответствии с Федеральным законом "О техническом регулировании" [17] минимально необходимые требования по безопасности САУ ГТУ устанавливаются соответствующими техническими регламентами (общими и специальными).

## 8. САУ авиационных ГТД

- Основные требования по выполнению характеристик безопасности:
- САУ должна быть выполнена таким образом, чтобы ошибочные действия оперативного персонала или отказы технических средств не приводили к ситуациям, опасным для жизни и здоровья людей;
- части САУ, находящиеся под напряжением, должны быть защищены от случайного прикосновения к ним обслуживающего персонала и заземлены;
- части САУ, устанавливаемые в помещениях, содержащих взрывоопасные концентрации газов и паров с воздухом, должны соответствовать взрывозащищенному исполнению.

## 8. САУ авиационных ГТД

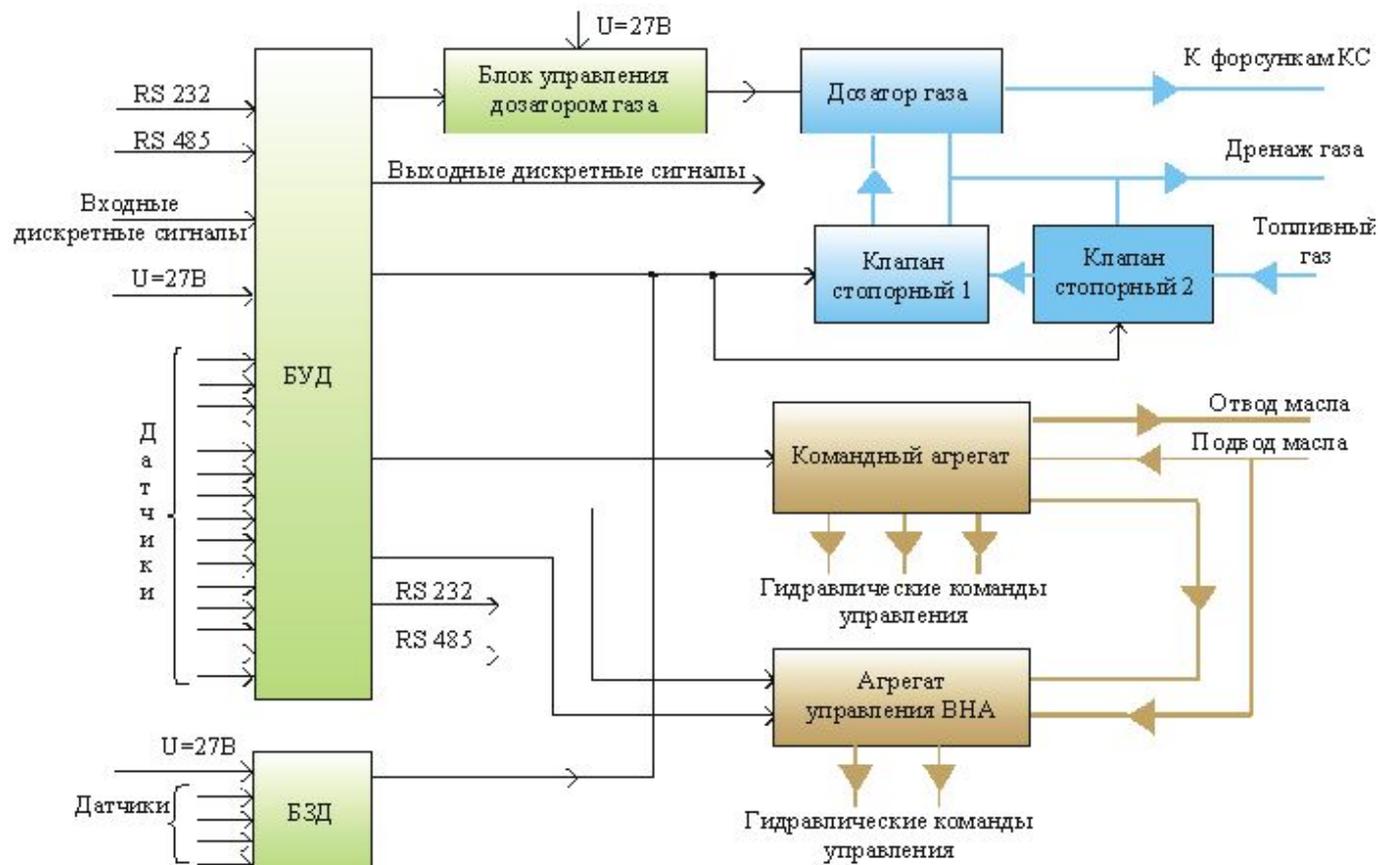
- Характеристики эксплуатационной технологичности
- Являются одними из основных и интегральных характеристик САУ ГТУ. Эти характеристики во многом зависят от потребности САУ в техническом обслуживании и ремонте.
- Необходимым условием для выполнения технического обслуживания и ремонта является наличие Системы технического обслуживания и ремонта (СТОИР) САУ.
- Техническое обслуживание САУ должно выполняться в перерывах между циклами эксплуатации ГТУ.
- Основные показатели:
  - трудоемкость технического обслуживания САУ;
  - время замены (восстановления работоспособности) отказавших блоков (агрегатов) САУ.

## 8. САУ авиационных ГТД

- Технико-экономические характеристики
- Представляют собой показатели, характеризующие финансовые затраты на разработку, производство и эксплуатацию САУ.
- Ориентировочный перечень характеристик (показателей):
- стоимость разработки САУ в целом;
- цена комплекта САУ (или составной части САУ);
- стоимость 1 часа технического обслуживания САУ в процессе работы ГТУ в составе ГПА или ГТЭС;
- среднегодовая стоимость эксплуатации САУ на ГТУ в составе ГПА или ГТЭС;
- среднегодовая стоимость содержания комплекта САУ (или составной части САУ) в процессе длительного хранения.

# 8. САУ авиационных ГТД

- Структурная схема САУ ГТУ



## 8. САУ авиационных ГТУ

- В процессе работы САУ ГТУ осуществляет следующие основные функции:
- выполнение холодной прокрутки ГТУ;
- выполнение автоматического запуска ГТУ;
- поддержание статического (установившегося) режима, заданного от САУ более высокого уровня;
- корректировка режимов ГТУ по командам САУ более высокого уровня;
- ограничение предельных параметров ГТУ;
- обеспечение переходных режимов;
- останов ГТУ по командам САУ более высокого уровня;
- аварийный останов ГТУ по командам САУ более высокого уровня и по сигналам блокировок и защит, формируемым в САУ ГТУ;

## 8. САУ авиационных ГТД

- управление элементами ГТУ, определяющими геометрические параметры газоздушного тракта;
- автоматический контроль параметров ГТУ с формированием и выдачей предупреждающих и аварийных сигналов;
- автоматический контроль исправности САУ ГТУ;
- обмен информацией с САУ более высокого уровня.
- Работа САУ ГТУ в процессе запуска ГТУ с использованием пневматического стартера происходит следующим образом. По сигналу "Пуск" от оператора из САУ более высокого уровня САУ ГТУ при наличии необходимых исходных условий запуска ГТУ по заданным алгоритмам формирует команды на исполнительные механизмы, обеспечивающие:
  - подачу пускового газа к пневматическому стартеру;

## 8. САУ авиационных ГТД

- подачу топливного газа к дозатору топлива (открытие стопорных клапанов СК1 и СК2);
- подачу электропитания на свечи зажигания (для розжига камеры сгорания ГТУ);
- дозирование топлива (управление подачей топлива через дозатор) в форсунки камеры сгорания ГТУ на розжиге КС и в процессе запуска.
- До выхода на минимальный установившийся режим САУ ГТУ формирует команды, обеспечивающие отключение электропитания свечей зажигания и прекращение подачи пускового газа к пневматическому стартеру (отключение стартера).

## 8. САУ авиационных ГТУ

- После выдержки ГТУ на минимальном установившемся режиме САУ ГТУ по командам оператора выполняет перевод ГТУ на заданный установившийся режим нагрузки формируя команды, обеспечивающие:
- дозирование топлива в КС;
- закрытие клапанов перепуска воздуха и газа из газоздушного тракта ГТУ;
- управление приводом входного направляющего аппарата компрессора.
- В процессе запуска и при работе на различных режимах нагрузки САУ ГТУ выполняет ограничение предельных параметров ГТУ, автоматический контроль параметров ГТУ и исправности САУ ГТУ с формированием по заданным алгоритмам предупреждающих и аварийных сигналов при выходе контролируемых параметров за пороговое значение.