

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра двигателей летательных аппаратов

А.А. Илларионов, В.В. Париевский

ОСНОВЫ АВТОМАТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Учебно-методическое пособие
по изучению дисциплины

для студентов
направлений 25.03.01, 25.03.03
и специальности 25.05.05
всех форм обучения

Москва
ИД Академии Жуковского
2023

УДК 681.5.01
ББК 6П2
И44

Рецензент:

Котовский В.Н. – д-р техн. наук, профессор

Илларионов А.А.

И44

Основы автоматике и управления. Общие сведения о системах автоматического управления [Текст] : учебно-методическое пособие по изучению дисциплины / А.А. Илларионов, В.В. Париевский. – М.: ИД Академии Жуковского, 2023. – 32 с.

В учебно-методическом пособии приведены методические рекомендации по изучению дисциплины, в порядке введения в дисциплину дается краткое изложение основных положений теории автоматического управления, знание которой необходимо инженерам по специальности 25.05.05, а также обучающимся по направлениям подготовки 25.03.01, 25.03.03. Приведены краткие исторические сведения, помогающие лучше понять особенности дисциплины, разобраны фундаментальные принципы управления и построения систем автоматического управления, определены основные понятия и принципы управления в автоматике. Приведена классификация систем автоматического управления по основным признакам.

Настоящее пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Основы автоматике и управления» по учебному плану для студентов третьего курса специальности 25.05.05 всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 28.09.2023 г. и методического совета 24.10.2023 г.

УДК 681.5.01
ББК 6П2

В авторской редакции

Подписано в печать 11.12.2023 г.

Формат 60x84/16 Печ. л. 2 Усл. печ. л. 1,86

Заказ № 1005/1020-УМП04 Тираж 30 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А

Тел.: (495) 973-45-68

E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический
университет гражданской авиации, 2023

Введение

Применение систем автоматического управления (САУ) является важнейшим фактором в развитии всей авиационной техники и, в частности, в решении вопросов надежности и экономичности силовых установок, используемых на летательных аппаратах.

В современной технике, в особенности в авиации, непосредственное участие человека в реализации технических процессов становится опасным или невозможным без помощи разного рода автоматических устройств. Летательные аппараты и их двигатели оснащаются сложными автоматическими системами управления, нередко полностью исключаяющими вмешательство человека в сферу управления и оставляющими за ним только контрольные функции.

Работа систем управления, выбор схем и средств для реализации требуемого закона теоретически обосновывается (рассчитывается), эти расчеты базируются на общей теории управления (которая применима в любой области техники). Составная часть этой теории – теория автоматического управления, главным образом те ее основополагающие разделы, которые необходимы для успешного освоения дисциплины «Автоматика и управления авиационными двигателями» и последующей подготовки авиационных специалистов в области технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей гражданской авиации, изучается на курсе «Основы автоматики и управления».

Основной целью изучения дисциплины является приобретение знаний по принципам действия, особенностям конструктивного построения и классификации САУ, условиям работы, статическим и динамическим характеристикам САУ в целом, а также их основных функциональных элементов или звеньев, овладения методами анализа устойчивости системы и качества регулирования.

Успешное достижение поставленной цели реализуется в процессе прочтения лекционного материала, проведения практических и лабораторных занятий и имеет своей целью усвоить главное - принципиальную общность построения и работы различных по своему устройству и принципу действия систем автоматического управления и их элементов, будь то простейшие гидромеханические САУ или сложнейшие современные цифровые САУ газотурбинных двигателей (ГТД) гражданской авиации 5-го поколения, таких как ПД-14, а также других перспективных силовых установок.

Дисциплина изучается в 7 семестре на лекциях, лабораторных работах и практических занятиях. На ее изучение отводится 72 часа, из них на лекции – 16 часов (8 лекций), на практические занятия - 10 часов (5 практических занятий), на лабораторные работы – 10 часов (2 лабораторные работы), на самостоятельную работу – 36 часов.

Промежуточная форма аттестации по дисциплине – зачёт.

Курс «Основы автоматики и управления» является важной дисциплиной, формирующей как общие инженерные знания в области автоматизации систем летательных аппаратов (ЛА), так и специальные знания по вопросам построения конкретной поэлементной реализации систем автоматического управления силовой установкой. Курс призван также привить навыки анализа условий работы, выявления типовых отказов и выполнения отладки автоматических устройств и систем.

Математический аппарат дисциплины базируется во многом на теории линейных дифференциальных уравнений. Приступая к изучению дисциплины, необходимо иметь знания о методах решения линейных дифференциальных уравнений, владеть методами операционного исчисления, которое широко применяется при решении задач управления современными силовыми установками летательных аппаратов, уметь пользоваться методами линейной алгебры: операциями с матрицами, операциями с комплексными числами, в том числе их преобразованиями в экспоненциальной и тригонометрической форме.

Для успешного усвоения данного курса необходимо хорошее знание и эффективное использование основных положений тех дисциплин, на которых он базируется. Например, при изучении элементов систем автоматического управления, обеспечивающих реализацию заданных законов управления ГТД, рекомендуется предварительно посмотреть раздел теории авиадвигателей, в котором рассматриваются возможные законы управления и эксплуатационные характеристики ГТД, работа компрессора, согласование работы узлов ГТД.

Теоретические разделы дисциплины, содержащие математические выкладки, дадут возможность разобраться, какие физические процессы описывают рассматриваемые уравнения, какие величины входят в эти уравнения и как различные конструктивные и эксплуатационные факторы влияют на них.

Работу элементов САУ и их взаимодействие рекомендуется изучать, используя структурные, функциональные и принципиальные схемы конкретных систем. При изучении принципа работы и устройства автоматов полезно использовать функциональные схемы и чертежи. Поэтому для быстрого и

правильного понимания работы САУ и конструкции регуляторов необходимо иметь навыки чтения гидравлических и электрических схем и чертежей, знать стандарты единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Учебный план дисциплины предполагает изложение материала в лекционном курсе, изучение и закрепление прочитанного материала при самостоятельной подготовке, проведении практических занятий и лабораторных работ. Основная цель практических занятий – разобрать материал лекций и научиться пользоваться методами анализа САУ, на примере решения конкретных частных задач. Основная цель лабораторных работ – получить навыки применения полученных знаний и умений в комплексе, используя весь объем полученных знаний, овладеть методами анализа САУ и комплексного исследования. Необходимым и обязательным условием допуска к сдаче зачета является успешное выполнение и защита всех лабораторных работ.

Изложенные типовые методы исследования устойчивости и качества автоматических систем будут необходимы при изучении курса «Автоматика и управление авиационными двигателями» для анализа и расчета характеристик изучаемых конкретных систем автоматического управления.

Структура дисциплины представлена тремя разделами. В первом разделе разбираются фундаментальные принципы управления и построения систем автоматического управления, раскрываются основные понятия и определения автоматике, приводится классификация систем управления. Во втором разделе даются общие сведения о регуляторах и принципах их действия и излагаются основы математического аппарата описания линейных систем автоматического управления. В третьем разделе дается анализ устойчивости и качества работы систем автоматического управления, а также показаны некоторые методы их исследования, рассмотрен процесс решения задачи синтеза систем автоматического управления. Материалы первого раздела изложены в настоящем учебно-методическом пособии.

Изучение разделов дисциплины необходимо проводить последовательно, поскольку каждый предыдущий раздел содержит базовые знания, необходимые для изучения последующего материала. Невозможно разобраться в отдельной теме или целиком в разделе, если предыдущий материал усвоен недостаточно хорошо. Поэтому в процессе изучения дисциплины, проводится текущий контроль успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предназначен для проверки хода и качества усвоения учебного материала, стимулирования учебной работы

обучающихся и совершенствования методики проведения занятий. Он может проводиться в ходе всех видов занятий в форме, избранной преподавателем или предусмотренной тематическим планом. После завершения изучения раздела проводится промежуточное тестирование по пройденным темам дисциплины.

Основные понятия и определения, введенные в данном курсе, могут отличаться от таковых в других учебника. Перечисленные основные и дополнительные рекомендованные учебные пособия используют в основном схожую терминологию, но имеют некоторые различия, поэтому в данном курсе, особое внимание в первом разделе отводится понятийному аппарату автоматики, который далее будет использоваться на протяжении всего курса и при изучении последующей дисциплины «Автоматика и управления авиационными двигателями», однако для облегчения пользования литературой также приводятся синонимы к понятиям, используемым другими авторами.

Принципиальные вопросы автоматики иллюстрируются небольшим количеством примеров в предположении, что студенты будут иметь возможность изучить на практических занятиях и лабораторных работах с достаточной подробностью методы исследования свойств и определения параметров типовых автоматических устройств, решать конкретные задачи. Таким образом, данное пособие можно рассматривать как введение в дисциплину «Основы автоматики и управления».

Далее приведен перечень основных учебных изданий, помогающих лучше усвоить лекционный материал и дополнительной литературы, которая рекомендуется к изучению для закрепления материала курса и получения при необходимости более глубоких знаний по данному предмету.

Основная учебная литература:

1. Никонов В.В. Автоматика и управление. Часть 1. Основные понятия элементы и математические модели. – М.: МГТУ ГА, 2002.
2. Никонов В.В. Автоматика и управление. Часть 2. Анализ и синтез систем автоматического управления. – М.: МГТУ ГА, 2005.
3. Черкасов Б.А. Автоматика и регулирование воздушно-реактивных двигателей. – М.: Машиностроение, 1988.
4. Петрова А.М. Автоматическое управление. М.: ФОРУМ, 2010. 240 с.
5. Чичков Б.А. Системы самолета и двигателя (раздел «Системы двигателя»). М.: МГТУ ГА, 2016. 16 с.
6. Глухов В. В. Автоматика и управление. М.: МГТУ ГА, 2015. 20 с.

Дополнительная литература:

1. Бессекерский Б.А., Попов Б.Е. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975.
2. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. – М.: Машиностроение, 1962.
3. Никонов В.В. Основы автоматики. Пособие по выполнению контрольной работы для студентов III курса специальности 130300 всех форм обучения. – М.: МГТУ ГА, 2005.
4. Никонов В.В. Основы автоматики. М.:МГТУ ГА, 2005. 32 с.
5. Никонов В.В. Автоматическое управление авиадвигателями. М.: МГТУ ГА, 2008. 36 с.
6. Медведев В.В. Автоматическое управление авиадвигателями. М.: МГТУ ГА, 2008. 56 с.
7. Никонов В.В. Автоматика и управление. Часть 1. Основные понятия, элементы и математические модели. Текст лекций. М.: МГТУ ГА, 2002. 97 с.
8. Никонов В.В. Автоматика и управление. Часть 2. Анализ и синтез систем автоматического управления. Текст лекций. М.:МГТУ ГА, 2005. 95 с.
9. Черкасов Б.А. Автоматика и регулирование воздушно-реактивных двигателей. М.: Машиностроение, 1988. 360 с.
10. Арховский В.Ф., Серегин Ю.Н. Основы автоматического регулирования, М, «Машиностроение», 1974, 208 с.
11. Никонов В.В. Основы автоматики. Пособие по изучению дисциплины для студентов 3 курса специальности 160901 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 2006. 28 с.
12. Никонов В.В. Моделирование переходных процессов в системах автоматического регулирования ГТД. Пособие к выполнению лабораторных работ по дисциплине Основы автоматики. М.: МГТУ ГА, 2002. 20 с.
13. Караваев Ю.А. Автоматика и управление: курс лекций / Ю.А. Караваев, П.К. Кузин, С.В.Пахомов. - Иркутск: ИВВАИУ, 1999. с. 4 – 16. У-1187.
14. Сиротин Г.Г. Автоматика и управление: Учебное пособие / Сиротин Г.Г., Фролов В.Б., Коляда А.И. – М.: ВВИА, 2007. с. 3 – 7. У-2186.
15. Гальперин М.В. Автоматическое управление: учебник. – М.: ИД «Форум»: ИНФРА-М, 2007. – 224 с.

Тема 1. Основные понятия теории автоматического управления. Фундаментальные принципы автоматического управления

1.1. Краткие исторические сведения о развитии теории автоматического управления

Чтобы лучше понять значение дисциплины и ее роль в развитии техники и авиации в частности проследим основные вехи в истории ее создания. Развитие теории автоматического управления, в свою очередь, неразрывно связано с совершенствованием автоматических устройств и технических объектов, для управления которых они создавались.

Простейшие автоматические устройства появились еще в глубокой древности, однако сравнительно недавно человечество научилось использовать их в промышленных установках и транспортных системах.

Создание теории управления и технические примеры ее воплощения в виде автоматических систем регулирования относятся ко второй четверти XVIII века, ко времени промышленных революций в технически развитых странах мира, в основном в Европе и в России. Автоматическое регулирование и управление как область техники появилась значительно позже, чем теплотехника, электротехника, машиноведение, энергетика. Изначально роль и назначение автоматики определялись проблемами эксплуатации машин и производства, которые возникали в указанных отраслях. Назначение систем автоматического регулирования состояло, главным образом, в стабилизации режимов работы регулируемых объектов в соответствии с предписанным для них регламентом. Это могло быть, например, поддержание в процессе работы желаемого, наилучшего в каком-либо смысле состояния технологического процесса, машины, станка, энергетической установки и т.д.

На рубеже XVIII и XIX веков, в эпоху промышленного подъема, начинается новый этап в развитии автоматики, связанный с ее внедрением в промышленность. Появились первые автоматические устройства, к которым относятся регулятор уровня И.И. Ползунова (1765 г.), регулятор скорости паровой машины Дж. Уатта (1784 г.), система программного управления ткацким станком Ж.-М. Жаккара (1804 – 1808 гг.) и ряд других простейших механических регуляторов (рис. 1 и 2).

Указанный период развития автоматики – период регуляторостроения, длившийся свыше полутора столетий, сыграл огромную роль в технике. В это время начинают формироваться важнейшие принципы автоматики: принцип регулирования по отклонению Ползунова – Уатта, который в дальнейшем

сформировал в концепцию применения обратных связей. Помимо регуляторов, действующих по принципу отклонения регулируемого параметра, начиная со второй половины XIX века появляются регуляторы, основанные на непосредственном учете изменения нагрузки машины, действующие по принципу компенсации возникающих возмущений.

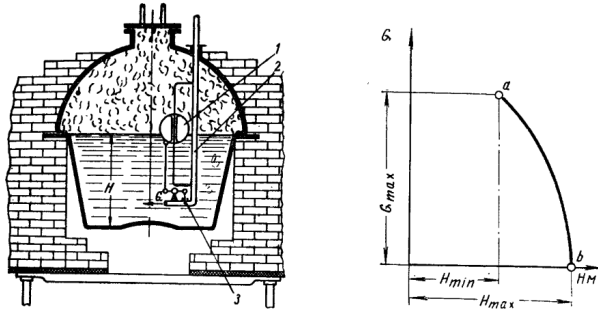


Рис. 1. Регулятор уровня воды в котле И.И. Ползунова (1 – поплавок, 2 – подводная трубка, 3 – задвижка) и характеристика его работы

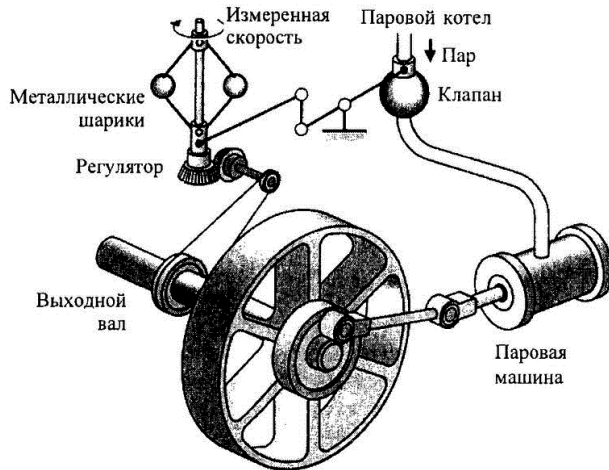
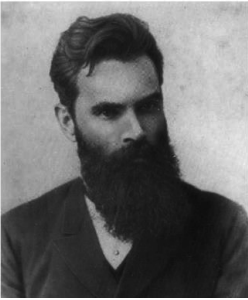


Рис. 2. Центробежный регулятор паровой машины Дж. Уатта

Практика применения промышленных регуляторов потребовала разработки методов их расчета и теоретических исследований процессов

функционирования. Первой в этой области была работа русского математика П.Л. Чебышева «О регуляторах» (1838 г.).

Общая теория регуляторов была разработана, в основном, в 1868-1876 гг. в работах английского физика Дж. Максвелла и русского инженера И.А. Вышнеградского. основополагающими трудами Вышнеградского являются: «Об общей теории регуляторов», «О регуляторах непрямого действия». В этих работах можно найти истоки современных инженерных методов исследования устойчивости и качества регулирования. В эти же годы, английский математик Раус под влиянием Максвелла разработал первый критерий устойчивости, положив начало работам в этом ключевом направлении, несколько позже швейцарский математик А. Гурвиц повторил его выводы, построив критерий устойчивости, сходный с результатами Рауса.

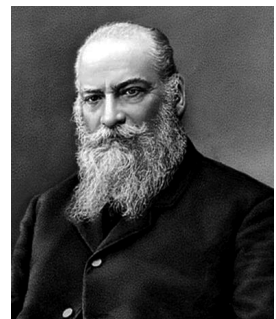


А.М. Ляпунов

Большое значение для развития теории регулирования имели исследования русского математика и механика А.М. Ляпунова. Его труд «Общая задача устойчивости движения», опубликованный в 1892 г., явился важной вехой в развитии теории устойчивости. В этой работе А.М. Ляпунов дал первое в истории науки математически строгое определение устойчивости движения, а также разработал два метода решения задач об устойчивости, основанных на анализе дифференциальных уравнений. В дальнейшем он развивает теорию устойчивости. Многие методы, предложенные А.М. Ляпуновым, до сих пор используются непосредственно и как базовые идеи для формирования методов исследования различных динамических систем высокой сложности.

Крупный вклад в теорию управления внес «отец русской авиации» – профессор Н.Е. Жуковский. В 1882 г., в своей докторской диссертации «О прочности движения», при рассмотрении вопросов устойчивого полета ЛА им была создана теория орбитальной устойчивости на основе вариационных принципов динамики.

В 1909 году Николаем Егоровичем был написан первый русский учебник по теории регуляторов – «Теория регулирования хода машин».



Н.Е. Жуковский

С наступлением XX века задачи теории регулирования начинают выходить за рамки прикладной механики. Автоматика уже с математическим аппаратом в основе продолжает постепенное проникновение во все отрасли техники. Начиная с момента официального формирования научных школ и выделения теории автоматического управления в независимую научную дисциплину в 30-е и 50-е годы, можно говорить о периоде развития классической теории автоматического регулирования.

В тридцатые годы XX века создаются эффективные методы исследования автоматических систем, в частности, частотные. Появляются работы шведского радиоинженера Г. Найквиста (1932 г.), содержащие критерий устойчивости радиотехнических усилителей с обратной связью, и русского ученого А.В. Михайлова (1938 г.), «Гармонический метод в теории регулирования», которые вошли в практику в послевоенные годы.

В 50-е годы началось интенсивное развитие разного рода беспилотных летательных аппаратов, требующих автоматического управления, что стало одной из наиболее важных и инновационных областей применения автоматики в то время.

К концу XX века основные теоретические задачи, связанные с непосредственно реализацией автоматического управления техническими объектами, были в той или иной степени решены, однако потребности промышленности в организации управления оказались значительно шире, чем обеспечение функционирования машин в номинальном режиме. Фокус теории управления смещается с управления процессами на управление качеством. Появляется новый раздел теории автоматического управления – отказоустойчивое управление. Задача отказоустойчивого управления состоит в обеспечении непрерывного функционирования технологического или технического процесса с сохранением требуемого качества, обеспечение инвариантности к воздействиям среды, включая неисправности системы управления (в расширенном смысле, включая объект управления).

К началу XXI века развитие технических средств автоматизации начинает позволять производить большие объёмы вычислений и анализа в режиме реального времени и становится возможным переход от пассивных методов обеспечения инвариантности к методам адаптивного управления.

Появляются системы, которые могут «приспосабливаться» к таким условиям функционирования, которые не являются штатными, при этом используется возможность системы вносить изменения в свою структуру при

помощи специальных методов, технических средств и алгоритмов. В связи с значительным повышением производительности вычислительных средств и внедрением нейросетевых методов в настоящее время развиваются идеи и методы построения систем с обучаемыми многослойными нейронными сетями, выполняющими функцию адаптивного регулятора.

Однако до сих пор остаются нерешенными вопросы, связанные с фундаментальными исследованиями в области отказоустойчивого управления, не имеющие строгого математического и методического аппарата для решения широкого класса задач. Указанный вид управления является чрезвычайно востребованным ввиду значительного потенциального экономического эффекта как на этапе создания сложных технических систем, так и на этапе их эксплуатации, в особенности в связи с необходимостью реализации повышенных требований к безопасности функционирования сложных технических систем.

На рис. 3 и рис. 4 проиллюстрированы пути развития автоматических систем в прошлом и перспективы их развития в будущем.

Одна из главных задач теории управления – задача управляемости – состоит в распознавании состояний, достижимых из данного начального. Решение данной задачи может иметь геометрическую интерпретацию. В общем виде она сформулирована Анри Пуанкаре – создателем геометрической теории дифференциальных уравнений, ставшей предтечей современного подхода к решению задач анализа и синтеза, управляемых нелинейных динамических систем. Если коротко, то суть состоит в том, что, выяснив, до каких состояний можно добраться, мы пытаемся найти наилучший путь. Пути можно сравнивать по времени перехода, длине допустимой траектории, затраченной энергии или значению какого-то другого функционала. Наилучшим считается путь, обеспечивающий минимум заранее выбранному функционалу. Поиск таких путей составляет предмет задачи оптимального управления. Так при чем здесь геометрия? Правая часть обыкновенного дифференциального уравнения есть векторное поле, а соответствующая динамическая система – поток, порожденный этим векторным полем. Таким образом, управляемая система – это семейство векторных полей. Интересующие нас свойства систем сохраняются при гладких заменах переменных в пространстве состояний. Кроме того, допускается обширный класс преобразований, перепараметризующих семейство полей; они называются преобразованиями обратной связи в теории управления и калибровочными преобразованиями в геометрии и математической физике.

Наличие всех этих преобразований есть внешнее формальное основание для применения геометрических методов и бескоординатного геометрического языка в теории управления. Безусловно, использование таких методов выходит за рамки нашего курса, но может быть интересным при более глубоком изучении дисциплины в дальнейшем.

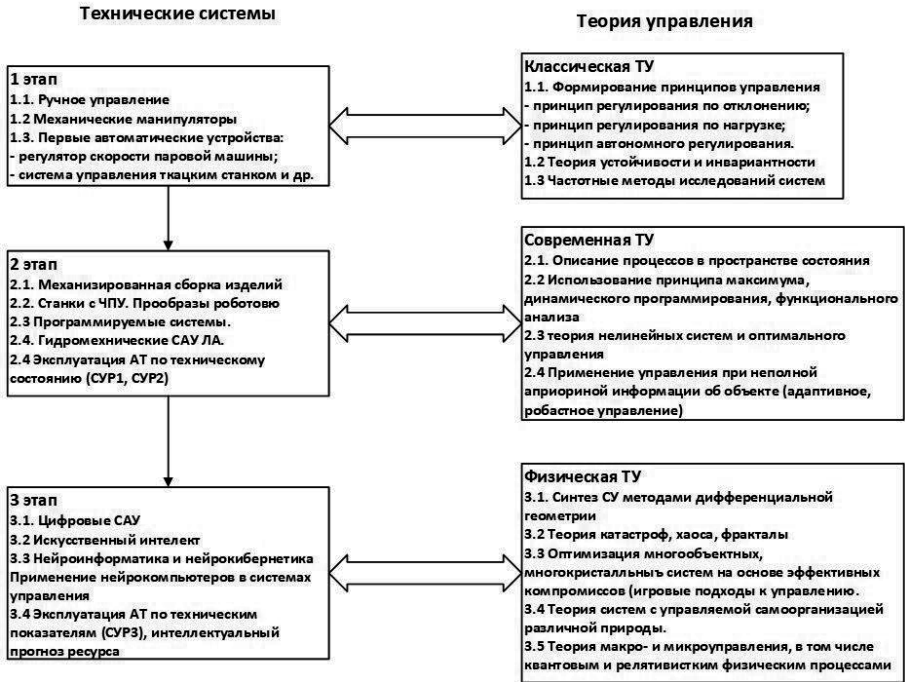


Рис.3. Взаимосвязь развития технических систем и науки об управлении

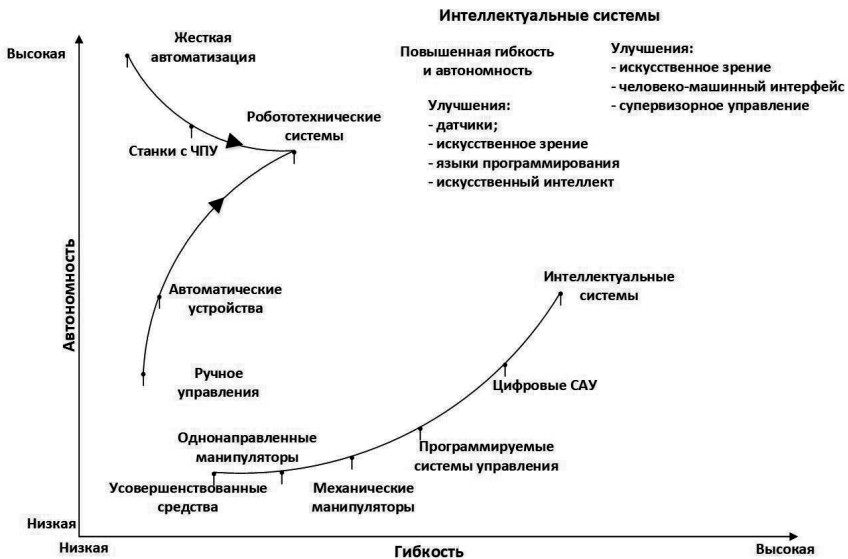


Рис. 4. Направления развития систем автоматического управления

1.2. Основные понятия и определения автоматике

Автоматика – отрасль науки (область знаний), охватывающая теорию автоматического управления, а также принципы построения автоматических систем и образующих их технических устройств.

Научной основой автоматике является кибернетика (с др.-греч. «искусство управления») – наука об общих закономерностях получения, хранения, преобразования и передачи информации в сложных управляющих системах, будь то машины, живые организмы или общество.

Основными задачами автоматике являются задачи синтеза и анализа систем автоматического управления.

«Синтез» и «анализ» – это два первых термина, которые встречаются в нашем курсе «Основы автоматике и управления» и имеют свое, можно сказать «профессиональное» значение. Что бы лучше понять дисциплину необходимо изучить «язык», т.е. терминологию автоматике.

Введем основные понятия и определения автоматике.

Синтез или **задача синтеза** состоит в построении наилучших (по заданным критериям) систем автоматического управления.

Задача анализа состоит в исследовании свойств систем автоматического управления.

Всякий процесс управления предполагает наличие объекта управления (т.е. чем предполагается управлять), управляющего устройства (т.е. что будет использовано для управления) и цели управления, т.е. знание результата, который должен быть получен в процессе управления.

Под **управлением** будем понимать преднамеренное воздействие на технические процессы с целью получения нужных параметров от какого-либо устройства или системы. Частным случаем управления является регулирование – преднамеренное воздействие на объект регулирования, когда контролируемый регулятором параметр отклоняется от заданного значения. В подавляющем большинстве случаев при изучении дисциплины «Основы автоматике и управления» под задачами управления будут пониматься задачи регулирования, поэтому использование терминологии *управление* и *регулирование* будем считать равнозначным.

Управление, осуществляемое без непосредственного участия человека, называется **автоматическим**. При автоматическом управлении объектом

управления управляет автоматическое управляющее устройство, которое далее будем называть – регулятор.

Объект управления (ОУ) или **объект регулирования (ОР)** – техническое устройство (совокупность технических средств), выполняющее энергетический процесс в установленных координатах.

Любое техническое устройство функционирует за счет преобразования энергии из одного вида в другой, например, турбореактивный двигатель преобразует химическую энергию топлива в кинетическую энергию струи воздуха и газов (что в конечном итоге создает тягу двигателя) и в тепло (которое нагревает окружающую атмосферу и, в этом смысле, является потерями энергии для двигателя). Всякий энергетический процесс характеризуется совокупностью физических величин, называемых **координатами** или **параметрами процесса**. Для управления объектом некоторые из его координат должны поддерживаться постоянными или изменяющимися по определенному закону, за счет преднамеренного изменения других координат. Такая необходимость – управление координатами – возникает вследствие того, что нормальный ход процесса нарушается различного рода возмущениями, к которым можно отнести: изменение нагрузки, воздействие внешней среды (например, изменение условий полета или внешние аэродинамические возмущения), изменение характеристик элементов, в том числе отказы отдельных элементов системы, и др.

Автоматическое управляющее устройство (АУУ) или **регулятор (Р)** – совокупность элементов, осуществляющих воздействие на объект управления для достижения заданной цели управления.

Целью управления является получение необходимых параметров и характеристик объекта управления.

Совокупность объекта управления и автоматического управляющего устройства, определенным образом связанных и взаимодействующих между собой, называется **системой автоматического управления (САУ)**. Принципиальным здесь является то, что в автоматике под САУ понимается именно система всех взаимодействующих друг с другом устройств (см. рис. 5). Исключение из этой системы объекта управления привело бы к невозможности изучения ее свойств и, как следствие, не позволило бы решать задачи анализа и синтеза.

В эксплуатации под САУ как правило понимают только средства управления, а в частных случаях их составные части, задающие программу управления (регуляторы).

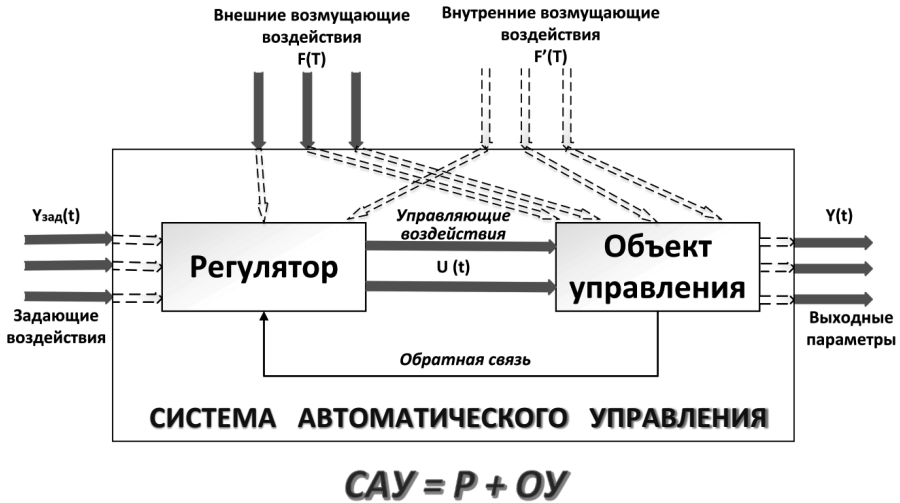


Рис. 5. Укрупненная функциональная схема САУ в общем виде

Функционирование САУ, как и любой системы предполагает (см. рис 5) наличие комплекса входных $X(t)$ и выходных параметров $Y(t)$. Для САУ входными параметрами являются задающие $y_{зад}(t)$ и возмущающие воздействия, под которыми будем понимать внешние $F(t)$ и внутренние воздействующие факторы $F'(t)$.

$$X(t) = \begin{pmatrix} y_{зад1}(t) \\ y_{зад2}(t) \\ \dots \\ f_1(t) \\ f_2(t) \\ \dots \\ f'_1(t) \\ f'_2(t) \\ \dots \end{pmatrix} ; \quad Y(t) = \begin{pmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \\ y_4(t) \\ \dots \\ \dots \end{pmatrix} \quad (1)$$

Задающие воздействия $y_{зад}(t)$ – входной параметр, определяющий желаемое значение выходного параметра.

Внешние воздействующие факторы $F(t)$ – внешнее возмущающее воздействие (помеха) на тот или иной элемент системы, оказывающий влияние на выходные параметры.

Внутренние воздействующие факторы $F'(t)$ – изменения характеристик (износ) элемента системы, оказывающие влияние на выходные параметры.

Для САУ авиационного двигателя *задающим воздействием* может являться заданное автопилотом или летчиком при помощи изменения положения РУД значение частоты вращения ротора двигателя, *внешним воздействующим фактором* – аэродинамические возмущения воздушного потока на входе в двигатель, изменение скорости полета, температуры воздуха на входе в двигатель, а *внутренним воздействующим фактором* – ухудшение КПД элементов двигателя, изменение радиальных зазоров, отказы отдельных элементов автоматики двигателя и др.

Выходные параметры $u(t)$ – параметры функционирования объекта управления, подвергающиеся специально организованному управлению, ограничению или контролю.

Основная роль при изучении САУ отводится группе выходных параметров – **управляемым параметрам (УП)** или **регулируемым параметрам (РП)** – таким параметрам, получение требуемой величины которых являются целью управления.

Состояние любого объекта характеризуется параметрами функционирования. Например, состояние ГТД определяется тягой, температурой газа, частотой вращения ротора, расходом топлива, степенью повышения давления в компрессоре и др; состояние ЛА – скоростью и высотой полета, углом атаки, перегрузками, вертикальной скоростью и др. Одни из этих параметров играют первостепенную роль в функционировании, а роль других – второстепенна. Поэтому из всей совокупности величин, определяющих функционирование объекта, выделяют несколько основных, которые используют для управления (например, частоту вращения ротора ГТД и запас газодинамической устойчивости компрессора) – это и есть *регулируемые параметры*. Другие параметры используют для недопущения выхода за ограничения по условиям прочности, устойчивости или безопасности (ограничиваемые параметры), либо для измерения, учета и последующего анализа (контролируемые параметры).

С целью получения желаемого значения РП регулятор формирует параметрическое воздействие на объект управления $u(t)$. Такое воздействие носит название – **управляющего фактора (УФ)**.

Число регулируемых параметров ($N_{РП}$) должно равняться числу управляющих факторов ($N_{УФ}$).

$$N_{РП} = N_{УФ} \quad (2)$$

Когда управляющих факторов меньше, чем число параметров, которыми необходимо управлять, то вводятся ограничения на те параметры, которые не выбраны в качестве регулируемых, либо вводится селективное управление, при котором САУ самостоятельно определяет какой из параметров рабочего процесса выбрать в данный момент в качестве управляемого.

Например, для самолетной САУ управляющим фактором является перемещение рулевых поверхностей, а регулируемым параметром – угол тангажа. В САУ ТРДД основным УФ является расход топлива, при этом в качестве РП может быть выбрана приведенная частота вращения ротора низкого давления, в таком случае значение приведенной частоты вращения ротора высокого давления, а также величины физических частот вращения роторов являются ограничиваемыми параметрами.

Перечисленные термины являются основополагающими, при изучении новых тем будут последовательно вводиться новые термины. Также необходимо отметить, что терминология, используемая разными авторами, отличается по формулировкам, но не по сути. При этом могут использоваться разные термины для обозначения одних и тех же объектов или явлений. Поэтому достаточно часто после основного термина будет в скобках даваться его аналог для облегчения пользования литературой. В этом курсе мы будем, как правило, применять основную терминологию.

1.3. Фундаментальные принципы управления

В технике, несмотря на широкое разнообразие объектов управления, целей и задач управления, число фундаментальных принципов управления и, как следствие, вариантов построения систем автоматического управления, невелико. В системах автоматического управления авиационных силовых установок нашли применение и широко используются два *фундаментальных принципа управления*:

- 1) управление **по отклонению** (принцип Ползунова – Уатта);
- 2) управление **по возмущению** (принцип Понселе).

Возможно использование обоих принципов управления одновременно, в таком случае принцип управления носит название **комбинированного**.

Развитие автоматики как науки и технический прогресс позволили внедрить дополнительные принципы управления, одним из них является принцип **адаптивного** управления. Разберем более подробно перечисленные принципы, их преимущества и недостатки.

1.3.1. Принцип управления по отклонению

Сущность принципа управления по отклонению состоит в том, что регулятор получает информацию о текущем значении регулируемого параметра $y(t)$ и сравнивает его с заданным значением $y_{зад}(t)$. Если в данный момент

времени $t = t_1$ значение $y(t_1)$ не равно $y_{\text{зад}}(t_1)$, т. е. происходит отклонение, то регулятор вступает в работу и формирует сигнал управления $u(t)$, направленный на объект управления, с целью ликвидации появившегося отклонения. Таким образом, САУ, построенная по данному принципу, непосредственно измеряет регулируемый параметр (РП), следит за его отклонением от заданного значения и изменяет величину управляющего фактора (УФ) $u(t)$ по заложенному закону, стремясь свести к нулю возникшее отклонение (рис. 6).

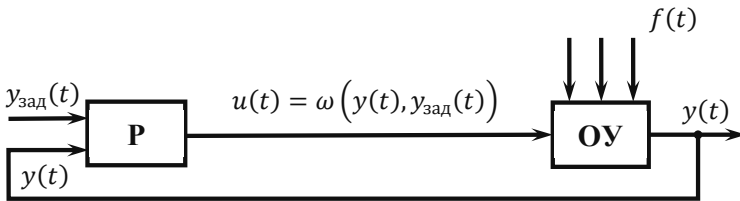


Рис. 6. Обобщенная схема построения замкнутой САУ, осуществляющей управление по отклонению регулируемого параметра

Принцип управления по отклонению основан на использовании следствия действия какого-либо фактора, вызывающего изменение состояния ОУ, т. е. отклонения РП от своего заданного значения. Обязательным функциональным элементом САУ, реализующих данный принцип управления, является наличие *отрицательной обратной связи*, которая называется главной обратной связью (ГОС). В связи с этим, системы автоматического управления, реализующие принцип управления по отклонению называют **замкнутыми**.

По **главной обратной связи** информация о действительном значении РП $y(t)$ передается на вход в регулятор, который определяет отклонение действительного значения РП от своего заданного значения, которое также называется **ошибкой управления** $\varepsilon(t)$ и определяется по формуле:

$$\varepsilon(t) = y_{\text{зад}}(t) - y(t) \quad (3)$$

Термин «отрицательная» обратная связь обозначает, что вычисляется разность между входным сигналом и выходным, т.е. результатом работы автоматической системы. Использование отрицательной обратной связи нашло широкое распространение в системах автоматического управления, причем она используется также в элементах, составляющих регулятор. Именно поэтому

рассмотренная выше обратная связь называется главной, так как она формирует принцип управления системы, а не отдельных ее элементов.

Далее, если это не оговорено особо, под обратной связью будем понимать отрицательную обратную связь.

Обратная связь, уменьшающая влияние входного сигнала на выходной называется отрицательной, а увеличивающее это влияние – положительной. Положительная обратная связь в САУ встречается крайне редко, так как она приводит к неустойчивости системы в целом и ее влияние необходимо компенсировать. Тем не менее вынужденные сочетания факторов приводят в возникновению положительных обратных связей в системах. Например, ТРД с приводным топливным насосом является системой с положительной обратной связью: при увеличении оборотов ТРД повышается производительность топливного насоса, что увеличивает подачу топлива в камеру сгорания и приводит к дальнейшему росту оборотов. При такой положительной обратной связи устойчивость ТРД с приводным топливным насосом может быть обеспечена только за счет использования САУ.

Примерами САУ, реализующих принцип управления по отклонению, являются система управления частотой вращения ротора ГТД, система управления температурой газа за турбиной и др.

Достоинствами данного принципа управления является его простота, универсальность и высокая точность управления. Это объясняется тем, что, во-первых, управление обеспечивается независимо от того, какой причиной было вызвано отклонение РП, иначе говоря, независимо от числа, вида, места приложения возмущающих воздействий, а, во-вторых, процесс управления продолжается до тех пор, пока значение РП не достигнет заданного значения.

К недостаткам данного принципа управления относятся:

- меньшее быстродействие, так как рассогласование, по которому формируется управляющее воздействие на ОУ, появляется только после того, как ОУ изменит свое состояние в результате возмущающего воздействия, т.е. регулятор реагирует не на причину, а на следствие;

- склонность к колебаниям РП в процессе управления, поскольку любой объект управления обладает определенной инерцией к изменению регулируемого параметра.

Несмотря на то, что мы еще не коснулись принципов работы регулятора и алгоритмов, которые закладываются при его построении, необходимо сделать небольшое замечание. Регулируемый параметр, который по ГОС идет на вход в регулятор, обозначен как $y(t)$, т.е. это некоторая функция от времени. Имея достаточно точные устройства (датчики), измеряющие РП, и мощные средства обработки результатов измерения, например, на базе цифрового вычислительного устройства, достаточно просто определять не только

само значение параметра и его рассогласование, которое может быть очень малым на начальном этапе, но и скорость его нарастания, т.е. производную по времени от РП или ошибки управления. Использование скорости изменения РП (если, например, в качестве РП используется производная от частоты вращения ротора двигателя, то к такому параметру применяют термин «п с точкой» – $\dot{n}(t)$) в контуре управления может значительно повысить быстродействие САУ, построенной по принципу отклонения, заставив ее вступать в работу, когда отклонение РП еще незначительно. Однако и здесь появляются проблемы другого рода, связанные с помехозащищенностью такой САУ, решение которых мы коснемся при изучении темы «Устойчивость САУ».

Идея реализации данного принципа была применена в первых регуляторах Ползунова и Уатта, которые в течение двухсот лет служат примерами изящества и простоты.

1.3.2. Принцип управления по возмущению

В автоматике системы с обратной связью играют очень важную роль. Применение обратной связи позволят относительно просто получить процессы, близкие к желаемым, как в статике, так и в динамике. В то же время возможна реализация управления без использования обратной связи, т.е. не имея никакой фактической информации о том, каким образом управляющее воздействие, сформированное регулятором, повлияло на объект управления или как при этом изменился регулируемый параметр. На первый взгляд такой способ управления кажется абсурдным: как можно чем-то управлять, если полученный результат – неизвестен? Ответ на этот вопрос с теоретической точки зрения достаточно прост: поскольку изменение состояния ОУ может произойти только при изменении входных воздействий $X(t)$, к которым относятся задающие и возмущающие, то зная величины этих воздействий, а также установив математически их связь со значением регулируемых параметров, можно управлять ОУ, формируя значение управляющего фактора только лишь зная задающие и возмущающие воздействия.

В случае, если задающее воздействие вовсе не меняется, то формирование управляющего воздействия $u(t)$ производится только в зависимости от причины, вызывающей изменение состояния объекта управления, т.е. направлено на компенсацию внешних и внутренних воздействующих факторов $F(t)$, $F'(t)$. В связи с этим принцип *управления по возмущению* также называют **принципом компенсации**.

Системы управления, реализующие принцип компенсации (рис. 7), не имеют главной обратной связи, по которой действительное значение управляемого параметра $y(t)$ могло бы передаваться на вход в САУ, и поэтому называются **незамкнутыми** (иногда применяется терминология – **разомкнутые**).

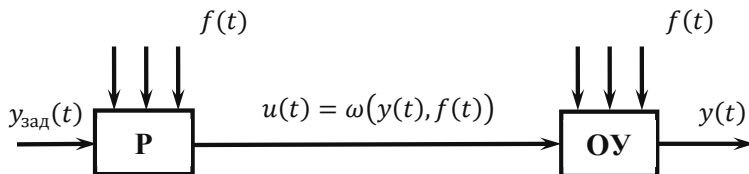


Рис. 7. Обобщенная схема построения незамкнутой САУ, осуществляющей управление по возмущению (принцип компенсации)

Для реализации данного принципа управления должно быть заранее известно, какое влияние каждое из возмущающих воздействий оказывает на состояние ОУ, т. е. на его РП. В зависимости от этого системой формируются управляющие воздействия $u(t)$ такой величины и направления, чтобы компенсировать влияние возмущающих воздействий.

Итак, в незамкнутых системах управления, построенных по принципу компенсации, в отличие от систем с обратной связью, САУ измеряет не фактическое значение РП, а само возмущение из-за которого возникает отклонение РП от заданного. Таким образом, САУ, работающая по принципу компенсации, стремится сразу предотвратить отклонение РП, ей не требуется «ждать» пока в системе появится ошибка, чтобы сформировать воздействие с целью ее устранения, что является несомненным достоинством данного принципа.

Наряду с этим в таких системах имеется ряд очевидных недостатков. В первую очередь, измерение всех возмущающих воздействий практически не осуществимо, а выделение и измерение с высокой точностью наиболее важных из них не во всех случаях позволяет достигнуть целей управления с высоким качеством. Во-вторых, определение реакции ОУ (а также САУ в целом) на измеренные возмущающие воздействия необходимо определить не только для типовой конструкции, но и для каждого конкретного образца, так как отклонение характеристик любого элемента от расчетных приводит к изменению фактического значения РП. Кроме того, такие системы совершенно не пригодны для управления неустойчивыми объектами.

Рассматриваемый принцип регулирования впервые был предложен в 1830 г. французским инженером Жаном Понселе при разработке теории центробежных регуляторов хода машин по нагрузке на валу машины, являющейся одним из основных возмущений в объекте, но реализовать свое предложение на практике ему не удалось.

Заканчивая рассмотрение принципа регулирования по возмущению, можно отметить простоту и устойчивость построенных на этом принципе систем. В то же время такие САУ не могут обеспечить высокую точность поддержания заданного значения РП, в основном, из-за невозможности учета всех возмущающих воздействий. Поэтому использование таких систем оправдано в случае, когда высокая точность не имеет принципиального значения или, когда внешние условия меняются в достаточно узком диапазоне (т.е. когда ошибки от их неполного учета невелики).

1.3.3. Комбинированный принцип управления

Несмотря на то, что из-за указанных недостатков незамкнутые САУ, построенные по принципу компенсации, самостоятельно редко применяются, их использование в сочетании с замкнутыми системами является скорее правилом, чем исключением. Варианты сочетания могут быть различны. САУ, работающей по принципу компенсации, может отводиться основная роль, в этом случае система дополняется различными ограничителями, работающими по принципу отклонения. Наиболее широкое распространение в системах автоматического управления авиационных ГТД нашли САУ, в которых основной контур управления работает по принципу отклонения, а корректирующие воздействие формируется в дополнительном контуре, работающем по принципу компенсации.

Системы автоматического управления, сочетающие в себе одновременно работу как по принципу отклонения, так и по принципу компенсации получили название комбинированные САУ, а принцип управления – **комбинированный принцип управления**. Комбинированное регулирование (по возмущению и отклонению) объединяет достоинства обоих принципов: достигается быстрота реакции на возникающие возмущения (в т.ч. изменение условий внешней среды) и точное регулирование. Несмотря на некоторое усложнение и удорожание таких систем, их использование приводит к улучшению многих показателей, характеризующих процессы в объектах управления.

Рассмотрим САУ турбовинтового двигателя (ТВД) регионального самолета гражданской авиации в качестве примера реализации комбинированного принципа управления.

В качестве РП такого ТВД обычно выбирают частоту вращения ротора двигателя n и температуру газа перед турбиной $T_{г}^*$. В качестве УВ используются угол установки лопастей винта изменяемого шага $\varphi_{л}$ и расход топлива $G_{т}$.

На функциональной схеме такой САУ, изображенной на рис. 8, показано, что регулирование частоты вращения осуществляется по замкнутому контуру, а управление температурой газа – по незамкнутому. В целом же принцип управления, используемой в такой системе, является комбинированным.

Информация о заданном режиме работы двигателя, устанавливаемом при помощи РУД, через автомат объединенного управления (АОУ), который формирует заданные значения РП, поступает в регулятор n и регулятор $T_{г}^*$ (контуры управления), которые обеспечивают автоматическое управление по заданной программе. По соображениям прочности в систему дополнительно вводят специальный ограничитель крутящего момента (ОКМ).

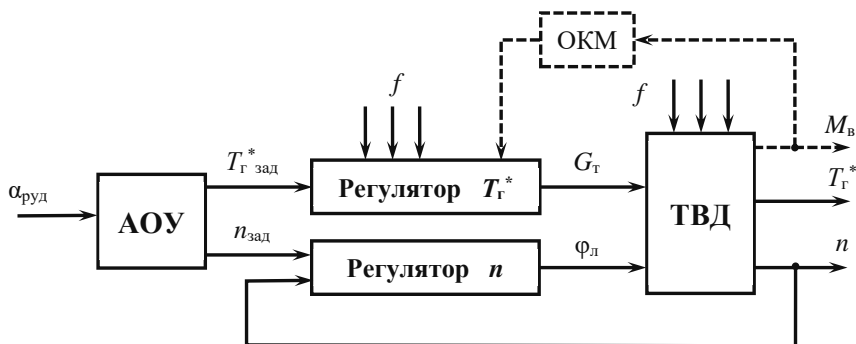


Рис. 8. Функциональная схема системы автоматического управления турбовинтового двигателя

1.3.4. Адаптивный принцип управления

Принцип адаптивного управления основан на возможности изменения параметров или структуры САУ в зависимости от изменения характеристик объекта управления или внешних возмущений, действующих на него. Характеристики объекта и внешние возмущения могут изменяться случайным образом. Принцип адаптивного управления предназначен для осуществления оптимального управления объектом в этих условиях эксплуатации.

Для функционирования адаптивной САУ необходимы:

- аналитическое описание объекта управления и других элементов системы, т. е. математические модели этих объектов;
- алгоритмы адаптации и управления, по которым вычисляются характеристики системы, для обеспечения оптимальной работы объекта управления.

Обязательными функциональными элементами САУ, реализующих данный принцип управления, являются цифровое вычислительное устройство с высоким быстродействием, и развитая система измерений параметров объекта и внешней среды.

Основным достоинством принципа адаптации является возможность оптимизировать управление по заранее установленным критериям в процессе работы ОУ. Этого достоинства не имеют другие принципы управления.

Различают также следующие частные принципы адаптивного управления:

- принцип самонастройки параметров системы. Адаптивные САУ построенные по этому принципу при своей работе автоматически изменяют параметры системы путем настройки управляющих устройств;
- принцип самонастройки структуры системы, при котором автоматически изменяется структура САУ, изменяется алгоритм управления (такие САУ еще называются САУ с переменной структурой);
- принцип самонастройки программы управления. Такие САУ в настоящее время применяются и обеспечивают перенастройку параметров для обеспечения безотказности, повышения тяговых характеристик СУ в условиях полета, поддержание тяги в течение ресурса, увеличивая настройку по температуре газа, для компенсации ухудшения параметров.

Адаптивные САУ являются наиболее перспективными системами управления, в настоящее время идет разработка таких система для силовых установок следующих поколений.

1.4. Элементы автоматических управляющих устройств

В независимости от того, по какому принципу строится та или иная САУ, ее можно разделить на отдельные типовые составные части. Одну такую часть мы уже выделили – это объект управления, состав которого определяется его назначением и для задач автоматизации деления, как правило, не требует. Теперь давайте разберем состав *автоматического управляющего устройства*, или как мы условились его называть – *регулятора*. Регулятор состоит из отдельных элементов, выполняющих определенные функции и имеющих множество конструктивных исполнений, либо вовсе не имеющих своего конструктивного исполнения, а, например, включенного в состав САУ в виде функционального модуля программного обеспечения цифрового блока управления.

Для ознакомления с общими принципами работы элементов надо их классифицировать по определенному признаку, чтобы составить из всего многообразия элементов отдельные группы. Наиболее подходящий для этого способ – деление элементов по *признаку выполнения ими определенных функций* при работе в составе регулятора.

Элементом регулятора называется его структурная или функциональная составная часть, выполняющая определенную самостоятельную функцию.

Основное свойство элемента – направленное действие, т.е. в элементе преобразование параметра происходит только в одном направлении: от входа к выходу. Иными словами, работа элемента не может повлиять на величину входного параметра (безусловно, при наличии обратной связи, величина входного сигнала зависит от работы элемента, но в этом случае мы специально направляем выходной сигнал на вход элемента, так что никакого противоречия здесь нет).

При такой классификации выделим восемь **основных элементов регулятора** и дадим им характеристику:

1) *чувствительные элементы* (ЧЭ) – измеряют величину регулируемой координаты или возмущающего воздействия;

2) *задающие элементы* или *задающие устройства* (ЗУ) – меняют настройку регулятора, задавая значение регулируемой координаты (обычно конструктивно не входят в состав регулятора);

3) *сравнивающие элементы* или *элементы сравнения* (ЭС) – служат для выявления разности двух величин, из которых одна может задаваться механизмом настройки, а другая определяться положением регулирующего

органа. На функциональных схемах ЭС обозначается в отличие от остальных элементов не прямоугольником, а кругом с двумя пересекающимися диаметрами (рис. 9). Закрашенный сегмент означает вычитание входящего в него сигнала из другого сигнала (рис. 9, а). Если сегмент не закрашивается, это означает, что сигналы складываются. Такие элементы называются *сумматорами* (рис. 9, б);

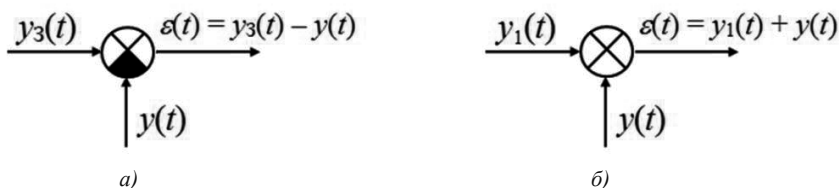


Рис. 9. Изображения элементов сравнения (ЭС) на схемах

4) *преобразующие элементы* (ПЭ) – специальные элементы, предназначенные для преобразования одной физической величины в другую, более удобную для дальнейшего использования без сообщения дополнительной энергии;

5) усилители или *усилительные устройства* (УУ) – в них сигнал сравнения, равный разности измеренной и заданной величин, воздействует на *управляющий элемент* (УпЭ) усилителя, в результате чего происходит усиление сигнала, передаваемого на его *силовые элементы* (СилЭ). Усиление сигнала по мощности осуществляется за счет использования внешнего источника энергии $E(t)$. В ряде случаев усилители наряду с функцией усиления сигналов одновременно выполняют функцию его преобразования в другой вид, более удобный для работы.

6) исполнительные устройства или *исполнительные элементы* (ИЭ) – элементы, предназначенные для перемещения РО (ИЭ, как правило, являются силовыми элементами усилителя). В САУ современных воздушных судов и их двигателей выходным сигналом из ИЭ является обычно механическое перемещение регулирующего органа. Входным же сигналом – чаще всего перепад давлений жидкости, созданный УУ. Примерами ИЭ являются силовой гидроцилиндр, гидромотор, электродвигатель и т. д.;

7) *регулирующие органы* (РО) – элементы конструкции объекта управления или регулятора, предназначенные для осуществления непосредственного управляющего воздействия $u(t)$ на объект управления.

В газотурбинном двигателе регулирующими органами являются подвижные створки реактивного сопла или элементы управления реверсом тяги, поворотные лопатки направляющих аппаратов компрессора, наклонная шайба плунжерного насоса, дозирующий кран в системе топливоподачи и т. д. РО перемещаются исполнительными (силовыми) элементами и изменяют энергетическое состояние объекта управления;

8) корректирующие (стабилизирующие) элементы или *корректирующие устройства* (КУ) – специальные, дополнительно включаемые в САУ устройства, предназначенные для гашения возможных колебаний и улучшения качества управления. Они могут устанавливаться в линии связи перед ИЭ или в линии местной обратной связи по выходному сигналу ИЭ.

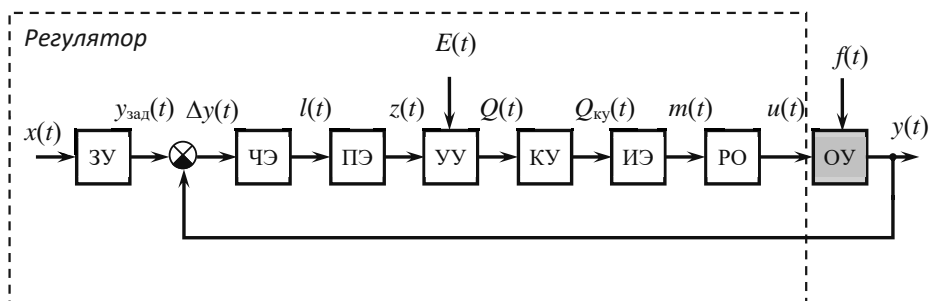
Все перечисленные по функциональному назначению элементы (за исключением ЭС) изображаются на схемах систем управления в виде прямоугольников со стрелками, обозначающими соответствующие входные и выходные сигналы.

Некоторые элементы, например, усилители или стабилизирующие элементы могут отсутствовать в регуляторах. Зачастую элементы конструктивно объединены, и могут выполнять сразу несколько функций, кроме того, один и тот же конструктивный элемент может выполнять различные функции в зависимости от его места в системе. Например, четыре рассмотренных элемента (ЗУ, ЧЭ, ЭС и ПЭ) образуют измерительное устройство (ИЗУ).

Разделив регулятор на элементы и определив назначение каждого из них, можем более подробно изобразить схему замкнутой САУ, разобранный ранее и показанной на рис. 6. Такие схемы, на которых элементы САУ обозначены в виде отдельных блоков и на которых показана взаимосвязь этими блоками, а также входные и выходные параметры системы и, таким образом, раскрывается логика функционирования САУ, называются **функциональными схемами**.

На рис. 10 показана типовая функциональная схема замкнутой САУ с регулятором, содержащим все перечисленные выше элементы. Также на этой схеме приведены основные входные и выходные параметры каждого элемента с их типовыми обозначениями.

Более подробно принципы действия и конструктивные схемы рассмотренных элементов на примере применяемых в САУ ГТД ГА будут рассмотрены в отдельной теме.



**Рис. 10. Типовой состав регулятора
(на примере функциональной схемы замкнутой САУ)**

Напомним, что под *регулятором* (или *автоматическим управляющим устройством*) мы понимаем всю систему автоматического управления, за исключением объекта управления. В дальнейшем, если это необходимо для лучшего понимания конструкции САУ и ее функционирования, некоторые элементы регулятора, в частности задающее устройство или регулирующий орган, могут выноситься за пределы САУ (например, задающее устройство) или включаться в объект управления (например, регулирующий орган в виде наклонной шайбы плунжерного топливного насоса).

1.5 Классификации систем автоматического управления

Рассмотренные принципы управления реализуются на практике в виде определенной конструкции САУ, состоящих из функционально необходимых элементов. Для классификации САУ необходимо выбрать признак, который является наиболее существенным.

По *принципу построения* САУ делятся на: **замкнутые, разомкнутые, комбинированные** и **адаптивные** (или **интеллектуальные**).

Системы замкнутого типа в зависимости от характера изменения входного задающего воздействия и РП могут быть системами: **стабилизации, слежения, программные**.

По наличию и виду вспомогательной энергии САУ можно разделить на две большие группы: САУ **прямого и непрямого действия**. Если в регуляторе ЧЭ воздействует непосредственно на РО, то такая система называется САУ прямого действия (соответственно – регулятор прямого действия). В этих регуляторах мощность первичного сигнала управления, создаваемого ЧЭ, должна быть достаточна для изменения положения РО объекта управления.

Если ЧЭ связан с РО через промежуточные элементы (ПЭ, ИЭ, КУ), то такая система называется системой непрямого действия. В этих системах сигнал от ЧЭ предварительно усиливается по мощности за счет подвода дополнительной энергии. По виду *используемой в САУ энергии* для перемещения регулирующих органов ОУ можно дополнительно подразделить системы автоматического управления на: **гидравлические, пневматические, электрические, электрогидравлические** и т. д.

По *продолжительности и виду управляющего воздействия* САУ подразделяются на **непрерывные** и **дискретные**. В непрерывных САУ происходит непрерывное воздействие на управляемые параметры. При этом входные и выходные сигналы элементов также непрерывно изменяются.

В зависимости *от идеализации, принятой при математическом описании* САУ, они подразделяются на **линейные** и **нелинейные**.

Линейными называются САУ, достаточно точное математическое описание которых возможно с помощью линейных дифференциальных или алгебраических уравнений. Важным свойством линейных систем является справедливость принципа суперпозиции. Сущность принципа состоит в том, что реакция любой линейной системы на сумму воздействий равна сумме реакций от каждого воздействия в отдельности. Нелинейные системы в свою очередь подразделяются на САУ с существенно нелинейными характеристиками и линеаризуемые (например, при помощи метода гармонической линеаризации).

В зависимости *от точности поддержания заданного значения управляемого параметра* системы подразделяются на **статические** и **астатические**. **Статическими** называются системы, поддерживающие заданное значение регулируемого параметра с ошибкой: $y(t) = y_3(t) \pm E_X(t)$, где $E_X(t)$ – статическая ошибка. **Астатическими** называются системы, поддерживающие заданное значение регулируемого параметра без ошибки: $y(t) = y_3(t)$.

По *числу контуров* САУ подразделяются на **одноконтурные (одномерные)**, двух-, трехконтурные и т.д. (**многомерные**). Количество контуров в системе определяется количеством регулируемых параметров и управляющих факторов.

По *назначению* САУ классифицируются в зависимости от ОУ. Например, может быть САУ самолета, ракеты, беспилотного летательного аппарата, воздушно-реактивного двигателя, радиолокационной станции, станка ЧПУ и т.д. В зависимости от количества управляемых величин объекты управления

оборудуются несколькими САУ, либо в одной САУ функционируют несколько независимых контуров, которые можно рассматривать отдельно друг от друга. В этом случае можно классифицировать системы по характеру регулируемых параметр – частоте вращения, температуре и давлению газа или жидкости, напряжению и частоте тока и т.д. Классификация САУ авиационных ГТД по назначению будет рассмотрена при изучении дисциплины «Автоматика и управления авиационными двигателями». На рис. 11 представлена классификация систем автоматического управления.



Рис. 11. Классификация САУ силовых установок

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
<i>Тема 1. Основные понятия теории автоматического управления.</i>	
Фундаментальные принципы автоматического управления	8
1.1. Краткие исторические сведения о развитии теории автоматического управления	8
1.2. Основные понятия и определения автоматики	14
1.3. Фундаментальные принципы управления	18
1.3.1. Принцип управления по отклонению	18
1.3.2. Принцип управления по возмущению	21
1.3.3. Комбинированный принцип управления	23
1.3.4. Адаптивный принцип управления	25
1.4. Элементы автоматических управляющих устройств	26
1.5. Классификации систем автоматического управления	29

Сокращения, используемые в тексте пособия и в функциональных схемах

АОУ - автомат объединенного управления	САУ - система автоматического управления
АУУ - автоматическое управляющее устройство	СилЭ - силовой элемент
ГОС - главная обратная связь	СУ - силовая установка
ГТД - газотурбинный двигатель	ТВД - турбовинтовой двигатель
ЗУ - задающее устройство	ТРД - турбореактивный двигатель
ИзУ - измерительное устройство	ТРДД - двухконтурный турбореактивный двигатель
ИЭ - исполнительный элемент	УП - управляемый параметр
КПД - коэффициент полезного действия	УпЭ - управляющий элемент
КУ - корректирующее устройство	УУ - усилительное устройство
ЛА - летательный аппарат	УФ - управляющий фактор
ОКМ - ограничитель крутящего момента	ЧЭ - чувствительный элемент
ОУ - объект управления	ЭС - элемент сравнения
ПЭ - преобразующий элемент	
Р - регулятор	
РО - регулирующий орган	
РП - регулируемый параметр	
РУД - рычаг управления двигателем	