

Направления подготовки:	Авионика Аэронавигация Системная инженерия
Дисциплина:	Бортовые системы управления
Курс, семестр, уч. год:	3, весенний, 2011/2012
Кафедра:	301 – СУЛА
Руководитель обучения:	ассистент Копысов Олег Эдуардович

ЛЕКЦИЯ № 1

ТЕМА: ВВЕДЕНИЕ. СТРУКТУРА И СОСТАВ АВИОНИКИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Наименование дисциплины: БОРТОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.

Виды учебных занятий: лекции – 54 ч., лабораторные – 36 ч., расчётно-графическая работа, ведение тезауруса, зачет.

Рекомендуемая литература

1. Конспект лекций по дисциплине «Основы моделирования СУ».
2. Конспект лекций по дисциплине «Теория автоматического управления».
3. Распопов В.Я. Микросистемная авионика: учебное пособие. – Тула: «Гриф и К», 2010 – 248 с.
4. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под ред. М. Н. Красильщикова и Г. Г. Себрякова. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 280 с.
5. Боднер, В. А. Системы управления летательными аппаратами [Текст] / В.А. Боднер. – М.: Машиностроение, 1973. – 506 с.
6. Гордин, А. Г. Беспилотные летательные аппараты как объекты управления [Текст] / А.Г. Гордин. – Харьков: Гос. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2000. – 140 с.
7. Ориентация и навигация подвижных объектов / Под ред. Б.С. Алешина, К. К. Веремеенко, А. И. Черноморского. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 424 с.
8. Ануфриев, И.Е. МАТЛАВ 7 [Текст] / И.Е. Ануфриев, А.Б. Смирнов, Е.Н. Смирнова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.

Лекция № 1. Введение. Структура и состав авионики летательного аппарата.

9. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. Пер. с англ., Москва, Лаборатория Базовых Знаний, 2002.
10. Словарь терминов по системам управления летательных аппаратов (СУЛА) / Кулик А.С., Гордин А.Г., Кортуннов В.И., Симонов В.Ф., Соколов Ю.Н. – Х.: Гос. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2000.
11. Ю. В. Байбородин и др. Бортовые системы управления полетом. – М.: «Транспорт», 1975, 336 с.
12. George M. Siouris. Aerospace Avionics Systems: A Modern Synthesis. – Academic Press, Inc., 1993, 466 p.
13. Len Buckwalter. Avionics Training: Systems, Installation and Troubleshooting. – Avionics Communication Inc., 278 p.

Темы, включенные в курс

1. Структура и состав авионики летательного аппарата (авионика летательного аппарата; структура и состав авионики летательного аппарата).
 2. Летательный аппарат как объект управления (самолет как объект управления; системы координат; способы задания взаимного положения систем координат; использование матриц направляющих косинусов; использование кватернионов).
 3. Уравнения движения летательного аппарата как твердого тела. Продольное и боковое движение (продольное движение; обобщенная математическая модель; линеаризованные уравнения продольного движения ЛА; боковое движение; аэродинамические силы и моменты, действующие на ЛА).
 4. Боковое движение. Передаточные функции летательного аппарата (боковое движение; уравнение движения крена; уравнения движения рыскания; передаточные функции летательного аппарата; перекрестное взаимодействие продольного и бокового движения).
 5. Классификация измерительных устройств и их типовые структуры (классификация измерительных устройств; типовые структуры измерительных устройств).
- Лекция № 1. Введение. Структура и состав авионики летательного аппарата.

устройств; условия эксплуатации ИУ).

6. Статические характеристики измерительных устройств. Погрешности и их классификация (статические характеристики измерительных устройств; погрешности ИУ и их классификация).

7. Структура ПНК (общие сведения о ПНК; тактико-технические требования, предъявляемые к ПНК; точностные требования к ПНК; общая структура ПНК).

8. Акселерометры линейных ускорений (устройство, принцип действия и характеристики акселерометра линейных ускорений; измерительные цепи и передаточные функции акселерометров).

9. Элементы теории гироскопических устройств (понятие о гироскопе; кинетический момент гироскопа; кориолисово или поворотное ускорение; гироскопический момент; теорема Резаля; закон прецессии).

10. Гироскопические датчики угловой скорости (устройство и принцип действия датчика угловой скорости; получение уравнения динамики датчика угловых скоростей; погрешности датчика угловой скорости от перекрестной угловой скорости; волоконно-оптические гироскопы; лазерные гироскопы; вибрационные гироскопы; размещение датчиков угловых скоростей на летательных аппаратах).

11. Микромеханические гироскопы и акселерометры (общие сведения про микромеханические датчики; микромеханические гироскопы; микромеханические акселерометры; уравнения движения и передаточные функции микромеханических гироскопов).

12. Гироскопические вертикали (определение направления истинной вертикали на самолете; конструктивные особенности гировертикалей; устройство и принцип действия центральной гироскопической вертикали типа ЦГВ).

13. Курсовые приборы и системы (основные понятия и терминология

14. Магнитные компасы; гироскопические приборы измерения курса самолета).

15. Измерители высотных и скоростных параметров движения ЛА (аэрометрический метод измерения высотных и скоростных параметров летательных аппаратов; приемники полного и статического давления; барометрические высотомеры, датчики и корректоры высоты; основные характеристики высотомеров; манометрические указатели и датчики приборной и воздушной скорости; указатель числа Маха; вариометры).

16. Цифровая обработка сигналов (понятие цифровой обработки сигналов; цифровые фильтры обработки одномерных сигналов; нерекурсивные фильтры; рекурсивные фильтры; передаточные функции фильтров; устойчивость фильтров; структурные схемы цифровых фильтров).

17. Вейвлетное преобразование сигналов (основные понятия; истоки вейвлет-преобразования; преобразование Фурье; оконное преобразование Фурье; принцип вейвлет-преобразования; вейвлетный спектр).

18. Современные бортовые вычислительные системы (основные концептуальные особенности построения бортовых вычислительных систем; архитектура современных и перспективных бортовых вычислительных систем; средства передачи информации современных и перспективных бортовых вычислительных систем).

19. Автопилоты летательных аппаратов (принципы действия автопилота; принцип действия автопилота с жесткой обратной связью при устранении начального отклонения по крену; принципы действия автопилотов по каналу крена; принцип действия автопилота с жесткой обратной связью; принцип действия автопилота с изодромной обратной связью; законы управления каналом крена автопилотами с изодромной и скоростной обратной связью; принципы действия автопилотов по каналу тангажа; принцип действия автопилота с жесткой обратной связью; способы управления углом тангажа; стабилизация угла тангажа при действии возмущений; принципы действия автопилотов по каналу курса; стабилизация курса при управлении автопилотом рулем поворота; стабилизация курса при управлении автопилотом элеронами и рулем поворота; стабилизация угла крена при действии возмущений; принцип действия автопилота при управлении

высотой полета; принцип действия автопилота при управлении боковым движением центра масс ЛА).

20. Приводы рулевых поверхностей самолета (общие сведения; механические и электромеханические приводы рулевых поверхностей; гидравлические приводы; пневматические приводы; математическая модель и передаточная функция рулевого привода).

21. Идентификация объектов (определение передаточной функции по временным характеристикам объекта; определение передаточной функции объекта по частотным характеристикам; корреляционный метод идентификации; идентификация параметров объекта спектральным методом).

22. Инерциальные навигационные системы (физические принципы инерциальной навигации; обобщенные схемы ИНС на базе ГСП; классификация ИНС; характерные особенности и условия построения различного типа ИНС; инерциальная система аналитического типа; интегральная система связанного типа; инерциальная система полусвязанного типа; инерциальная система геометрического типа).

23. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы (принцип работы и основные унифицированные схемы БИНС; алгоритм определения параметров ориентации БИНС; алгоритм БИНС, работающий в инерциальной системе координат).

24. Спутниковые навигационные системы (принципы построения и особенности функционирования спутниковых навигационных систем (СНС) ГЛОНАСС и GPS; определение положения, скорости и ориентации ЛА на основе ГЛОНАСС / GPS-технологий).

25. Бортовые интегрированные системы управления (основные особенности бортовой интегрированной системы летательного аппарата; состав и основные функциональные схемы интегрированных систем навигации и наведения летательного аппарата; особенности реализации алгоритмов комплексирования информации БИНС и ГЛОНАСС/GPS-приемника в составе БИСУ).

Список лабораторных работ

1. Лабораторный исследовательский стенд на базе модели Т-10 самолета СУ-27 и его программное обеспечение.
2. Исследование измерителей параметров пространственного движения центра масс летательного аппарата.
3. Исследование измерителей параметров движения летательного аппарата вокруг центра масс.
4. Исследование измерителей углового положения корпуса летательного аппарата в пространстве.
5. Разработка и исследование цифровых фильтров сигналов бортовых датчиков летательного аппарата в масштабе реального времени и в постсеансовом режиме.
6. Исследование бортовых рулевых приводов БПЛА Т-10.
7. Разработка и экспериментальная проверка алгоритмов функционирования бортовой бесплатформенной инерциальной навигационной системы БПЛА Т-10.
8. Исследование комплексной (интегрированной) навигационной системы БПЛА Т-10.
9. Разработка и исследование различных законов бортового автопилота, обеспечивающих стабилизацию углового положения БПЛА Т-10.

Длительность каждой лабораторной работы: 4 часа.

Авионика летательного аппарата

Авионика (от авиация и электроника) – совокупность всех электронных систем, разработанных для использования в авиации. На базовом уровне это системы коммуникации, навигации, отображения и управления различными устройствами – от сложных до простейших.



Рисунок 1.1 – Лабораторный стенд на базе модели Т-10

Термин «авионика» появился в начале 1970, когда произошло появление интегральных микроэлектронных технологий и создание на их основе компактных бортовых высокопроизводительных компьютеров, а также принципиально новых автоматизированных систем контроля и управления.

Первоначально основным потребителем авиационной электроники были военные. Боевые самолеты превратились в летающие платформы для датчиков и электронных комплексов.

На современных самолетах и вертолетах установлено большое количество разнообразного оборудования и автоматических систем. Авионика составляет большую часть затрат при производстве летательного аппарата. Общая масса такого оборудования составляет около 30% от общей массы летательного аппарата, а его стоимость – более 50% стоимости, например, самолета.

В настоящее время электронные системы широко применяются и в гражданской авиации, например, системы управления полетом и пилотажно-навигационные комплексы.

Оборудование летательного аппарата представляет собой сложный

технический комплекс, позволяющий выполнять поставленные задачи при любых условиях. От надежной и правильной работы бортового оборудования зависит нормальное течение полета и в конечном счете – выполнение поставленной задачи.

На пилотируемых летательных аппаратах прежде всего должны быть созданы нормальные условия для жизни и работы экипажа. Различное бортовое оборудование может использоваться экипажем для управления летательным аппаратом, для выполнения народнохозяйственных и научно-исследовательских работ или для контроля за техническим состоянием всех бортовых приборов, систем и агрегатов.

В связи с ростом скоростей полета экипаж не успевают корректировать режим полета по показаниям приборов и эффективно использовать различную бортовую аппаратуру. Поэтому процессы управления полетом и работой большинства агрегатов автоматизируются.

Системы, обеспечивающие управление самолетам:

- ✓ системы связи;
- ✓ системы навигации;
- ✓ системы индикации;
- ✓ системы управления полетом (FCS);
- ✓ системы предупреждения столкновений;
- ✓ системы метеонаблюдения;
- ✓ системы управления самолетом;
- ✓ системы регистрации параметров полета.

Системы, обеспечивающие управление системами вооружения:

- ✓ радары;
- ✓ сонары;
- ✓ электронно-оптические системы;
- ✓ системы обнаружения целей;
- ✓ системы управления вооружением.

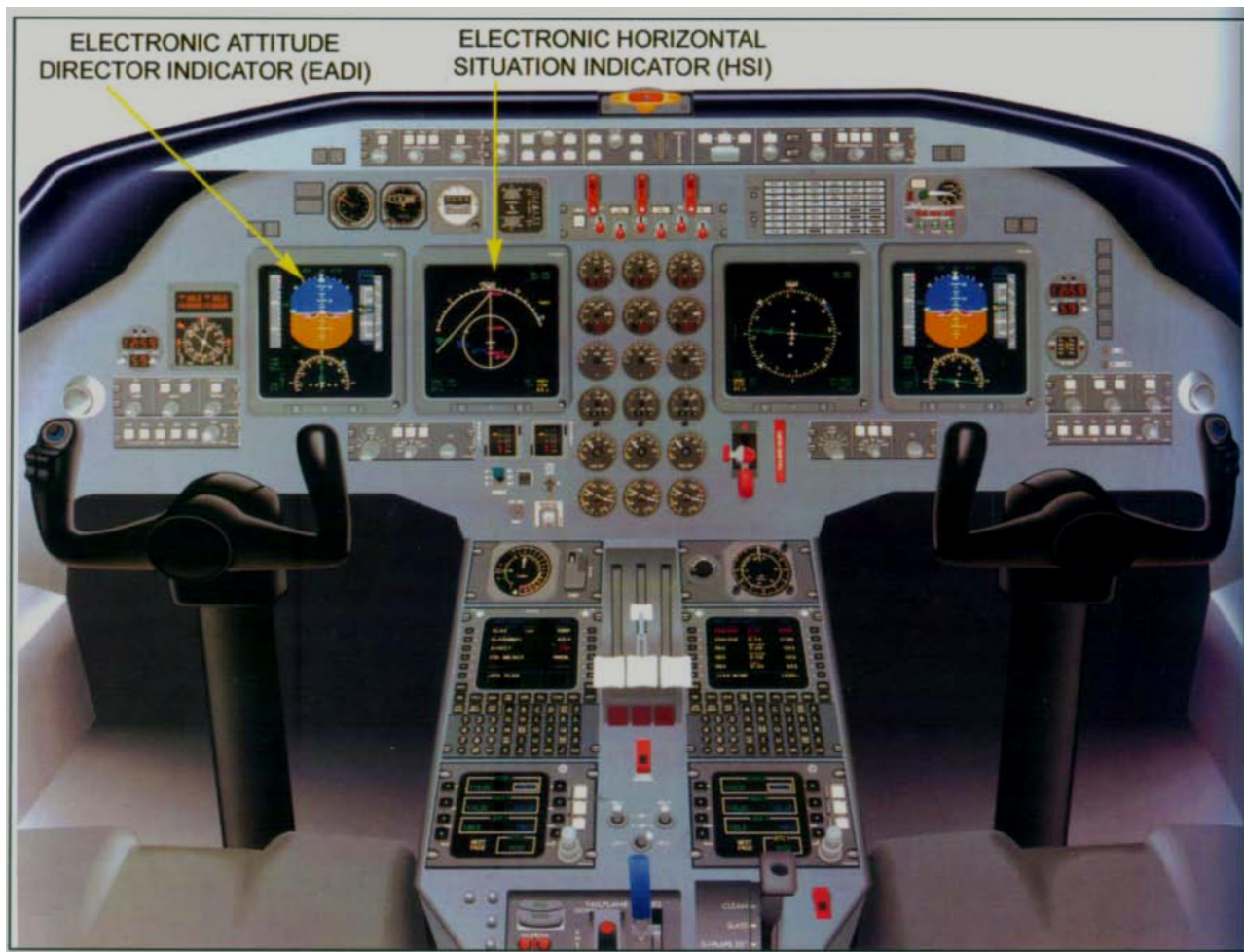
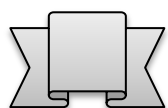


Рисунок 1.2 – Кабина пилота современного самолета



Самостоятельно изучить названия и назначение приборов, приведенных на рис. 1.2.

Структура и состав авионики летательного аппарата

Из всего многообразия бортового оборудования можно выделить следующие основные группы, каждая из которых характеризуется определенным функциональным назначением.

Электрическое оборудование обеспечивает генерирование электроэнергии и ее распределение между потребителями. В состав электрического оборудования входят источники и преобразователи электроэнергии; система электроснабжения; светотехническое оборудование; электропривод.

Радиосвязное оборудование обеспечивает двухстороннюю внешнюю и внутреннюю связь. Для двухсторонней внешней связи с самолетами, вертолетами и наземными станциями используются коротковолновые радиостанции. Их характерными особенностями являются: высокая стабильность связи, и дистанционное управление станциями. Внутрисамолетная связь между членами экипажа и передача информации пассажирам обеспечиваются самолетными переговорными и громкоговорящими устройствами. Широкое применение получили бортовые магнитофоны, речевые информаторы с логической «памятью».

Радионавигационное и радиолокационное оборудование позволяет совершать полеты при любых метеорологических условиях днем и ночью. Для целей навигации широкое применение получили азимутально-дальномерные системы ближней навигации, радиоконпасы, радиовысотомеры, доплеровские навигационные системы, аппаратура инструментальной посадки и т.д.

Удельный вес радиотехнических систем на летательных аппаратах постоянно растет. Так, например, на самолетах могут устанавливаться спутниковые навигационные системы, которые с высокой степенью точности позволяют определять координаты пространственного положения самолета. Поэтому важное значение имеет микроминиатюризация элементов аппаратуры, широкое применение полупроводниковых приборов, пленочных и твердых радиосхем.

Большую группу приборов, датчиков и систем объединяет так называемый *пилотажно-навигационный комплекс*. Основное назначение комплекса – это вывод самолета (вертолета) в назначенный пункт по заданной траектории и в строго установленное время. Для этих целей при помощи специальных измерителей осуществляется измерение всех параметров движения летательного аппарата: углы курса, тангажа, крена; высота полета; скорость полета и число Маха; угловые скорости и ускорения; угол сноса и т.д.

В полете пилотам и штурманам приходится непрерывно анализировать показания большого количества приборов и по ним делать сложные расчеты для управления самолетом. Такие расчеты должны выполняться за ограниченное время и в быстро изменяющихся условиях полета. Поэтому результаты расчетов

Лекция № 1. Введение. Структура и состав авионики летательного аппарата.

оказываются не всегда точными. В связи с этим большое значение приобретает автоматизация процессов навигации, замена контрольно-измерительных приборов *командными* (или так называемыми директорными) системами.

Внедрение *вычислительных машин* придает навигационному оборудованию новое качество. Вычислительные машины позволяют объединять разнообразные приборы в единый пилотажно-навигационный комплекс. Они становятся центральным звеном комплексной системы автоматического управления летательным аппаратом.

Бортовой вычислительный комплекс (БЦВМ) – центральное объединяющее звено ПНК.

Достоинства БЦВМ по сравнению с аналоговыми вычислителями:

- ✓ возможность решения не только математических, но и логических задач, что повышает степень автоматизации процессов управления ЛА;
- ✓ за счет увеличения разрядности может быть достигнута требуемая точность решения навигационных задач;
- ✓ возможность использования для решения навигационных задач современных методов оптимального управления;
- ✓ значительная гибкость, обусловленная перепрограммированием задач;
- ✓ возможность обеспечения глубокого контроля.

Для решения задач навигации и управления перед БЦВМ устанавливают такие требования:

- ✓ высокая точность вычислений;
- ✓ достаточное быстродействие;
- ✓ удобство обращения с БЦВМ;
- ✓ живучесть и ремонтпригодность;
- ✓ допустимые значения массы и габаритов.

Имеются ряд факторов, которые ограничивают применение БЦВМ для полной автоматизации процессов управления ЛА. К этим факторам относятся:

- ✓ имеются задачи, решение которых не поддается математическому описанию;

- ✓ некоторые характеристики отдельных систем управления намного хуже аналогичных характеристик экипажа, например, в способности летчика принять решение в условиях недостатка информации.

При проектировании бортовых цифровых вычислителей для ПНК могут быть использованы следующие структурные варианты:

- ✓ бортовые специализированные цифровые вычислители (БСЦВ);
- ✓ бортовые цифровые вычислительные машины (БЦВМ);
- ✓ бортовые цифровые вычислительные системы (БЦВС) или комплексы (БЦВК).

БСЦВ – в основном используются как вычислители отдельных систем ПНК, например, ИНС, СВС, САУ и т.д. Такие вычислители могут быть выполнены либо по принципу универсальных машин, либо по принципу цифровых дифференциальных анализаторов (ЦДА), структура которых, в общем, напоминает аналоговые вычислительные устройства и предназначены для выполнения определенных математических операций (\times , $/$, $+$, $-$) и т.д.

БЦВМ – предназначены для решения задач навигации, стабилизации, управления и решения специальных задач в соответствии с заложенными алгоритмами. При наличии нескольких БЦВМ на борту ЛА обмена информации между ними обычно не осуществляется.

БЦВС – применяется при проектировании интегрированных ПНК путем объединения БЦВМ в единую систему с целью расширения процессов автоматизации контроля и управления. БЦВС разделяются на два класса:

- ✓ многомашинные;
- ✓ мультипроцессорные.

При построении многомашинных БЦВС поскольку сохраняется структура и принцип функционирования каждой взятой в отдельности ВМ, то обмен информацией (СОИ) между ними осуществляется за счет дуплексных, триплексных и дуальных СОИ.

Дуплексные и триплексные ВС состоят соответственно с 2-х и 3-х БЦВМ, решающих одновременно одни и те же задачи. С целью повышения надежности применяют специальные тесты, а в триплексных – схемы мажоритирования.

В дуальных БЦВС набор задач, подлежащих решению, распределяется между двумя БЦВМ.

В мультипроцессорных БЦВС имеется несколько процессоров, работающих параллельно под управлением единого блока управления.

Основной характеристикой процессора является его быстродействие:

$$\theta = \left[N^{-1} \sum_{i=1}^N P_i T_i \right],$$

где P_i – частота выполнения операций i - го типа;

T_i – время выполнения i - ой операции;

N – общее число операций.

Команды, формируемые вычислителями систем автоматического управления, передаются на рули самолета (вертолета) с помощью сервоприводов или приводов штурвального оборудования.

Пилотажно-навигационный комплекс является одним из самых сложных комплексов. Для упрощения рассмотрения задач, которые решает пилотажно-навигационный комплекс, его условно разбивают на два: пилотажный и навигационный.

Одной из основных систем пилотажного комплекса является система отображения информации.

В процессе полета экипажу необходимо непрерывно получать информацию о параметрах полета, состоянии самолета, работе двигателей и агрегатов, о силах, воздействующих на самолет. Эта информация измеряется приборами и поступает на устройства отображения (индикаторы, табло, сигнальные устройства), которые установлены на приборных досках перед рабочими местами экипажа.

Большая часть требуемых параметров полета измеряется в различных точках самолета. Иногда места установки приборов удалены на десятки метров от

указателей, которые установлены в кабине экипажа. Поэтому большинство приборов делают дистанционными.

Указатели, которые располагаются на приборной доске, воспроизводят результаты измерений с помощью отсчетных приспособлений в виде шкалы, стрелки или индекса. В последнее время для отображения информации применяют электронно-лучевые трубки и TFT-дисплеи.

Приборные доски различных типов самолетов компонуются по-разному. Однако международная организация гражданской авиации утвердила в качестве обязательного для пассажирских самолетов стандартное расположение основных пилотажных приборов в виде буквы Т.

Центральное место на приборной доске, непосредственно перед летчиком, должен занимать основной пилотажный прибор. Такими приборами могут служить командно-пилотажный или авиагоризонт. Под ним размещается основной навигационный прибор, указывающий направление полета. В качестве такого прибора могут быть использованы курсовые приборы (компас, планово-навигационный прибор или другие).

Слева от основного пилотажного прибора обычно должны находиться приборы, отображающие приборную скорость полета, а справа – приборы вертикальной скорости подъема или спуска самолета. Под указателем вертикальной скорости размещают основной прибор, отображающий высоту полета.

При наличии на самолете двух летчиков перед каждым из них имеется основная группа приборов с тем же взаимным расположением.

Для защиты организма человека от воздействия атмосферы больших высот предназначено *высотное оборудование*. Наилучшим средством в этом случае является герметическая кабина. Оборудование такой кабины позволяет автоматически регулировать давление, влажность, температуру и химический состав воздушной среды. К высотному оборудованию относятся кислородные системы.

Защитное оборудование позволяет повысить регулярность выполнения полетов и их безопасность. С этой целью самолеты (вертолеты) оснащаются противообледенительным и противопожарным оборудованием.

Установленное на самолетах оборудование работает в условиях, значительно отличающихся от наземных. Так, температура окружающей среды может изменяться от -60°C до $+60^{\circ}\text{C}$, а вблизи источников тепла (двигатели, обшивка самолета при сверхзвуковых полетах и т.д.) она может достигать $+250^{\circ}\text{C}$ и выше. В значительных пределах изменяются также плотность и влажность воздушной среды.

В целях наглядности на рис. 1.3 приведен примерный состав оборудования пилотируемого летательного аппарата и функциональные связи между отдельными его функциональными системами.

Согласно рис. 1.3 остановимся только на тех системах, на которых мы еще не останавливались.

Система управления полетом 12 и автоматика 8 двигателей выполняют функции подготовки к пуску и запуску двигательных установок и управления движением летательного аппарата по заданной траектории.

Оценка сложности летательного аппарата и отдельных его систем необходима для принятия решения о дальнейшем их использовании или об изменении режимов работы для повышения безопасности экипажа и пассажиров. Эта задача возлагается на *аппаратуру контроля 6*.

Результаты контроля могут обрабатываться непосредственно экипажем 1, бортовым вычислительным устройством 9 или с помощью телеметрической аппаратуры передаваться на наземные пункты.

С помощью радиоприемных 4 и передающих 5 устройств осуществляется связь с наземными управляющими пунктами, связь с другими летательными аппаратами.

Экипаж управляет работой оборудования с пульта управления 7. Необходимая для этого информация выводится на пульт индикации 3.

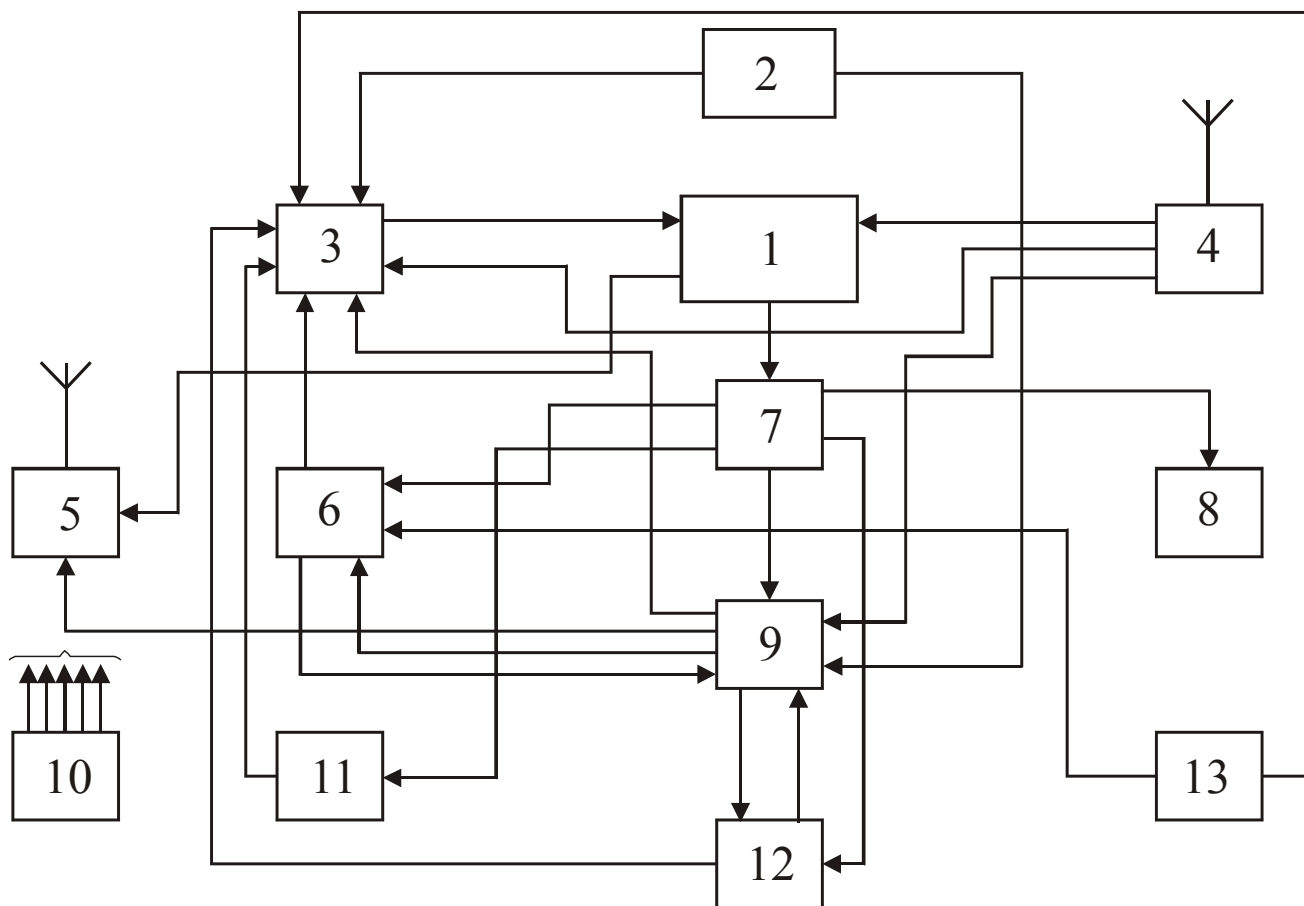


Рисунок 1.3 – Состав оборудования пилотируемого летательного аппарата

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1 – экипаж; | 2 – пилотажно-навигационный комплекс; |
| 3 – пульт индикации; | 4 – радиоприемное устройство; |
| 5 – радиопередающее устройство; | 6 – аппаратура контроля; |
| 7 – пульт управления; | 8 – автоматика двигателей; |
| 9 – бортовое вычислительное устройство; | 10 – источники электроснабжения; |
| 11 – система жизнеобеспечения; | 12 – система управления полетом; |
| 13 – защитное и вспомогательное оборудование. | |

Термины для занесения в тезаурус: авионика, электрическое оборудование, радиосвязное оборудование, радионавигационное и радиолокационное оборудование, пилотажно-навигационный комплекс, система отображения информации, приборная доска, высотное оборудование, защитное оборудование, система управления полетом, аппаратура контроля, функциональные системы, бортовая аппаратура, командные системы, система жизнеобеспечения.