# САУ энергетических установок

Мусакаев М. И.

Введение

Изменение режима работы газотурбинной установки (ГТУ) осуществляется изменением расхода топлива в камеру сгорания, которое может сопровождаться изменениями углов установки лопаток и размеров каналов, а при пусках — мощности пускового устройства.

Изменения состояния ГТУ при пусках и нагрузки на рабочих режимах могут происходить очень быстро. Чтобы обеспечить при этих изменениях безопасную, а еще лучше оптимальную работу оборудования и выработку электрической энергии требуемой частоты, необходимо быстро и согласованно изменять подачу топлива и действие устройств, влияющих на режим. Это возможно только средствами систем автоматического управления (САУ).

Назначение САУ

Объектом управления и контроля является ГТУ, основным элементом которой 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.

САУ ГТУ предназначена для выполнения функций управления, регулирования, контроля и защиты, обеспечивающих длительную безаварийную работу в двух режимах:

во взаимодействии с САУ более высокого уровня;

в автономном (при отсутствии или неработоспособности САУ более высокого уровня).

Системой управления более высокого уровня может быть, например, САУ газоперекачивающего аппарата (ГПА) или САУ газотурбинной электростанции (ГТЭС).

С учетом функционального назначения объекта управления (привод центробежного нагнетателя газа или привод генератора) 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 свободной турбины (СТ), обеспечивающей привод нагрузки;

обеспечивать при изменении нагрузки в заданных пределах плавное изменение режима работы ГТУ;

удерживать частоту вращения СТ привода генератора, не вызывающую срабатывания автомата безопасности, при внезапном сбросе нагрузки до заданного значения;

обеспечивать беспомпажную работу компрессора ГТУ;

обеспечивать защиту от превышения заданных параметров ГТУ на всех режимах от запуска до максимального;

обеспечивать контроль параметров ГТУ.

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 [1] (рис. 1):

блок управления двигателем (БУД);

стопорный клапан второй (СК2);

дозатор газа;

блок управления дозатором газа;

блок защиты двигателя (БЗД);

блоки (агрегаты) управления элементами ГТУ, определяющими геометрические параметры газовоздушного тракта (ВНА, различные клапаны 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;

№ 1 (10). Январь, 2014 г. Молодежный ВестникУТАТУ Технические науки 65

алгоритмы управления и контроля ГТУ;

пульт технологический (инженерный).

БУД может быть как отдельным блоком, так и входить в состав программнотехнических средств САУ ГПА (ГТЭС).

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).

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.

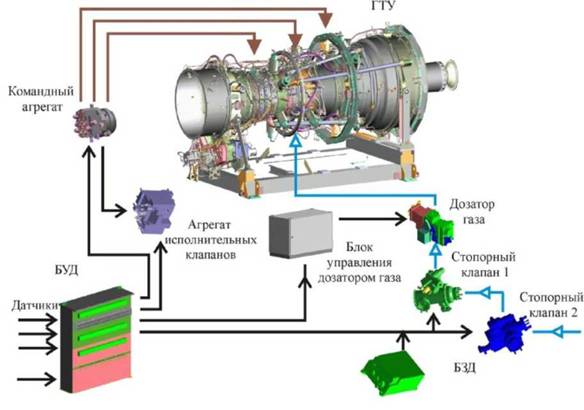


Рис. 1. Состав САУ ГТУ

Основные характеристики САУ

Рассматривая САУ как составную часть ГТУ, обеспечивающую выполнение предъявляемых к ней требований, в качестве основных характеристик принимают: характеристики быстродействия, характеристики по точности поддержания параметров, характеристики надежности, характеристики безопасности, характеристики эксплуатационной технологичности, технико-экономические характеристики.

Характеристики быстродействия

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).

В качестве частных характеристик быстродействия обычно используются:

время полного хода основных исполнительных механизмов, воздействующих на расход топлива или геометрические параметры газовоздушного тракта ГТУ (дозирующего клапана, выходного штока механизма привода ВНА и др.);

периодичность опроса аналоговых и дискретных сигналов.

Характеристики по точности поддержания параметров

Точность выполнения программ управления оценивается отклонением текущего параметра от программного



Обычно допустимая точность поддержания параметров характеризуется симметричной величиной ± ДП %. Оценивается точность выполнения программ на статических (установившихся) режимах и на динамических (переходных) режимах. Чаще всего оценивается точность поддержания частоты вращения. Для современных САУ ГТУ точность поддержания частоты вращения составляет ± (0,1.. .0,2) % на статических режимах.

В нормативных документах используется термин «степень нечувствительности системы регулирования частоты вращения». Степень нечувствительности системы регулирования частоты вращения при любой нагрузке не должна превышать 0,2 % номинальной частоты вращения.

Степени нечувствительности: это возможная относительная погрешность

поддержания частоты вращения при одной и той же нагрузке. Ее численной характеристикой является величина:



где Дп 1 = п 1 — п0- увеличение частоты вращения, минимально необходимое, чтобы вызвать движение исполнительных механизмов; Дп 1 = п2 — п0- уменьшение частоты вращения, минимально необходимое, чтобы вызвать движение исполнительных механизмов; п 0- номинальная частота вращения при данной нагрузке.

К ГТУ для привода генераторов (по сравнению с ГТУ для привода центробежных нагнетателей) предъявляются более жесткие требования по точности поддержания параметров на динамических режимах работы. 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, ремонтопригодности и сохраняемости.

Основные показатели безотказности:

средняя наработка на отказ САУ, приводящий к необеспечению аварийного останова ГТУ (отказ типа «пропуск аварии» - не менее 100000 ч.;

средняя наработка на отказ САУ, приводящий к аварийному или вынужденному

№ 1 (10). Январь, 2014 г. Молодежный ВестникУТАТУ Технические науки 67

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.

Ремонтопригодность САУ - свойство, характеризующее приспособленность САУ к поддержанию и восстановлению ее работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Основные показатели ремонтопригодности:

среднее время восстановления работоспособного состояния САУ;

вероятность восстановления работоспособного состояния САУ.

Характеристики безопасности

В соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» минимально необходимые требования по безопасности САУ ГТУ устанавливаются соответствующими техническими регламентами (общими и специальными).

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 быть взрывозащищенного исполнения.

Характеристики эксплуатационной технологичности

Эти характеристики 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 САУ. Техническое обслуживание САУ должно выполняться в перерывах между циклами эксплуатации ГТУ.

Основные показатели:

-трудоемкость технического обслуживания САУ;

-время замены отказавших блоков САУ.

Технико-экономические характеристики

Они представляют собой показатели, характеризующие финансовые затраты на разработку, производство и эксплуатацию САУ.

Ориентировочный перечень характеристик:

стоимость разработки САУ в целом;

цена комплекта 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 в процессе длительного хранения.

Работа САУ

Необходимая последовательность операций при пусках и остановах осуществляется обычно по определенной программе с помощью автоматических систем дискретного управления. Команды вырабатываются с учетом времени и завершенности предыдущих операций и информации о режимах работы ГТУ. Они передаются на участвующие в процессе пуска или останова станционные системы и оборудование, а касающиеся непосредственно ГТУ реализуются через ее собственную систему регулирования в соответствии с частотой вращения вала ГТУ, расходами и давлениями воздуха; взаимосвязанные операции согласуются по времени.

Система непрерывною регулирования ГТУ обеспечивает устойчивое поддержание заданной электрической нагрузки и плавное, без толчков, изменение режима работы ГТУ; устойчивую работу ГТУ на холостом ходу при номинальной частоте вращения электрического генератора; удержание частоты вращении ротора, не вызывающей срабатывания автомата безопасности, при мгновенном сбросе максимальной нагрузки; поддержание температуры газов перед турбиной на требуемом уровне и ограничение ее ниже предельного значения, при котором срабатывает аварийная защита; надежную работу ГТУ на пусковых режимах и останов в аварийных ситуациях; беспомпажную работу компрессоров.

Регулируемые величины и корректирующие параметры: частоты вращения, температуры газов, давления и перепады давления, нагрузки — измеряются датчиками, сигналы которых перерабатываются в импульсной части системы (собственно регуляторах) в соответствии с ее настройкой и заданиями, которые вводятся в систему автоматически или оператором. В результате вырабатываются команды, которые после усиления передаются на исполнительные органы систем топливо распределения, управления антипомпажными клапанами, пусковыми устройствами и т.д. По этим командам изменяются расходы топлива, сбросы воздуха и мощность пускового устройства, так чтобы обеспечить требуемые режимы работы ГТУ. Значения расходов топлива зависят от перепадов давления на газораздающих насадках или форсунках жидкого топлива, которые определяются положением регулирующих клапанов.

Основным регулируемым параметром на действующих отечественных ГТУ является частота вращения вала электрического генератора, а иногда и свободных валов ГТУ.

При работе ГТУ на отдельного потребителя или небольшую сеть из нескольких потребителей создаваемая ими нагрузка должна равняться развиваемой агрегатом мощности. Изменения нагрузки при постоянных расходе топлива и располагаемой мощности ГТУ вызывают противоположно направленные изменения частоты вращения. Их можно использовать в качестве признака, характеризующего соответствие мощности и нагрузки, для регулирования мощности по частоте вращения вала, на котором находится электрический генератор, при изменениях нагрузки от нуля до ее максимального значения.

В системах регулирования энергетических ГТУ применяются механические (центробежные), гидравлические и электрические датчики частоты вращения; гидравлические, пневматические или электрические усилители и исполнительные механизмы (сервомоторы). Усиление сигнала достигается в них за счет подводимой извне энергии: масла или других рабочих жидкостей под давлением, сжатого воздуха электрической энергии. Точность систем регулирования характеризуется степенями неравномерности и нечувствительности. [2]

Список литературы

Иноземцев А. А. Автоматика и регулирование авиационных двигателей и энергетических установок - М.: Машиностроение, 2008 - 190c.

Ольховский Г. Г. Энергетические газотурбинные установки - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 304с.