МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева
Кафедра систем автоматического управления

Утверждено на заседании кафедры
«Системы автоматического управления»
«13» января 2021 г. протокол №8

Заведующий кафедрой
_____ О.В. Горячев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению практических (семинарских) занятий
по дисциплине (модулю)

«Введение в специальность»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы специалитета

По специальности
24.05.06 Системы управления летательными аппаратами

Со специализацией
Системы управления беспилотными летательными аппаратами

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 240506-01-2

Тула 2021 год

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Разработчик(и) методических указаний

Гусев Д.А., ассистент кафедры САУ _____

(ФИО, должность, учёная степень, учёное звание) *(подпись)*

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВТО. ПРЕДПОСЫЛКИ ПОЯВЛЕНИЯ И ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВТО И ЗАДАЧИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПЕРЕД РАЗРАБОТЧИКАМИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.

1.1. Основные понятия

Высокоточное оружие (ВТО) - оружие с неядерной боевой частью (БЧ) разных типов, реализующее концепцию «выстрел-поражение», т.е. достижение такого сочетания мощности боевого заряда и точности его доставки, которое обеспечивало во всех условиях его боевого применения поражение цели первым выстрелом с вероятностью близкой к единице. Отличительная особенность ВТО – наличие бортовой и наземной аппаратуры управления позволяющей целенаправленно менять направление движения средства поражения.

ВТО превратилось в главное средство решения боевых задач в военных конфликтах малой интенсивности. Эффективность поражения цели зависит от совокупности факторов, таких как обнаружение и распознавание цели, точность попадания средства поражения, характеристик боевой части, условий взаимодействия средства поражения и цели.

Комплекс ВТО – взаимодействующая автоматизированная система средств, реализующая разведывательные, ударные и обеспечивающие функции для поражения цели. В состав комплекса входят средства обнаружения, опознавания и целеуказания, средства управления полётом, пусковые устройства, управляемый боеприпас, обеспечивающие средства, человек. Вооружение и информационные системы обеспечения стрельбы могут располагаться на одной платформе, могут быть разнесены в

пространстве. Комплексы могут обеспечивать стрельбу одним типом средства поражения и несколькими типами, как управляемыми, так и неуправляемыми боеприпасами.

Боевые и эксплуатационные свойства комплекса характеризуются его тактико-техническими характеристиками (ТТХ).

Тактико-технические характеристики — совокупность качественных и количественных параметров изделия военной техники или вооружения, описывающая его свойства.

1.2 Краткая история создания ВТО

Начало применения ракет с пороховым двигателем относится к 10-12 векам (Индия, Китай), в западной Европе – к концу 13 века. В России на вооружении состояли зажигательные (18 век) и фугасные (19 век) ракеты. В середине 19 века в связи с распространением нарезной артиллерии интерес к ракетному оружию упал. Работы по его созданию возобновились после первой мировой войны на новом научно-техническом уровне — создавались управляемые ЛА.

Управление исполнительным звеном машины на расстоянии стало проблемой давно. Однако ее решение могло осуществиться при условии формирования команд наведения и стабилизации на борту или вне ЛА, исполнения команд на ЛА, для чего необходимо:

-наличие устойчивой связи между запускающим устройством и летательным аппаратом или аппаратом и целью;

-возможность учета воздействий среды и немедленного устранения отклонений, вызываемых этими воздействиями, с командного пункта или аппаратурой самого ЛА, возможность определения координат ЛА.

Выполнение этих условий стало возможным в начале 20 века. Основные определяющие этапы и открытия: изобретение и разработка конструкций элементов автоматики и телемеханики; изобретение радио; изобретение и создание конструкций реактивных двигателей; общий прогресс науки и техники, позволяющий осуществить идеи, способы и

устройства управления летательными аппаратами без пилотов.

Первые разработки беспилотных систем появились в нашей стране и за границей в 20-х годах XX века.

В литературе можно найти упоминание о том, что первые беспилотные радиоуправляемые самолёты появились после первой мировой войны и предназначались для уничтожения кораблей (в 1910 году в США создана и испытана модель самолёта-снаряда, в 1933 году в Великобритании успешно испытан радиоуправляемый самолёт-мишень, в Германии велись успешные разработки беспилотных ЛА разных типов).

За время второй мировой войны идеи управляемых боеприпасов получили практическое воплощение.

В Германии в период второй мировой войны было разработано 23 образца управляемых реактивных снарядов, в том числе класса «земля-земля» – 5, «земля-воздух» – 6, «воздух-земля» – 3, «воздух-воздух» – 6, остальные исследовательские. Самой современной, по тому времени, была ракета ФАУ-2 (V-2, А-4), одноступенчатая баллистическая ракета с жидкостным ракетным двигателем и автономным управлением на активном участке траектории, разработана в 1939/1942 г.г. Ракету ФАУ-2 называют первым представителем и общим предком всех боевых баллистических ракет. Крылатая ракета ФАУ-1 стоила 61260 марок, баллистическая ракета ФАУ-2 дороже – 306300 марок, но и она была почти в 6 раз дешевле, чем бомбардировщик. Продолжительность жизни бомбардировщиков Хейнкель или Юнкерс в конце войны ограничивалась 4-5 боевыми вылетами, кроме того, в самолётах гибли пилоты. Эти обстоятельства стали ещё одними аргументами для принятия решения многими странами о разработке ракет класса «земля-земля».

Из немецкого исследовательского центра в Пенемюнде, где были созданы ракеты ФАУ-1 и ФАУ-2, в конце войны сдались американцам и затем перебрались в США 492 ведущих специалиста, среди которых были крупнейший в мире конструктор ракет Вернер фон Браун, генерал Вальтер

Дорнбергер – «основатель мирового тяжелого ракетного машиностроения». Кроме того, в США были вывезены вся техническая документация, более 100 готовых к отправке на фронт ракет ФАУ-2, боевые стартовые позиции вместе с военным персоналом.

Уместно отметить, практическое ракетостроение начинали молодые инженеры. В Германии капитан Вальтер Дорнбергер (1895-1980) в 1930 году в возрасте 35 лет возглавил подразделение по разработке ракет, а затем стал одним из руководителей ракетного центра в Пенемюнде (до этого он воевал в тяжелой артиллерии, затем с отличием закончил Берлинский технический университет, получил степень доктора технических наук), в годы второй мировой войны получил генеральское звание. Вернер фон Браун (1912-1977), будучи аспирантом Берлинского университета в 19 лет стал первым гражданским сотрудником Дорнбергера, а в 25 лет занял пост технического руководителя ракетного центра и главного конструктора ФАУ-2, где в его подчинении находилось до 20000 конструкторов, инженеров и рабочих.

В Советском Союзе – Сергей Павлович Королев (1907-1966), конструктор ракетно-космических систем, практически ровесник Брауна, в 25 лет возглавил созданную с Ф.А. Цандером Группу изучения реактивного движения, в 1933 году стал заместителем начальника Ракетного НИИ, с 1946 года – главный конструктор ракетно-космической техники. Под его руководством созданы многие МБР, РН (в том числе ракета «Союз-У» - самая известная, массовая и высоконадежная – 97,5 % успешных запусков), первый ИСЗ, пилотируемые КК.

До момента создания в Германии ракетного центра в Пенемюнде (прообраз сегодняшних наукоградов) развитие ракетостроения в Германии и СССР шло параллельными путями и практически одинаковыми темпами. Конечно, создание ФАУ-2 не могло изменить хода второй мировой войны, но, по мнению американских специалистов, использование немецкого опыта позволило сэкономить им до 5 лет при реализации собственных ракетных программ (надо думать, аналогичная ситуация была и в нашей стране, что

более важно).

За рубежом (кроме Германии) за период 1942-1958 г.г. было разработано более 330 образцов управляемого реактивного оружия, в том числе класса: «земля-земля» – 76, «земля-воздух» – 50, «воздух-земля» – 38, «воздух-воздух» – 44. На долю США приходится 186 образцов, Франции – 50 образцов.

Практическая разработка управляемой ракетной техники самого различного назначения началась в СССР уже в первые послевоенные годы. Задача воспроизвести ракету ФАУ-2 оказалась достаточно сложной из-за более низкого уровня техники и технологии по сравнению с Германией. Достаточно сказать, что из 232 сортов черных и цветных металлов, неметаллических материалов, использовавшихся в ФАУ-2, в нашей стране производилось лишь половина. Требовалось развитие многих отраслей, новые кадры.

13 мая 1946 года руководством страны принято постановление № 1017-419, которым положено начало формирования отдельной отрасли оборонной промышленности – ракетостроению. Ранее, в 1944 году было принято постановление правительства о мерах по созданию реактивной техники и подготовки в вузах необходимых для этой цели специалистов. Во исполнение этого постановления уже в 1945-1946 годах началась подготовка специалистов в области реактивной техники в МВТУ, в Ленинградском Военно-механическом институте, и уже в 1946 году состоялся их первый выпуск.

В октябре 1947 года произведен первый пуск советской управляемой баллистической ракеты Р-1 на базе ФАУ-2 (поставлена на вооружение в 1950 году), в 1960 году поставлена на вооружение межконтинентальная баллистическая ракета Р-7. Эти первые ракеты созданы под руководством С. П. Королева. 4 октября 1957 года в Советском Союзе выведен на орбиту первый в мире искусственный спутник Земли, 12 апреля 1961 года в космосе побывал первый человек – Ю. А. Гагарин.

В период до 1960 года приняты на вооружение управляемые ракетные комплексы: авиационная ракета класса «воздух-воздух» – РС-1У, авиационная ракета класса «воздух-поверхность» – «Комета», управляемая авиабомба УБ-2Ф, ЗРК С-25 с ракетой В-300 для ПВО, ЗРК С-75 с ракетой В-750 для ПВО, корабельный комплекс с крылатой ракетой КСЩ, крылатая ракета наземного базирования ФКР-1, ПТРК «Шмель» и «Фаланга».

Ракетой В-750 1 мая 1960 года в районе Свердловска был сбит американский самолет-разведчик Lockheed U-2 с пилотом Ф. Г. Пауэрсом, пилот катапультировался с высоты 20000 м и был арестован (самолеты этого типа по заданию ЦРУ 4 года безнаказанно летали над территорией СССР, высота полета самолета-разведчика-21000 м, возможности наших истребителей – МиГ-17-высота до 16500 м, МиГ-19-18000 м, РЛС-менее 18000 м). 4 марта 1961 года противоракета В-1000 впервые в мире перехватила головную часть баллистической ракеты.

Необходимость создания ВТО в нашей стране в 1950-е годы повлекло перепрофилирование многих оборонных предприятий, потребовало создания новых отраслей промышленности, освоению новых компетенций в науке, производстве, образовании.

1.3 Краткая история появления кафедры Систем автоматического управления

В Туле, в механическом институте подготовка кадров для ракетной отрасли началась в 1954 году по инициативе и активном участии Мамонтова М. А. С 1956 года ведет свою историю кафедра САУ, получившая сегодняшнее название в 1961 году; в 1961 году организована кафедра гироскопических приборов и устройств. Первые работы по созданию ракетного оружия в ЦКБ-14, г. Тула (ныне ОАО « КБ приборостроения им. академика А.Г.Шипунова») начались в 1956 году. Поиски своего пути в КБ продолжались несколько лет, в течение которых известные конструкторы стрелково-пушечного вооружения «присматривались» к новой тематике (авиационные, зенитные, тактические баллистические и противотанковые

ракеты), разрабатывая документацию, участвуя в конкурсных разработках. Затем оформились научно-технические направления: ПТРК, КУВ артиллерии, танков и БМП, ЗРПК, стрелково-пушечное вооружение и боеприпасы. В 1986 году на базе КБП организован учебный центр Тульского государственного университета. С 1962 года по 2006 КБП возглавлял Шипунов А. Г. – выдающийся конструктор, ученый, организатор, основатель научной школы по стрелково-пушечному и управляемому ракетному вооружению, действительный член Российской академии наук, выпускник Тульского механического института (7.11.1927-25.04.2013). Д.О.Рогозин, заместитель председателя Правительства РФ, на встрече с коллективом ОАО «КБП» 27.04.2013 сказал: «Шипунов был человек выдающейся воли и веры в том предназначении, которое он сам нёс и нёс его коллектив» («За прогресс» №40-41, 2013). 23 января 2014 года предприятию присвоено имя Аркадия Георгиевича Шипунова. На протяжении всей своей истории кафедра САУ активно сотрудничала с КБП, что и определило направленность академической и научной деятельности кафедры. Выпускники кафедры внесли существенный вклад в разработку образцов управляемой техники КБП.

Одним из руководителей космической программы, председателем правительственной комиссии при запуске первого космонавта являлся Константин Николаевич Руднев. Руднев К. Н. (1911-1980), – советский государственный деятель, Герой Социалистического Труда, в 1958-61 годы председатель Государственного комитета Совета Министров СССР по оборонной технике. В 1961-1965 заместитель председателя СМ СССР, председатель Государственного комитета по координации научно-исследовательских работ. С 1965 года министр приборостроения, средств автоматизации и систем управления. Константин Николаевич Руднев с отличием закончил в 1935 году Тульский механический институт (первый выпуск).

Выпускники машиностроительного, механического и САУ

факультетов (ныне институт высокоточных систем имени В.П. Грязева) успешно трудились и трудятся в оборонных отраслях промышленности, на полигонах, служат в армии, создавая оборонный потенциал страны.

1.4 Системы автоматического управления как неотъемлемая часть ВТО.

Проблема управления ракетами сводится к выбору метода наведения и , созданию автоматической аппаратуры, обеспечивающей удержание ракеты на заданной или формируемой в процессе полета траектории либо без участия, либо с некоторой помощью человека-оператора независимо от любых регулярных или случайных, внешних или внутренних возмущении.

Системы автоматического управления (САУ) в целом представляют собой сложные динамические системы. Исследование, проектирование, производство, испытания и эксплуатация САУ любого объекта представляет сложную научную и практическую задачу.

Например, считается, что основными затратами при разработке управляемых ракет являются затраты на систему управления. Так, для ракеты «Сперроу-1» (класс «воздух-воздух», наведение по радиолучу, стартовый вес 135 кг, общие затраты на разработку 30 млн. долларов) затраты распределились следующим образом: система управления, включая автопилот и источники энергии 77,5%, планер снаряда 12,5%, двигатель 6,5%, боевая часть 3,5%.

Состав аппаратуры системы управления, ее распределение на бортовую и наземную часть определяется применяемым в данной системе способом управления.

Обычно используется следующая классификация способов управления:

1) автономное управление;
2) управление с командного пункта (системы телеуправления – СТУ, системы телеориентирования – СТО);
3) самонаведение;

4) комбинированное управление.

В зависимости от степени участия человека-оператора в наведении беспилотного управляемого летательного аппарата (БУЛА) (сопровождение цели, наблюдение за ЛА, выработка команд наведения), системы управления делятся на автоматические и автоматизированные (полуавтоматические, ручные).

В зависимости от места формирования сигнала управления рулями ракеты можно выделить два метода управления с командного пункта:

Первый – формирование командных сигналов на пункте управления и передача их по линии телеуправления (линии связи: проводной – электрической или волоконно-оптической линии связи (ВОЛС), открытой – радио, лазерный, ИК-луч.) на борт ракеты. Система управления, реализующая этот метод, называется системой телеуправления (теленаведения) - СТУ. Реализованы ручные, полуавтоматические, автоматические СТУ.

СТУ включает следующие три подсистемы: контур слежения за целью, контур слежения и контур наведения управляемой ракеты. Функции телеуправления реализуются аппаратурой командного пункта, бортовой аппаратурой, линией связи с участием или без участия оператора в контуре.

Формирование команд управления может осуществляться следующими способами: в координатах пункта управления, в этом случае на борту ЛА должна находиться опорная система отсчета, оси которой параллельны соответствующим осям системы координат командного пункта, техническая реализация опорной системы координат обычно осуществляется с помощью трехстепенного свободного гироскопа (стабилизация по крену, либо перевод команды в связанную с ЛА систему координат); на командном пункте с учетом отклонения ЛА от заданной траектории (линии визирования) и угла крена.

Второй метод управления с командного пункта – формирование сигналов управления на борту ракеты с помощью специальных устройств,

измеряющих отклонение ракеты от заданной линии или плоскости движения. Направление линии или плоскости движения в пространстве задается с помощью средств пункта управления и изменяется в процессе наведения ракеты на цель (ракета движется в информационном поле – радио, лазерный, ИК-луч.). Система управления, реализующая этот метод, называется системой телеориентирования (управление по лучу, «оседланный луч») – СТО. Реализованы полуавтоматические, автоматические СТО.

Самонаведением называется способ автоматического управления движением ЛА с помощью бортовой аппаратуры, основанный на информации, выделяющей цель на окружающем фоне.

Для наведения используется излучаемая или отражаемая целью энергия, контрастно выделяющая ее на окружающем фоне. По виду энергии, которую излучает или отражает цель, системы самонаведения разделяются на радиолокационные и оптические (инфракрасные или тепловые, световые, лазерные).

В зависимости от места расположения первичного источника энергии системы самонаведения могут быть пассивными, активными и полуактивными. При пассивном самонаведении энергия, излучаемая целью, создается источниками самой цели (сюда же относят системы, воспринимающие отраженную целью энергию естественных облучателей цели - Солнце, Луна). Система активного самонаведения характеризуется тем, что источник энергии, облучающий цель, устанавливается на ЛА и для самонаведения используется отраженная от цели энергия этого источника. При полуактивном самонаведении цель облучается первичным источником энергии, расположенным вне цели и ракеты.

Для управляемых боеприпасов ближней зоны действия наиболее распространенными являются активные радиолокационные, полуактивные лазерные и пассивные инфракрасные системы самонаведения.

Схема получения информации ГСН в активном, полуактивном и пассивном режимах представлена на слайде 13 (имеются проекты УР с

комбинированными ГСН – с полуактивным лазерным, пассивным ТПВ и активным РЛ каналами, у примеру УР JCM, США, контур планера которой изображен на схеме). Примером реализации пассивной системы самонаведения может служить семейство ПЗРК Стрела-2, Игла.

К системам самонаведения иногда относят такие системы, которые на каком-то участке движения ЛА наводят его в пространственно-временную область, определяемую заданными заранее или формируемыми в процессе движения данными. Очень часто - при этом подразумеваются соответствующие физические поля - собственные радиолокационное, тепловое, радиационное и магнитное излучение Земли, жестко коррелированные с целями.

К комбинированным системам управления относят интегрированные системы, реализующие различные способы управления (автономное, управление с командного пункта, самонаведение) на отдельных участках траектории (последовательно или параллельно) с целью повышения эффективности работы комплекса.

Развитие комбинированных систем управления, расширение масштабов их использования обусловлено следующими факторами:

– необходимость повышения боевой и эксплуатационной эффективности комплекса;

– развитие научной и технологической базы отраслей ракетостроения, электроники, приборостроения, информационных технологий;

– реализация перспективной концепции «независимости объекта вооружения на всех стадиях применения» и «виртуализации деятельности оператора».

На западе развитие управляемых ракет (особенно УР на подвижных носителях) образно характеризуется следующими принципами:

– «первым увидел – первым выстрелил» (First Look – First Fire);

– «первым пустил – первым поразил» (First Shoot – First Kill);

– «выстрелил и забыл» (Fire and Forget);

– «пустил и ушел» (Launch and Leave).

1.4 Современные тенденции создании образцов ВТО.

Можно выделить основные тенденции развития ВТО в современных геополитических условиях.

Создание универсальных систем и комплексов (многофункциональные, многоцелевые, модульные УСП; универсальные пусковые установки; многоплатформенные системы).

Создание управляемых средств поражения малого калибра.

Развитие информационно-коммуникационной части ВТО.

Роботизация и автоматизация управления комплексов. Сокращение цикла от обнаружения до поражения цели. Использование методов искусственного интеллекта.

Развитие систем оружия. Создание ВТО для диапазона дальности 10-100 км.

Развитие способов и устройств управления МГУБП. С развитием технологической базы бортовой и наземной аппаратуры управления (микроэлектромеханические и микропроцессорные системы в первую очередь), информационных технологий следует ожидать дальнейшего взаимопроникновения идей и решений разных видов и систем ВТО (в первую очередь по системам управления).

Развитие инновационных технологий применения систем и комплексов ВТО, включая децентрализованную стайную тактику ведения боевых действий.

Развитие технологий защиты и облегчения труда оператора. Создание систем и технологий подготовки операторов, контроля и поддержания профессиональной формы.

Повышение точности неуправляемых боеприпасов внедрением блоков коррекции траектории, управлением начальным состоянием боеприпаса.

ВТО должно быть надежным, простым в эксплуатации,

технологичным, эффективным за счет скрытности, внезапности применения, высокой живучести, предельной минимизации сил и средств, привлекаемых к решению боевой задачи.

Современные условия ведения боевых действий характеризуются постоянным увеличением скоростей и расстояний, на которых осуществляется взаимодействие противоборствующих сторон, а также расширением номенклатуры различных целей и средств их поражения. Вследствие этого растут и требования по дальности действия и скорости полёта высокоточных боеприпасов. Кроме того, возникает потребность в универсальных малогабаритных летательных аппаратов (ЛА), способных бороться с широкой номенклатурой целей на значительных расстояниях, в идеальном варианте, находясь за пределами зоны ответного огня. Данным требованиям более всего соответствуют межвидовые ЛА, разработка которых в настоящий момент проводится в ряде стран.

Примером межвидового ЛА является комплекс Polyphem (Франция, Германия, Италия), обладающий комбинированной системой наведения. Комплекс разрабатывается с 1984 года, дальность 20 и 60 км, БЧ многоцелевая кумулятивно - осколочная, система наведения инерциальная/ GPS + тепловизионная ГСН + система телеуправления с ВОЛС. Оператор в контуре наведения в любой момент может взять управление комплексом на себя, изменить точку прицеливания, получить информацию о попадании в цель. Система управления огнем позволяет планировать операции до пуска. В памяти компьютера имеется цифровая карта местности, где в реальном масштабе времени отображается местность, над которой пролетает ракета (высота траектории 20...600 м). Возможен повторный заход на цель. Волоконно-оптический кабель аналогичен используемому для гражданских телекоммуникационных целей (внешнее покрытие специальное). Прочность кабеля на разрыв в 10 раз больше прочности металлических проводов. Диаметр кабеля – 250 мкм. Скорость передачи видеоизображения и данных от ракеты к пусковой установке (ПУ) – 240 Мбит/с. Скорость передачи

данных от ПУ и ракеты – 10 Мбит/с. Внешний вид УР Polyphem и типичная траектория полета УР представлены на слайде.

Автономная система наведения реализована в структуре комбинированной системы управления межвидовой ракеты PAM (Precission Attack Missiles – высокоточная атакующая ракета) ракетного комплекса тактического назначения NLOS-LS (Non –Line-of-Sight-Launch System – пусковая установка с наведением не по линии визирования. Установку можно назвать универсальным ракетным оружием, так как она представляет собой гибрид системы залпового огня (скорострельной ракетной системы), сверхдальнего ПТРК и систем разведывательных и ударных БАС. Пусковые контейнеры с ракетами смонтированы в едином транспортабельном блоке (15 контейнеров с ракетами и один контейнер с электронными оборудованием). Основные ТТХ ракеты: длина – 1,5 м, диаметр корпуса – 0,18 м, масса – 45 кг, средняя скорость – дозвуковая, max дальность стрельбы– 40 км, время полёта – 6 мин, двигатель – двухрежимный РДТТ, БЧ – кумулятивная /осколочно-фугасная, масса ВВ – около 5 кг. Система управления полётом – комбинированная: инерциальная с коррекцией по данным КРНС «Навстар», +самонаведение (комбинированная ГСН – ТВ/ТпВ/ПЛГСН с автоматической системой распознавания цели ATR – Automatic Target Recognition). Ракета имеет двухстороннюю связь с КП, что позволяет корректировать данные о положении цели и корректировать направление. КВО – 5 м, при использовании системы распознавания целей – 0,5 м, при наведении по отражённому лазерному лучу – 0,25 м. Помимо режимов самонаведения реализуется режим «координатной атаки» (для нанесения ударов по малоподвижным объектам с известными координатами). Комплекс может оснащаться ракетой LAM (Loitering Attack Missile – барражирующая атакующая ракета)

Гермес — комплекс управляемого ракетного оружия, разработанный в Конструкторском бюро приборостроения (АО КБП им. Академика А.Г. Шипунова) в Туле иллюстрирует собой пример отечественного подхода к

построению межвидового комплекса.

Комплекс предназначен для поражения одиночных и групповых целей (в том числе танков, инженерных и фортификационных сооружений, надводных целей и низкоскоростных летательных аппаратов) одиночным или залповым огнем на дальностях до 100 км. Авиационный вариант комплекса имеет дальность до 15-20 км.

Комплекс приспособлен под различные варианты базирования и представляет собой унифицированный образец высокоточной реактивной артиллерии для всех родов войск.

Принципы разработки:

- увеличенная дальность стрельбы за счет применения двухступенчатой бикалиберной управляемой ракеты с высокоэнергетичной двигательной установкой;

- универсальность действия по целям за счет применения УР с мощной осколочно-фугасной боевой частью;

- высокий боевой потенциал за счет большого боекомплекта управляемых ракет на носителе;

- высокая огневая производительность за счет обеспечения сверхзвуковой скорости полета ракет и возможности залповой стрельбы;

- автоматизация процесса наведения за счет реализации принципа «выстрелил–забыл»;

- модульность построения, позволяющая размещать комплекс на различных типах носителей.

Таким образом, межвидовые ЛА занимают тактическую нишу, которая ранее была недосягаемой для малогабаритных ЛА, дальность их действия должна составлять около 100 км, а боевые возможности быть достаточными для поражения большинства существующих целей.

В настоящее время в мире в качестве перспективных систем военного и гражданского применения все более широкое внимание привлекают беспилотные авиационные системы (БАС) благодаря разнообразию тактико-

технических характеристик и возможностям разных целевых нагрузок.

Естественно, развитие ВТО стимулировало развитие средств и способов защиты и борьбы с ним, например:

- выведение из строя носителя управляемого средства поражения;

- создание средств защиты объекта («не дать себя обнаружить, если обнаружили - не дать в себя попасть, если попали - уменьшить разрушения, сохранить работоспособность и жизнь экипажа (расчета)»);

- уничтожение боеприпаса и подсистем ВТО в любой точке нахождения («жесткое поражение»);

- выведение из строя или нарушение функционирования бортовой аппаратуры управляемого боеприпаса воздействием электромагнитным полем или используя высокоэнергетические лазеры;

- нарушение функционирования информационных каналов системы наведения управляемого боеприпаса оптико-электронным и радиоэлектронным противодействием («мягкое поражение»), постановкой помех;

- создание вооружения, позволяющего выиграть дуэль с противником («раньше обнаружил, первым выстрелил, первым поразил»).

Примером средства защиты от ВТО могут служить комплексы активной защиты бронетехники, принцип работы которых приведён на слайде, а также противоракетные системы различного уровня, к примеру Израильская система «Железный купол»

1.5 Вопросы для текущего обсуждения на занятии.

Профильные предприятия России, продукция этих предприятий.

Известные разработки предприятий тульской области.

Инженерная деятельность по разработке образцов ВТО.

Области научных знаний, необходимые для осуществления инженерной деятельности в сфере ВТО.

Системы управления летательными аппаратами, применительно к различным инженерным задачам.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ДЛЯ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ. ПОНЯТИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ, ПРИМЕНЕНИЕ СКВОЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЛА.

1.1 Система MathCAD

Mathcad – это приложение для математических и инженерных вычислений, промышленный стандарт проведения, распространения и хранения расчетов. Mathcad – продукт компании PTC – мирового лидера разработки систем САПР, PDM и PLM. Mathcad является универсальной системой, т.е. может использоваться в любой области науки и техники – везде, где применяются математические методы.

Документы Mathcad представляют расчеты в виде, очень близком к стандартному математическому языку, что упрощает постановку и решение задач. Mathcad содержит текстовый и формульный редактор, вычислитель, средства научной и деловой графики, а также огромную базу справочной информации, как математической, так и инженерной. Редактор формул обеспечивает естественный «многоэтажный» набор формул в привычной математической нотации (деление, умножение, квадратный корень, интеграл, сумма и т.д.). Мощные средства построения графиков и диаграмм сочетают простоту использования и эффектные способы визуализации данных и подготовки отчетов.

Вычислительные средства Mathcad обеспечивают расчеты по сложным математическим формулам, включая численные методы и аналитические преобразования. Mathcad имеет большой набор встроенных математических функций, позволяет вычислять ряды, суммы, произведения, интегралы, производные, работать с комплексными числами, решать линейные и нелинейные уравнения, а также дифференциальные уравнения и системы, проводить минимизацию и максимизацию функций, выполнять векторные и

матричные операции, статистический анализ и т.д. Автоматически ведётся контроль размерностей и пересчёт в разных системах измерения (СИ, СГС и др.).

1.2 Система Matlab

MATLAB (сокращение от англ. «Matrix Laboratory», в русском языке произносится как Матла́б) — пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений.

MATLAB — это высокоуровневый язык и интерактивная среда для программирования, численных расчетов и визуализации результатов. С помощью MATLAB можно анализировать данные, разрабатывать алгоритмы, создавать модели и приложения.

Язык, инструментарий и встроенные математические функции позволяют вам исследовать различные подходы и получать решение быстрее, чем с использованием электронных таблиц или традиционных языков программирования, таких как C/C++ или Java.

MATLAB широко используется в таких областях, как:

- обработка сигналов и связь,
- обработка изображений и видео,
- системы управления,
- автоматизация тестирования и измерений,
- финансовый инжиниринг,
- вычислительная биология и т.п.

MATLAB по сравнению с традиционными языками программирования (C/C++, Java, Pascal, FORTRAN) позволяет на порядок сократить время решения типовых задач и значительно упрощает разработку новых алгоритмов.

Ядро MATLAB позволяет максимально просто работать с матрицами реальных, комплексных и аналитических типов данных и со структурами данных и таблицами поиска.

MATLAB содержит встроенные функции линейной алгебры (LAPACK,

BLAS), быстрого преобразования Фурье (FFTW), функции для работы с полиномами, функции базовой статистики и численного решения дифференциальных уравнений; расширенные математические библиотеки для Intel MKL.

MATLAB предоставляет множество методов для анализа данных, разработки алгоритмов и создания моделей. Язык MATLAB включает в себя математические функции для инженерных и научных операций. Встроенные математические функции используют процессор-оптимизированные библиотеки, предназначенные для ускорения векторных и матричных вычислений.

Доступны следующие операции:

- Интерполяция и регрессия
- Дифференцирование и интегрирование
- Системы линейных уравнений
- Фурье анализ
- Собственные значения и сингулярные числа матриц
- Обыкновенные дифференциальные уравнения
- Разреженные матрицы

Расширения MATLAB предоставляют специализированный функционал в таких областях как статистика, оптимизация, обработка сигналов, машинное обучение.

Анализ и визуализация данных

MATLAB предоставляет инструменты для получения, анализа и визуализации данных, позволяющие исследовать проблему быстрее, чем это возможно с помощью электронных таблиц или традиционных языков программирования.

MATLAB позволяет вам получать доступ к данным из файлов, других приложений, баз данных, внешних устройств. Вы можете читать данные из файлов таких популярных форматов как Microsoft Excel, текстовых или двоичных файлов, изображений, аудио и видео файлов, научных форматов

(netCDF и HDF). Функции ввода-вывода позволяют работать с файлами данных любых форматов.

Используя расширения MATLAB можно получать данные с различных устройств, таких как последовательный порт компьютера или звуковая карта, а также потоковые данные в реальном времени с измерительных устройств непосредственно в MATLAB для анализа и визуализации. Помимо того, вы можете управлять такими приборами, как осциллографы, анализаторы сигналов и генераторы колебаний специальной формы.

MATLAB позволяет управлять, фильтровать и осуществлять предварительную обработку данных. Вы можете исследовать данные для нахождения трендов, проверки гипотез, построения описательных моделей. В MATLAB включены функции для фильтрации, сглаживания, свёртки и быстрого преобразования Фурье (FFT). Продукты-расширения включают возможности подбора кривых и поверхностей, многомерной статистики, спектрального анализа, анализа изображений, идентификации систем и другие инструменты анализа.

MATLAB предоставляет набор встроенных функций построения 2D и 3D графиков, а также функции объёмной визуализации. Вы можете использовать эти функции для визуализации и как средство представления обрабатываемой информации. Графики могут быть созданы как интерактивно, так и программно.

Язык MATLAB изначально обладает поддержкой векторных и матричных операций, которая необходима для решения инженерных и научных задач, и предназначена для быстрой разработки и запуска.

С помощью языка MATLAB можно писать программы и алгоритмы быстрее, чем на традиционных языках программирования, потому что нет необходимости таких низкоуровневых организационных операций как объявление переменных, определение типов и выделение памяти. Во многих случаях переход на векторные и матричные операции избавляет от необходимости использования циклов for. В результате одна строка

MATLAB кода часто может заменить несколько строк C/C++ кода.

MATLAB обладает свойствами традиционных языков программирования, включая управление потоками данных, обработку ошибок и объектно-ориентированное программирование (ООП). Можно использовать основные типы данных, сложные структуры данных или определять пользовательские типы.

Расширения MATLAB имеют встроенные алгоритмы для обработки сигналов и связи, обработки изображений и видеоданных, систем управления и многих других областей.

1.3 Система SimInTech

SimInTech (Simulation In Technic) – среда разработки математических моделей, алгоритмов управления, интерфейсов управления и автоматической генерации кода для контроллеров управления и графических дисплеев. SimInTech предназначен для детального исследования и анализа нестационарных процессов в различных объектах управления. Разработка математических моделей и алгоритмов управления в SimInTech происходит в виде структурного проектирования логико-динамических систем, описываемых во входо-выходных отношениях, в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений и/или дифференциально-алгебраических уравнений.

1.4 Понятие моделирования.

Математическая модель описывается (представляется) математическими структурами, математическим аппаратом (числа, буквы, геометрические образы, отношения, алгебраические структуры и т.д.).

У математических моделей есть и дидактические аспекты - развитие модельного и математического стиля мышления, позволяющего вникать в структуру и внутреннюю логику моделируемой системы.

Отметим основные операции (процедуры) математического моделирования.

1. Линеаризация. Пусть дана математическая модель M=M(X, Y, A),

где X - множество входов, Y - множество выходов, A - множество состояний системы. Схематически можно это изобразить так: XAY. Если X, Y, A - линейные пространства (множества), а : XA, : AY - линейные операторы (т.е. любые линейные комбинации ax+by аргументов и преобразуют в соответствующие линейные комбинации a(x)+bi;(y) и a(x)+b(y)), то система (модель) называется линейной. Все другие системы (модели) - нелинейные. Они труднее поддаются исследованию, хотя и более актуальны. Нелинейные модели менее изучены, поэтому их часто линеаризуют - сводят к линейным моделям каким-то образом, какой-то корректной линеаризующей процедурой.

2. Идентификация. Пусть M=M(X, Y, A), A={ai}, ai=(ai1, ai2, ..., aik) - вектор состояния объекта (системы). Если вектор ai зависит от некоторых неизвестных параметров, то задача идентификации (модели, параметров модели) состоит в определении по некоторым дополнительным условиям, например, экспериментальным данным, характеризующим состояние, системы в некоторых случаях. Идентификация - задача построения по результатам наблюдений математических моделей некоторого типа, адекватно описывающих поведение системы. Если S={s1, s2, ..., sn} - некоторая последовательность сообщений, получаемых от источника информации о системе, M={m1, m2, ..., mz} - последовательность моделей, описывающих S, среди которых, возможно, содержится оптимальная (в каком-то смысле) модель, то идентификация модели M означает, что последовательность S позволяет различать (по рассматриваемому критерию адекватности) две разные модели в M. Последовательность сообщений (данных) S назовем информативной, если она позволяет различать разные модели в M. Цель идентификации - построение надежной, адекватной, эффективно функционирующей гибкой модели на основе минимального объема информативной последовательности сообщений. Наиболее часто используемые методы идентификации систем (параметров систем): метод наименьших квадратов, метод максимального правдоподобия, метод

байесовских оценок, метод марковских цепных оценок, метод эвристик, экспертное оценивание и другие.

3. Оценка адекватности (точности) модели.

4. Оценка чувствительности модели (чувствительности к изменениям входных параметров).

5. Вычислительный эксперимент по модели. Это эксперимент, осуществляемый с помощью модели на ЭВМ с целью распределения, прогноза тех или иных состояний системы, реакции на те или иные входные сигналы. Прибором эксперимента здесь является компьютер (и модель!). Это процедура часто отождествляется с компьютерным моделированием.

Отметим основные причины, несколько тормозящие выход математического моделирования на новые информационные технологии:

традиционное описание модели системами математических уравнений, соотношений; в то же время, большинство плохо структурированных и плохо формализуемых систем описываются с помощью экспертных данных, эвристических и имитационных процедур, интегрированных пакетов программ, графических образов и т.д.;

Существующие средства описания и представление моделей на ЭВМ не учитывают специфику моделирования, нет единого представления моделей, генерации новых моделей по банку моделей;

недооценка возможностей компьютера, который может делать больше, чем простая реализация алгоритма, как правило, структурируемого и/или реализуемого хорошо, отсутствие доступа к опыту моделирования на ЭВМ.

В базовой пятерке: "система (исследуемая среда) - модель (описание среды) - алгоритм (программа) - компьютер (компьютерная технология) - пользователь (выработка решения)" при компьютерном моделировании главную роль играют уже алгоритм (программа), компьютер и технология, точнее, инструментальные системы для компьютера, компьютерные технологии.

Модель не эквивалентна программе, а моделирование не сводится к

программированию.

Специфические операции математического моделирования, например, идентификация, линеаризация не сводятся в ЭВМ к преобразованию в ней программ. Расширяется и область применения компьютера и компьютерных моделей.

Основные функции компьютера при моделировании систем:

– исполнение роли вспомогательного средства для решения задач, доступных и для обычных вычислительных средств, алгоритмам, технологиям;

– исполнение роли средства постановки и решения новых задач, не решаемых традиционными средствами, алгоритмами, технологиями;

– исполнение роли средства конструирования компьютерных обучающих и моделирующих сред типа: "обучаемый - компьютер - обучающий", "обучающий - компьютер - обучаемый", "обучающий - компьютер - группа обучаемых", "группа обучаемых - компьютер - обучающий", "компьютер - обучаемый - компьютер";

– исполнение роли средства моделирования для получения новых знаний;

– исполнение роли "обучения" новых моделей (самообучение модели).

Компьютерное моделирование - основа представления знаний в ЭВМ (построения различных баз знаний). Компьютерное моделирование для рождения новой информации использует любую информацию, которую можно актуализировать с помощью ЭВМ. Прогресс моделирования связан с разработкой систем компьютерного моделирования, которые поддерживает весь жизненный цикл модели, а прогресс в информационной технологии - с актуализацией опыта моделирования на компьютере, с созданием банков моделей, методов и программных систем, позволяющих собирать новые модели из моделей банка. Автономные подмодели модели обмениваются информацией друг с другом через единую информационную шину - банк

моделей, через базу знаний по компьютерному моделированию. Особенность компьютерных систем моделирования - их высокая интеграция и интерактивность. Часто эти компьютерные среды функционируют в режиме реального времени.

Вычислительный эксперимент - разновидность компьютерного моделирования.

Можно говорить сейчас и о специальных пакетах прикладных программ, текстовых, графических и табличных процессоров, визуальных и когнитивных средах (особенно, работающих в режиме реального времени), позволяющих осуществлять компьютерное моделирование.

Компьютерное моделирование и вычислительный эксперимент становятся новым инструментом, методом научного познания, новой технологией из-за возрастающей необходимости перехода от исследования линейных математических моделей систем (для которых достаточно хорошо известны или разработаны методы исследования, теория) к исследованию сложных и нелинейных математических моделей систем (анализ которых гораздо сложнее); грубо, но образно, говоря: "наши знания об окружающем мире - линейны и детерминированы, а процессы в окружающем мире - нелинейны и стохастичны".

1.5 Сквозные технологии.

К сквозным российское правительство отнесло: квантовые технологии, нейротехнологии и искусственный интеллект, технологии беспроводной связи, блокчейн, компоненты робототехники и сенсорики, новые производственные технологии, виртуальную и дополненную реальность.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛА.

1.1 Понятие «Цифровой двойник».

Цифровой двойник (или «цифровой близнец», если буквально переводить английское словосочетание digital twin) — это виртуальный аналог реального объекта, компьютерная модель, которая в своих ключевых характеристиках дублирует его и способна воспроизводить его состояния при разных условиях.

Использование цифровых технологий позволяет существенно сократить время, затрачиваемое на подготовку производства при создании новой техники, проведение испытаний, дает значительный выигрыш при дальнейшей модернизации ЛА. На этапе проектирования цифровая копия позволяет быстро находить и исправлять ошибки в геометрии деталей, а в ходе эксплуатации виртуальная графическая среда помогает оперативно выявлять риски потенциальных неисправностей и аварий, а также сокращать затраты на обслуживание.

1.2 **Математическое моделирование как теоретическая основа разработки и исследования систем управления ЛА**

Моделирование систем управления летательными аппаратами в настоящее время является обязательным этапом проектирования, разработки и испытаний. Это обусловлено следующим. Во-первых, в силу исключительной сложности СУ их аналитический расчет возможен только в очень ограниченных пределах, и моделирование является единственным средством анализа и синтеза. Во-вторых, оно позволяет проводить и оценить

результаты, получаемые в реальных условиях, путем многократной проверки на модели с включением реальной аппаратуры.

Моделирование заключается в замене исходных систем или явлений (оригиналов) другими системами или явлениями, называемыми моделями, которые в той или иной мере воспроизводят свойства оригинала.

Математическое моделирование – это знаковое моделирование, при котором описание объекта осуществляется на языке математики, а исследования модели проводятся с использованием тех или иных математических методов.

В настоящее время это один из самых результативных и наиболее часто применяемых методов научного познания.

Преимуществами математического моделирования по сравнению с другими видами моделирования являются:

- экономичность, сбережение ресурсов реальной системы;
- возможность моделирования гипотетических, т.е. не реализованных в природе объектов и систем;
- возможность реализации режимов, опасных или трудновоспроизводимых в реальности;
- возможность изменения масштаба времени;
- универсальность технического и программного обеспечения, наличие пакетов прикладных программ для проведения широкого круга работ;
- возможности прогнозирования и выявления общих закономерностей;
- возможности сравнительно простого многофакторного анализа.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

ПРОБЛЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ, ПРИСУЩИЕ ПРОЦЕССУ РАЗРАБОТКИ БЛА.

В настоящее время в мире в качестве перспективных систем военного и гражданского применения все более широкое внимание привлекают беспилотные авиационные системы (БАС) благодаря разнообразию тактико-технических характеристик и возможностям разных целевых нагрузок.

БАС (или БАК) – человеко-машинная система, включает БЛА (как системообразующий элемент), технические средства их старта и посадки, системы управления движением и выполнения полетного задания, систему технического обслуживания, а также персонал (в том числе - оператор управления авиационной платформой, оператор управления целевой нагрузкой).

По функциональному назначению беспилотные авиационные системы можно подразделить на следующие типы: информационные, имитационные, боевые, исследовательские, грузотранспортные, многоцелевые.

Историки науки и техники отмечают, что проекты и конструкции первых беспилотных самолетов появились в начале XX века (1910-1916гг.) в США, Великобритании, России, Италии. Отметим, это было время стремительного развития авиастроения – за годы первой мировой войны противостоящие стороны произвели 182 тысячи самолетов (сбив в 100 тысячах воздушных боев 9000 летательных аппаратов). Позже большими достижениями в области управляемой техники отмечены работы специалистов Германии, в 1970-1990гг и последующие годы значительный вклад в развитие беспилотной авиации внесли израильские военные специалисты, ученые и конструктора. В настоящее время признанные лидеры в этом направлении – США и Израиль, активно работают Китай и Россия.

В разных странах создается большое количество БЛА разной архитектуры, размерности и назначения. Активно осваиваются и изучаются

сферы и эффективность применения.

В настоящее время управляемые боеприпасы и БЛА имеют совпадающие области технических решений и применения, поскольку одним из направлений развития УБП, как средства поражения, является введение функций разведки (доразведывания) целей и возможности перенацеливания, а у БЛА военного назначения имеется большой класс ударных и разведывательно-ударных систем (в том числе и одноразовых – БЛА-камикадзе), относящих их к ВТО нового типа.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

ПРОБЛЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ, ПРИСУЩИЕ ПРОЦЕССУ РАЗРАБОТКИ ПРИВОДНОЙ ТЕХНИКИ.

На данный момент разработаны горячегазовые, пневматические, электрические и воздушно-динамические приводы ЛА. Основным их отличием является использование различных источников рабочего тела, которые в свою очередь обуславливают массогабаритные характеристики РП при сопоставимых требованиях по времени работы.

Рулевые приводы как неотъемлемая часть управляемых ракет претерпели поэтапное изменение. В КБП создавались и были реализованы приводы с баллонным пневматическим источником питания, с пороховым аккумулятором давления и электромагнитные. Академиком РАН, д. т. н. Шипуновым А. Г. и д. т. н. Шорниковым Е. Е. в процессе проводимых под их руководством разработок и при участии школы заслуженного деятеля РСФСР д. т. н. Подчуфарова Б. М. (ТПИ) были заложены теоретические основы по созданию электромагнитных и горячегазовых рулевых приводов для новейших образцов вооружения.

Однако данные системы при всем их многообразии остаются устройствами точной механики, а их мощностные и массово-габаритные характеристики, также как и время их работы, жестко связаны с габаритами и мощностью соответствующих источников питания.

В 70-х годах двадцатого века при решении задач обеспечения минимизации массогабаритных характеристик, технологичности и надежности разрабатываемых рулевых приводов для ракет комплексов ВТО в КБП впервые в мировой практике под руководством академика РАН, д. т. н. Шипунова А. Г. был создан принципиально новый тип привода – воздушно-динамический (ВДРП), использующий энергию набегающего на ракету потока воздуха.

ВДРП – это привод, в котором для управления ракетой используется

кинетическая энергия ее движения. Он не имеет специального бортового источника питания. Данное обстоятельство позволило:

– резко снизить требования к точности выполнения наиболее трудоемких элементов в приводах традиционного исполнения;

– разработать и применить приводы с пневмодвигателем без уплотнительных устройств, что снимает требование к чистоте и точности их обработки;

– минимизировать массогабаритные характеристики рулевых приводов;

– повысить стабильность динамических характеристик и надежность рулевых приводов.

Общее снижение требований к точности выполнения элементов позволило в конструкциях ВДРП широко использовать пластмассы, а в качестве основных методов обработки – прессование, литье и штамповку.

Разработана и практически реализована для ракет комплексов ВТО серия патентнозащищенных воздушно-динамических приводов, обеспечивших высокую технологичность и надежность, а также стабильность динамических характеристик ВДРП при функционировании в составе ракет с дозвуковыми, трансзвуковыми, сверх- и гиперзвуковыми скоростями полета.

Теоретические работы академика РАН, д. т. н. Шипунова А. Г., д. т. н. Шорникова Е. Е., к. т. н. Никанорова Б. А., к. т. н. Фимушкина В. С., Гриценко В. В. легли в основу построения в КБП теории анализа и синтеза ВДРП, базирующейся на обоснованной декомпозиции процессов силового взаимодействия ВДРП с набегающим на ракету потоком воздуха и включающей:

– ряд моделей, адаптированных к типовым реализациям ВДРП, и различающихся по степени идеализации процессов в зависимости от решаемых задач на различных этапах разработки;

– метод системного использования математических моделей при

разработке ВДРП, исключающий экспериментальные исследования по идентификации моделей и обеспечивающий высокую достоверность проектных работ;

– метод схемного конструирования и экспериментальной отработки ВДРП, охватывающий специфические особенности его реализации и эксплуатации.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

ОСНОВЫ КОНСТРУКЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. КАБИНЕТ КОНСТРУКЦИИ КАФЕДРЫ САУ.

Понятие высокоточное оружие охватывает системы разного типа и назначения, с разными тактико-техническими характеристиками, которыми обуславливаются конструктивные особенности ЛА.

ВТО классифицируется по разным признакам и характеристикам: по дальности, принципу полёта, положению места старта и цели, по назначению, способу транспортирования, скорости полёта и др.

1. По дальности и характеру решаемых задач ВТО подразделяют на стратегическое, оперативно-тактическое и тактическое (принимается, что тактическая зона действия – до 100 км, ближняя тактическая зона действия - до 20 км).

К управляемым средствам поражения ближней тактической зоны Сухопутных войск относят, в частности, управляемые ракеты, управляемые (корректируемые) артиллерийские снаряды, мины и авиационные бомбы (свободно падающие и управляемые).

Такой список средств поражения называют по-разному: «ракеты с малым полётным временем», «малогабаритные ракеты», «беспилотные управляемые летательные аппараты», «управляемые средства поражения», «малогабаритные управляемые боеприпасы (МГУБП)». Определение – МГУБП – достаточно корректно, так как охватывает весь перечень объектов, далее используем именно его. МГУБП являются, естественно, беспилотными управляемыми ЛА однократного действия, с боевой частью, интегрированной в его конструкцию. МГУБП занимают место рядом с невозвращаемыми ударными и разведывательно-ударными беспилотными управляемыми летательными аппаратами (БПЛА, БЛА).

2. Основная классификация ЛА строится по принципу полёта, т.е. по ответу на вопрос - каким образом и за счёт чего создаётся сила, действующая

на ЛА в полёте, преодолевающая силу тяжести (подъёмная сила).

В настоящее время техническое значение имеют следующие принципы полёта.

- Аэродинамический - для ЛА, траектория полёта которых проходит в атмосфере. В этом случае подъёмная сила возникает при взаимодействии со средой движущегося тела (крыло – неподвижное и подвижное; рули; винт; корпус). Техническая реализация – самолёт, вертолёт, орнитоптер, крылатая ракета.

- Ракетодинамический - подъёмная сила определяется реактивной силой, возникающей в результате отбрасывания части массы летящего тела. Техническая реализация – ракеты разных типов и классов.

- Баллистический - подъемная сила определяется силой инерции тела, двигающегося за счёт начального запаса скорости или высоты, поэтому баллистический полёт называют также пассивным. Техническая реализация – баллистические ракеты на пассивном участке траектории (после выключения двигателя), артиллерийские снаряды и минометные мины, авиабомбы.

- Аэростатический - подъёмная сила определяется архимедовой силой, равной силе тяжести вытесненного телом воздуха. Техническая реализация – воздушные шары, аэростаты, дирижабли.

Имеется большой класс ЛА, сочетающих разные принципы полёта.

Например: европейские инженеры-конструкторы в рамках проекта ESTOLAS (Extremely Short Take Off and Landing on Any Surface) ведут концептуальные исследования в области создания гибридного ЛА, который будет осуществлять взлет и посадку на любую поверхность. Силовая установка включает два турбовентиляторных двигателя, размещенных в хвостовой части и оснащенных толкающими винтами, и один подъемный вентилятор, расположенный в специальном отсеке внутри дискообразного центроплана, кроме этого в отсеках центроплана будет помещаться гелий для создания дополнительной подъемной силы. Прорабатываются четыре версии ЛА с грузоподъемностью от 1…2 до 200…400 т.

Надо отметить также, что ЛА могут двигаться в одной среде или двух и трёх средах (вода, воздух, космос).

3. По назначению (поражаемой цели) УБП подразделяют на многоцелевые УР и УР целевого или специального назначения, что может отражаться в названии, например: противотанковые управляемые ракеты – ПТУР; зенитные управляемые ракеты – ЗУР (противосамолетные и противоракетные); противорадиолокационные и др.

4. По положению места старта и цели, укрупнено, управляемые боеприпасы делят на классы: «поверхность-поверхность», «поверхность-воздух», «воздух-поверхность», «воздух-воздух». Под «поверхностью» подразумевается «земля» и «море» (корабль, подлодка), под «воздухом» - «атмосфера» и «космос».

5. По способу транспортирования комплексы управляемого вооружения подразделяются на мобильные (наземного, воздушного и морского базирования), возимо-выносные, переносные, стационарные (шельтерный вариант). Есть варианты мультиплатформенные.

6. По скорости полёта ЛА делятся на дозвуковые, сверхзвуковые и гиперзвуковые.

Деление ЛА по скорости полёта на дозвуковые, сверхзвуковые и гиперзвуковые имеет четкие физические основания. Дозвуковые ЛА имеют скорость полёта — V не превышающую скорость звука в воздушной среде — а ($a \approx 1230$км/час) или $V/a \leq 1$ (отношение V/a называют числом Маха, М). Сверхзвуковые ЛА имеют относительную скорость (1...5)М, гиперзвуковые — более 5М. На гиперзвуке иная картина обтекания, соответственно требуются другие материалы, схемы крыла, носовой части, мощная многорежимная двигательная установка, бортовая аппаратура управления, обеспечивающая продолжительный устойчивый полет в атмосфере. Считается, что гиперзвуковое оружие существенно повысит эффективность боевой техники за счёт возрастания быстродействия, обеспечения неуязвимости современными средствами перехвата, расширения диапазона

применения по дальности и высоте, а также увеличения кинетической энергии поражающих элементов. Гиперзвуковые управляемые ракеты (ГЗУР) могут войти в систему стратегического оружия. Президент РФ В.В. Путин в послании Федеральному собранию в марте 2018 г. представил ряд образцов гиперзвукового оружия.

7. По способам управления движением различают: пилотируемые ЛА; опционально-пилотируемые (в ЛА возможна реализация пилотируемого и беспилотного режимов); системы телеуправления; системы телеориентирования; системы самонаведения; автономные системы; комбинированные системы управления.

В общем случае управляемые боеприпасы могут двигаться по разным траекториям в зависимости от движущих сил (тяга, импульс от вышибной двигательной установки, метательного заряда), аэродинамических сил, управляющих сил, сил сопротивления, силы тяжести, возмущающих факторов, начальных условий (угловое положение и координаты ЛА на старте, скорость в момент отделения от пускового устройства).

В кабинете конструкции кафедры САУ представлены реализованные технические решения (способы управления, исполнительные органы систем управления, боевые части, двигательные установки, системы запуска) ЛА различных типов. Этапы создания образца не заканчиваются техническим описанием и инструкцией по эксплуатации – идеи продолжают жить в новых разработках, в работах историков науки и техники, в воспоминаниях разработчиков. История идей, неформализуемый опыт, методология и философия инженерного труда, творческие биографии разработчиков – интересный и нужный (но, к сожалению, редкий) материал, способствующий формированию инженерной культуры и преемственности поколений.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7

СТЕНДОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ЛАБОРАТОРНО-СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТЕНДЫ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫЕ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА КАФЕДРЕ.

1.1. Стендовое моделирование.

Лабораторный стенд - это комплекс оборудования, предназначающийся для изучения экспериментальным путем физических явлений и технических параметров объектов.

С помощью лабораторных стендов осуществляется материальное моделирование, при котором исследование объекта выполняется с использованием его материального аналога, воспроизводящего основные физические, геометрические, динамические и функциональные характеристики исследуемого объекта.

Основными разновидностями материального моделирования являются натурное и аналоговое

1.2. Лабораторно-стендовые испытания производятся в лаборатории на специальных приборах и оборудовании, имитирующих условия работы ЛА. Испытания проводятся по стандартным методикам и позволяют гораздо быстрее и экономичнее, чем при эксплуатационных испытаниях, оценить реальные характеристике ЛА.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8

ИТОГОВОЕ ЗАНЯТИЕ

На итоговом занятии производится заслушивание докладов студентов и обсуждение материала курса в вопросно-ответной форме.

Литература

1. Методы классической и современной теории автоматического управления : учебник для вузов : в 5 т.. Т. 5. Методы современной теории автоматического управления / К. А. Пупков [и др.] ; под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. 2-е изд., перераб. и доп. М. : МГТУ им.Баумана, 2004. 784 с. : ил. (Методы теории автоматического управления/под общ.ред.К.А.Пупкова) . ISBN 5-7038-2190-8 (Т. 5) ((в пер.)) . ISBN 5-7038-2194-0. [*12 экземпляров ТулГУ*]
2. Макаров Н.Н., Феофилов С.В. Анализ и синтез систем автоматического управления с использованием системы MATLAB: учеб. пособие / Н. Н. Макаров, С. В. Феофилов; ТулГУ .— Тула: Изд-во ТулГУ, 2010 .— 68 с.: ил. — Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-5-7679-1805-8
3. Макаров Н.Н. Математический пакет MATHCAD и его применение в задачах анализа и синтеза систем автоматического управления: учеб. пособие / Н.Н. Макаров. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2020. –189 с. (10 экз.)
4. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы : учебное пособие для вузов / И.В. Мирошник .— М.и др. : Питер, 2006 .— 272с. (23 экз.)
5. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. экспертно-аналитический доклад. Подготовлено Инфраструктурным центром «Технет» НТИ. Интернет-ресурс. URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2019/12_december/28/cifrovoy_dvoinik.pdf
6. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции.