

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 2005г. было издано учебное пособие «Введение в специальность, ч. I» для студентов первого курса дневного отделения всех специальностей [1].

Предшествующее издание «Введение в специальность 201300» в 1997г. [2] и в дополнение к нему – «Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Введение в специальность» для студентов I курса специальности 201300 дневного обучения» относится к 1998г.

За время между последним и предшествующим изданиями произошли изменения как в учебных планах и программах дисциплины, так и в количестве самих специальностей в МГТУ ГА. Так, по специальности 201300 были отменены лабораторные работы, было несколько увеличено количество часов на упражнения; кроме этого, была отменена «Ознакомительная практика», закреплявшая теоретический материал дисциплины «Введение в специальность». Кроме того, сама специальность 201300, ранее состоявшая из двух специализаций (наземной и бортовой), была преобразована в специальность 160905 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования», в которой обе прежние специализации объединены в одну.

В создавшейся ситуации было признано целесообразным разделить учебное пособие по дисциплине «Введение в специальность» на унифицированную часть первую для всех специальностей, и часть вторую, раздельную для разных специальностей. Это позволило в части первой более подробно изложить общие разделы, такие как «История и сегодняшний день Университета», «Система образования», «Правовые аспекты государственной политики в области образования», «Организация учебного процесса», «Научная деятельность студента», а в части второй изложить и, в частности для специальности 160905, собрать воедино предлагаемую информацию. При этом было очень желательно сохранить преемственность содержания и формы представления материала с тем, как это было в предшествующем издании пособия. В настоящей части второй почти везде изъяты наименования конкретных радиотехнических изделий (изделия могут меняться), но сохранено описание принципов их работы.

1. Гражданская авиация – роль в хозяйстве страны, организации, предприятия

В соответствии с Воздушным кодексом РФ (ст.20) авиация страны подразделяется на гражданскую, государственную (военная, спецназначения и др.) и экспериментальную.

Воздушные суда (ВС) ГА, эксплуатирующиеся с целью получения прибыли, относятся к авиации авиакомпаний. ВС ГА, эксплуатирующиеся не с целью получения прибыли (ведомственные, спортивные, частные и др.), относятся к авиации общего назначения (АОН).

1.1. Гражданская авиация в единой хозяйственной системе страны

Целевое назначение ГА – перевозка пассажиров и грузов. Важно определить ее место в единой транспортной системе (ЕТС) страны и ее взаимодействие с другими хозяйственными отраслями страны.

На долю воздушного транспорта (ВТ) приходится около 30% пассажирских перевозок между городами, а на дальних расстояниях – до 80% возрастают и грузовые перевозки. Особенно важна роль воздушных перевозок в районах Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока, где ГА, взаимодействуя с железнодорожным, автомобильным, речным и морским транспортом, является важным (а иногда и незаменимым) звеном ЕТС.

Самолеты и вертолеты ГА используются в геологии, сельском хозяйстве, при перевозке почты и матриц печатных изданий, при проведении аварийно-спасательных работ, на монтаже высотных конструкций, на строительстве нефтяных и газовых трубопроводов, в здравоохранении, разведке косяков рыбы, проводке судов в Арктике, на аэрофотосъемке, на охране лесов от пожаров, на установке опор линии электропередач, для обеспечения работы научных экспедиций, в работах по экологии и разведке природных ресурсов и т.д.

В то же время ГА является крупным заказчиком для других хозяйственных отраслей страны. Так, авиационная промышленность разрабатывает и поставляет для ГА самолеты и вертолеты, радиотехническая промышленность производит все наземные и бортовые радиосредства для ГА, приборостроение обеспечивает ГА измерительной аппаратурой и приборными комплексами, у Министерства связи арендуются для ГА каналы связи и т.д. С Министерством обороны (которое имеет свою боевую и транспортную авиацию) ГА взаимодействует при управлении воздушным движением (УВД).

1.2. Международная организация ИКАО

С 1970 г. СССР, а ныне его правопреемник Россия состоит членом Международной организации гражданской авиации - ИКАО (International Civil Aviation Organisation). ИКАО является специализированным учреждением ООН, призванным осуществлять международное сотрудничество в ГА в целях обеспечения безопасности, регулярности и экономической эффективности международных воздушных сообщений. В настоящее время ИКАО объединяет около 190 государств мира и является одной из авторитетных международных организаций. По существу, деятельность всей системы мирового ВТ во всех важнейших областях регулируется и направляется этой организацией. Штаб-квартира ИКАО располагается в г.Монреале.

В ноябре 1944 г. в Чикаго по инициативе США представители 52 государств обсудили проблемы международной ГА. Эта встреча, вошедшая в историю как Чикагская конференция, прошла без участия СССР. В ходе

конференции было согласовано, что новая международная организация будет заниматься, в первую очередь, аэронавигационными вопросами, способствуя повышению безопасности полетов и их регулярности, а также экономическими вопросами, решения которых должны повысить эффективность и экономичность воздушных перевозок. Чикагская конференция закончилась подписанием Конвенции о международной ГА, получившей название Чикагской конвенции 1944 г., ряда других документов. Предусматривалось, что новая организация получит право на существование только после ратификации Конвенции 26 государствами. В 1948 г. вступило в силу соглашение между ИКАО и ООН, по которому ИКАО признавалась специализированным учреждением ООН.

Чикагская конвенция 1944г. как уставной документ ИКАО

Конвенция состоит из преамбулы и четырех частей, включающих 22 главы (96 статей). В преамбуле, в частности, говорится о том, что страны заключили настоящую Конвенцию для того, чтобы международная ГА могла развиваться безопасным упорядоченным образом и международные воздушные сообщения могли устанавливаться на основе равенства возможностей и осуществляться рационально и экономично.

Основными принципами Чикагской конвенции, изложенными в первой главе части I «Аэронавигация», являются:

- полный и исключительный суверенитет каждого государства над воздушным пространством (ВП) над своей территорией;
- обязательства Договаривающихся государств не использовать ГА в каких-либо целях, несовместимых с духом и целями Конвенции;
- применение Конвенции только к гражданским ВС, в отличие от государственных ВС, используемых на военной, таможенной и полицейской службах;
- обязательство Договаривающихся государств при установлении правил для своих государственных ВС обращать внимание на безопасность навигации гражданских ВС.

В других пяти главах части I Конвенции приведены основные положения, регламентирующие права и обязанности государств при выполнении регулярных международных воздушных сообщений и нерегулярных полетов; приведены правила государственного контроля и обслуживания ВС в аэропортах и меры содействия аэронавигации; требования и условия, которым должны отвечать ВС, а также изложен порядок разработки и принятия международных стандартов и рекомендуемой практики.

Часть II «Международная организация ГА», состоящая из 7 глав (24 статей), представляет собой Устав ИКАО. В нем изложены цели и задачи организации, структура ее представительных органов и их функции, общие требования к персоналу и бюджету организации.

Часть III «Международный воздушный транспорт» включает 3 главы (13 статей), в которых рассмотрены основные вопросы международных воздушных перевозок, обязанности предоставления информации и отчетов о деятельности авиапредприятий, установление государственных маршрутов полетов, аэропортов и аэронавигационных средств.

В части IV «Заключительные положения», состоящей из 6 глав (18 статей), обозначены договорно-правовые условия подписания и расширения соглашений в области ГА, порядок разрешения споров между государствами и т.д.

Конвенция вступила в силу 4 апреля 1947г. Официальными языками ИКАО являлись английский, французский, испанский и русский; арабский и китайский – рабочие языки.

Общая структура органов ИКАО представлена на схеме (рис. 1.1).



Рис.1.1. Общая структура представительных органов ИКАО

Ассамблея ИКАО собирается 1 раз в 3 года. Во главе Совета ИКАО - Президент. Во главе Секретариата ИКАО – Генеральный секретарь. В состав Совета избираются представители 33 государств сроком на 3 года.

1.3. Воздушный кодекс Российской Федерации

С 01.04.1997г. введен в действие Воздушный кодекс Российской Федерации (ВК РФ), подписанный президентом РФ 19.03.1997г. за № 60-ФЗ. В его преамбуле записано:

Настоящий Кодекс устанавливает правовые основы использования воздушного пространства Российской Федерации и деятельности в области авиации.

Государственное регулирование использования воздушного пространства Российской Федерации и деятельности в области авиации направлено на обеспечение потребностей граждан и экономики в воздушных перевозках, авиационных работах, а также на обеспечение обороны и безопасности государства, охраны интересов государства, безопасности полетов воздушных судов, авиационной и экологической безопасности.

В составе ВК РФ 18 глав. Их названия могут дать представление о круге проблем и вопросов, им регламентируемых.

Глава I. Общие положения (статьи 1-10).

Глава II. Государственное регулирование использования воздушного пространства (статьи 11-19).

Глава III. Государственное регулирование деятельности в области авиации (статьи 20-26).

Глава IV. Государственный контроль за деятельностью в области гражданской авиации (статьи 27-31).

Глава V. Воздушные суда (статьи 32-39).

Глава VI. Аэродромы, аэропорты и объекты единой системы организации воздушного движения (статьи 40-51).

Глава VII. Авиационный персонал (статьи 52-55).

Глава VIII. Экипаж воздушного судна (статьи 56-60).

Глава IX. Авиационные предприятия (статьи 61-65).

Глава X. Полеты воздушных судов (статьи 66-78).

Глава XI. Международные полеты воздушных судов (статьи 79-82).

Глава XII. Авиационная безопасность (статьи 83-85).

Глава XIII. Поиск и спасание (статьи 86-94).

Глава XIV. Расследование авиационного происшествия или инцидента (статьи 95-99).

Глава XV. Воздушные перевозки (статьи 100-113).

Глава XVI. Авиационные работы (статьи 114-115).

Глава XVII. Ответственность перевозчика, эксплуатанта и грузоотправителя (статьи 116-135).

Глава XVIII. Заключительные положения (статьи 136-137).

В рамках настоящего пособия можно привести лишь некоторые положения ВК РФ.

Статья 1, п.1. РФ обладает полным и исключительным суверенитетом в отношении воздушного пространства (ВП) РФ.

Статья 2, п.1. Воздушное законодательство РФ состоит из настоящего Кодекса, федеральных законов, указов Президента РФ, постановлений Правительства РФ, федеральных правил использования ВП, федеральных авиационных правил, а также принимаемых в соответствии с ними иных нормативных правовых актов РФ.

Статья 8, п.2. Обязательной аттестации подлежит авиационный персонал.

Статья 14, п.1 (фрагменты). Организация использования ВП предусматривает обеспечение безопасного, экономичного и регулярного воздушного движения (ВД), а также другой деятельности по использованию ВП. Организация использования ВП включает в себя: 1) установление структуры ВП; 2) планирование и координирование использования ВП в соответствии с государственными приоритетами, установленными статьей 13 настоящего Кодекса; 3) организацию ВД;

п.2 (фрагменты). Организация использования ВП осуществляется органами единой системы организации ВД. Положение о единой системе организации ВД утверждается Правительством РФ.

Статья 20. Авиация подразделяется на гражданскую, государственную и экспериментальную авиацию.

Статья 32. Воздушное судно (ВС) – летательный аппарат, поддерживаемый в атмосфере за счет взаимодействия с воздухом, отличного от взаимодействия с воздухом, отраженным от поверхности земли и воды.

Статья 35 (фрагменты). Требования к летной годности гражданских ВС и охране окружающей среды определяются федеральными авиационными правилами и обязательны для соблюдения...

Статья 38, п.1. Каждому гражданскому ВС, имеющему средства радиосвязи, присваивается позывной радиосигнал в порядке, установленном федеральными авиационными правилами.

Статья 40, п.1. Аэродром – участок земли или поверхности воды с расположенными на нем зданиями, сооружениями и оборудованием, предназначенный для взлета, посадки, руления и стоянки ВС;

п.3. Аэропорт – комплекс сооружений, включающий в себя аэродром, аэровокзал, другие сооружения, предназначенный для приема и отправки ВС, обслуживания воздушных перевозок и имеющий для этих целей необходимые оборудование, авиационный персонал и других работников.

Статья 58. О правах командира ВС.

Статья 68. Полету ВС должна предшествовать подготовка ВС и его экипажа. Правила подготовки к полету ВС и его экипажа и контроль за их готовностью устанавливается соответствующим специально уполномоченным органом.

Статья 71, п.1. ВС, имеющие средства радиосвязи, и соответствующий орган обслуживания ВД (управления полетами) обязаны осуществлять между собой радиосвязь.

Статья 78, п.1. Для осуществления радиотехнического обеспечения полетов ВС и радиосвязи с ними специально уполномоченным органом в области обороны в установленном порядке выделяются радиочастоты, которые должны быть защищены от помех.

1.4. Федеральное агентство воздушного транспорта (ФАВТ)

В Положении о Федеральном агентстве воздушного транспорта (ФАВТ) записаны разделы 1. Общие положения; II. Полномочия; III. Организация деятельности.

В частности, фрагментарно, даны определения:

1. ФАВТ является федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по оказанию государственных услуг, управлению государственным имуществом в сфере воздушного транспорта (гражданской авиации) и гражданской части Единой системы организации воздушного движения РФ (ЕС ОрВД РФ), в том числе в области обеспечения ее функционирования, развития и модернизации.

2. ФАВТ находится в ведении Министерства транспорта РФ.

Ниже приводятся некоторые фрагменты из Положения о ФАВТ, непосредственно относящиеся к МГТУ ГА.

ФАВТ:

п.5.1.- проводит ... конкурсы и заключает государственные контракты ... на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ для государственных нужд в установленной сфере деятельности...;

п.п.5.3.1. – организует ... проведение обязательной сертификации аэродромов ..., используемых в целях ГА, аэропортов, объектов ЕС ОрВД РФ, а также юридических лиц, обеспечивающих воздушные перевозки (за исключением деятельности по обеспечению авиационной безопасности);

п.п.5.3.3. – организует обучение и повышение квалификации авиационного персонала ГА...;

п.5.11. – организует профессиональную подготовку работников Агентства, их переподготовку, повышение квалификации и стажировку;

п.5.14. – организует конгрессы, конференции, семинары, выставки и другие мероприятия в установленной сфере деятельности;

п.6.2. – имеет право привлекать в установленном порядке научные и иные организации, ученых и специалистов для проработки вопросов, отнесенных к компетенции Агентства.

В связи с важностью, сложностью и объемом вопросов аэронавигации наряду с ФАВТ вне ведения Министерства транспорта существует Федеральная аэронавигационная служба России, подчиненная напрямую Правительству РФ.

1.5. Федеральная аэронавигационная служба (ФАНС)

Государственное регулирование использования воздушного пространства РФ и деятельности в области авиации направлено на обеспечение потребностей граждан и экономики в воздушных перевозках, авиационных работах, а также на обеспечение обороны и безопасности

государства, охраны интересов государства, безопасности полетов ВС, авиационной и экологической безопасности.

Государственное регулирование ИВП возложено на федеральную аэронавигационную службу, которая является специально уполномоченным Федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по проведению государственной политики, нормативно-правовому регулированию, контролю и надзору, а также по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в сфере ИВП РФ, аэронавигационного обслуживания пользователей ВП РФ и авиационно-космического поиска и спасения.

Правовые основы ИВП устанавливает Воздушный кодекс РФ, а руководство ФАНС осуществляет Правительство РФ.

В структуру ФАНС входит 10 Управлений, в том числе:

- Управление государственного регулирования использования воздушного пространства и организации воздушного движения;
- Управление организации авиационно-космического поиска и спасения;
- Управление радиотехнического обеспечения полетов, радиосвязи, модернизации и сертификации;
- Управление международного сотрудничества и другие.

2. Основные сведения о воздушных судах гражданской авиации

Полеты самолетов и вертолетов в атмосфере Земли возможны благодаря аэродинамическим силам, возникающим при взаимодействии движущегося тела с воздушной средой.

2.1. Краткая характеристика воздушной среды

Атмосфера Земли имеет слоистое строение. Полеты воздушных судов гражданской авиации выполняются в тропосфере.

Основными параметрами состояния воздуха являются давление, температура и плотность. Эти параметры зависят от высоты, географической широты и долготы, времени года и суток и т.д. Для удобства аэродинамических расчетов и сравнения результатов экспериментов, проводимых в различных условиях, создана условная международная стандартная атмосфера (МСА), которая дает усредненные значения параметров воздуха по высотам. МСА на уровне моря: $t = 15^{\circ}\text{C}$, $p = 1,0133 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (760 мм рт. ст), $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$.

На величину аэродинамических сил влияют вязкость (а при больших скоростях полета и сжимаемость) воздуха. Сжимаемость – способность воздуха изменять свой объем и плотность при изменении температуры и внешнего давления. Критерием сжимаемости воздуха под воздействием движущегося тела является число Маха (величина M), представляющее собой отношение скорости полета V к скорости звука a в воздухе ($M = V/a$).

Величина a приближенно может быть определена по формуле $a = 20\sqrt{T}$, м/с, где T – абсолютная температура, К; ($T = t^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}$). Давление, плотность и абсолютная температура связаны уравнением состояния газа (воздуха)

$p/\rho = gR^*T$, где

g – ускорение силы тяжести ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$);

R^* – универсальная газовая постоянная (для воздуха $R^* = 8314,3 \text{ Дж/К}^* \text{ моль}$).

2.2. Основные законы аэродинамики

Аэродинамика – наука о законах движения воздуха, о взаимодействии воздушного потока с телом, которое он обтекает. При выводе ее основных уравнений предполагается непрерывное распределение газа (воздуха) в пространстве. Движение газа (поток газа) называется установившимся, если в любой точке пространства постоянны во времени скорость, давление и другие важные параметры.

Для установившегося движения закон сохранения массы сводится к тому, что через каждое поперечное сечение элементарной струйки (из них состоит поток) в единицу времени протекает одна и та же масса воздуха, то есть

$$\rho_1 S_1 V_1 = \rho_2 S_2 V_2 = \text{const}, \quad (2.1)$$

где ρ – массовая плотность воздуха в соответствующих сечениях струйки;

s – площадь соответствующего сечения струйки;

V – скорость воздуха в соответствующих сечениях струйки;

ρsV – секундный массовый расход воздуха через поперечное сечение.

Соотношение (2.1) называется уравнением неразрывности струи.

Для малых скоростей течения ($M < 0,3$), когда сжимаемостью воздуха можно пренебречь ($\rho_1 = \rho_2 = \text{const}$), уравнение неразрывности принимает вид

$$s_1 V_1 = s_2 V_2 = \text{const} \quad \text{или} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{S_2}{S_1}, \quad (2.2)$$

из которого следует, что скорость течения в струйке обратно пропорциональна площади ее поперечного сечения.

При увеличении скорости она все заметнее влияет на изменение плотности, быстро уменьшая ее. Произведение ρV в (2.1) быстро уменьшается, что может быть скомпенсировано только ростом сечения струйки s . При $M > 1$ (сверхзвуковая скорость) рост скорости возможен только при увеличении s .

Применение закона сохранения энергии для случая установившегося движения позволяет установить взаимосвязь давления и скорости воздуха в струе.

Считая воздух несжимаемым и лишенным трения, можно записать баланс энергий в произвольных сечениях I-I и II-II струйки за время Δt

$$\frac{mV_1^2}{2} + mgh_1 + p_1 S_1 V_1 \Delta \tau = \frac{mV_2^2}{2} + mgh_2 + p_2 S_2 V_2 \Delta \tau, \quad (2.3)$$

где $\frac{mV^2}{2}$ - кинетическая энергия массы m воздуха, проходящего через соответствующее сечение s струйки;

mgh – потенциальная энергия работы силы тяжести относительно некоторого условного уровня, на котором находится соответствующее сечение струйки;

$p SV \Delta \tau$ - работа по продвижению воздуха через соответствующее сечение S струйки.

Разделив обе части уравнения (2.3) соответственно на $S_1 V_1 \Delta \tau$ и $S_2 V_2 \Delta \tau$ (равные объемы воздуха, проходящего через сечения s_1 и s_2 за время $\Delta \tau$), получим уравнение Бернулли:

$$\frac{\rho V_1^2}{2} + \rho gh_1 + p_1 = \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho gh_2 + p_2 = const \quad (2.4)$$

Для случая, когда $h_1 \approx h_2$, т.е. когда течение происходит через сечения, находящиеся почти на одном уровне, можно уравнение (2.4) упростить:

$$\frac{\rho V_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho V_2^2}{2} + p_2 = const, \quad (2.5)$$

где $\frac{\rho V^2}{2}$ - динамическое давление (скоростной напор),

p - статическое давление.

Вывод: при установившемся движении сумма статического и динамического давления есть величина постоянная.

Для воздуха с учетом сжимаемости уравнение Бернулли приобретает вид:

$$\frac{V^2}{2} + 3,5 \frac{p}{\rho} = const \quad (2.6)$$

Уравнение Бернулли позволяет объяснить условие возникновения аэродинамических сил на крыле ВС и воздушном винте.

2.3. Геометрические характеристики крыла самолета

Внешние формы крыла определяются следующими геометрическими характеристиками: профилем крыла, видами крыла в плане и спереди.

Профиль крыла – форма сечения его в плоскости, параллельной плоскости симметрии самолета (рис.2.1).

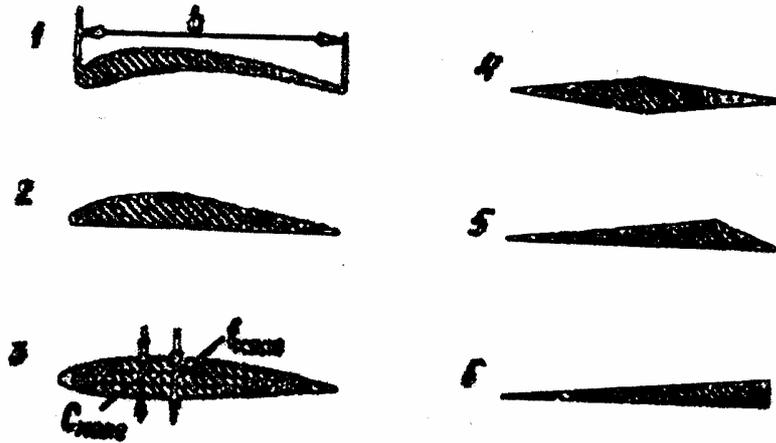


Рис. 2.1. Формы профилей крыла:

1 – выпукло-вогнутый; 2 – плосковыпуклый; 3 – двояковыпуклый несимметричный; 4 – ромбовидный; 5 – двуклиновый; 6 – одноклиновый.

На современных самолетах, летающих на дозвуковых скоростях, крылья чаще всего имеют плосковыпуклые или двояковыпуклые профили, обладающие минимальным сопротивлением на этих скоростях. Для крыльев сверхзвуковых самолетов характерны двояковыпуклые симметричные профили с острыми кромками, ромбовидные и клиновидные.

Геометрическими характеристиками профиля являются хорда b , относительная толщина \bar{c} и относительная вогнутость (кривизна) \bar{f} . Хордой b профиля называется отрезок условной прямой линии, соединяющий переднюю и заднюю точки профиля. Относительная толщина профиля \bar{c} – это отношение максимальной толщины профиля C_{\max} к его хорде, выраженное в процентах

$$\bar{c} = \frac{C_{\max}}{b} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

Относительной вогнутостью профиля \bar{f} называется максимальное расстояние между средней линией профиля и хордой, выраженное в процентах от длины хорды

$$\bar{f} = \frac{f_{\max}}{b} \cdot 100\% \quad (2.8)$$

Средняя линия профиля соединяет переднюю и заднюю его точки и является геометрическим местом середин отрезков между верхним и нижним контурами профиля, перпендикулярных хорде.

На виде в плане (рис 2.2) крылья могут иметь различную форму.

На самолетах, рассчитанных на полеты с малыми дозвуковыми скоростями, чаще всего применяются крылья трапецевидной формы, выгодные в весовом отношении и простые в изготовлении. На самолетах, летающих на околозвуковых или сверхзвуковых скоростях, находят применение крылья стреловидные, треугольной или готической формы.

Форма крыла в плане характеризуется размахом l , площадью S , удлинением λ , сужением η и углом стреловидности χ .

Размахом крыла l называется наибольшее расстояние между концевыми точками крыла, замеренное по нормали к плоскости симметрии самолета.

Площадью крыла S называется площадь его проекции на площадь хорд. В площадь крыла включается и часть его площади, вписанной в фюзеляж самолета, а также площадь мотогондол и гондол шасси, расположенных на крыле.

Удлинение крыла λ - это отношение квадрата размаха крыла к площади крыла:

$$\lambda = l^2/S \quad (2.9)$$

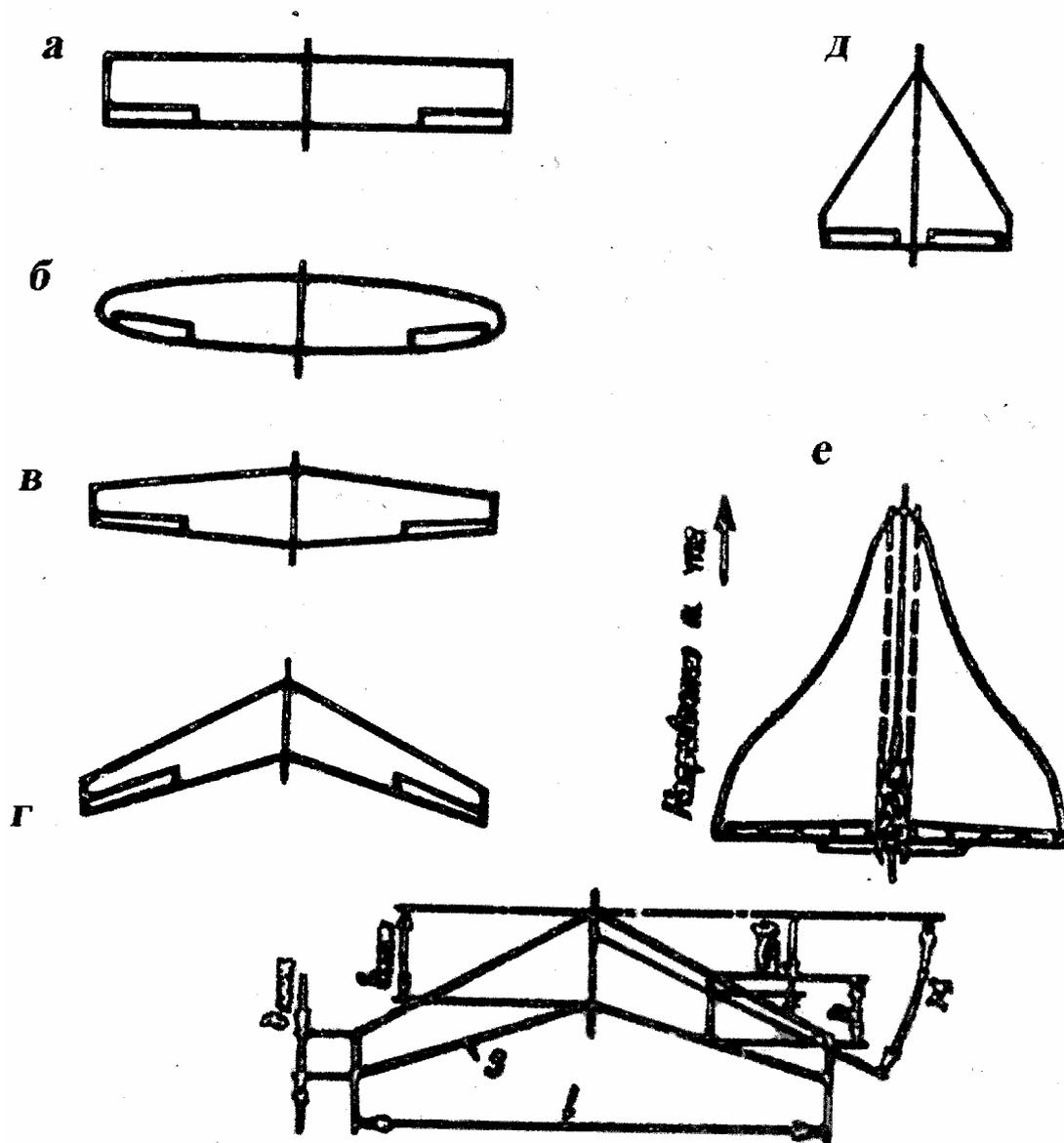


Рис.2.2. а, б, в, г, д, е. Форма и параметры крыла в плане:
а – прямоугольная; б – эллиптическая; в – трапецевидная; г – стреловидная;
д - треугольная; е – готическая

Сужение крыла η - это отношение длины корневой хорды $b_{\text{корн}}$ к длине концевой хорды $b_{\text{конц}}$

$$\eta = b_{\text{корн}} / b_{\text{конц}} \quad (2.10)$$

Угол стреловидности крыла (представляет собой угол, образуемый (при виде крыла сверху) между перпендикуляром к плоскости симметрии самолета и линией, соединяющей точки, лежащие на 0,25 длины хорды от носка крыла).

Вид крыла спереди характеризуется углом V (поперечной стреловидностью). Так называется угол, образованный плоскостью хорд крыла и горизонтальной плоскостью (рис. 2.3).

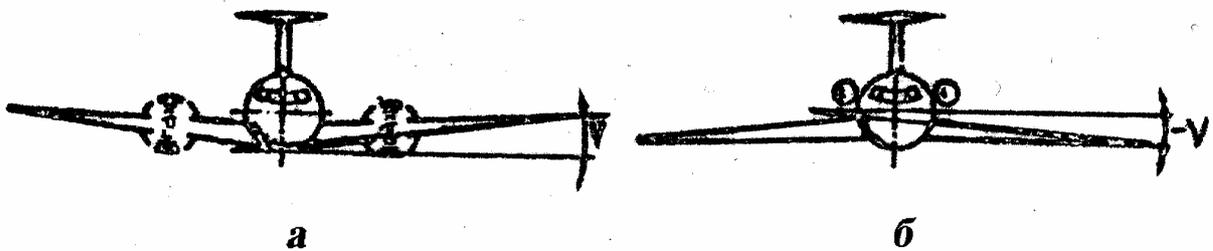


Рис. 2.3. Поперечная стреловидность крыла:
а – положительная; б – отрицательная.

Угол считается положительным, если концы крыла приподняты и отрицательным, если они опущены. Величина поперечного V крыла существенно влияет на поперечную устойчивость самолета. На нескоростных самолетах поперечное V крыла обычно имеет положительное значение (до $+7^\circ$), а на скоростных – отрицательное (до -5°).

2.4. Аэродинамические силы и характеристики крыла самолета

Полную аэродинамическую силу R_a обычно разлагают на Q лобового сопротивления движущемуся телу и подъемную силу Y . Силы Q и Y взаимно ортогональны.

Форма, размеры и профиль крыла выбираются такими, чтобы получить максимальную подъемную силу при минимальном лобовом сопротивлении.

Подъемная сила является только следствием несимметричного обтекания крыла (симметричного или несимметричного профиля) воздушным потоком, при котором скорость потока над крылом будет больше, чем под ним и, в соответствии с уравнением Бернулли (2.5), давление воздуха под крылом будет больше, чем над ним. При этом недопустимы срыв потока воздуха с поверхности крыла и сильное вихреобразование (рис. 2.4).

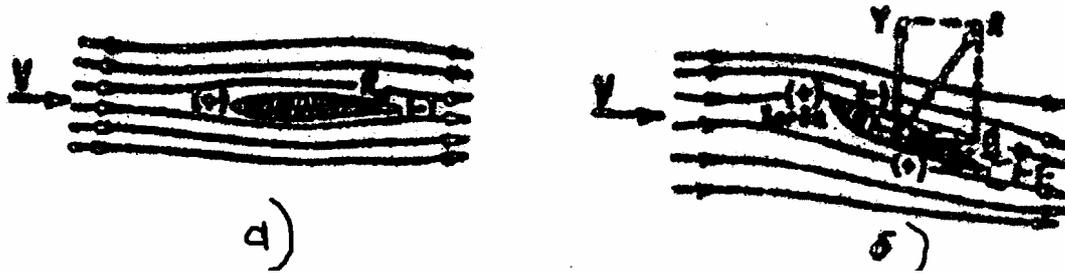


Рис. 2.4. а, б. Аэродинамические силы крыла:
а – симметричное обтекание; б – несимметричное обтекание; (+) – области повышенного давления; (-) – области пониженного давления

Величины R_a , Q и Y определяются по формулам

$$R_a = C_R S \frac{\rho V^2}{2}; \quad (2.11) \quad Y = C_Y S \frac{\rho V^2}{2}; \quad (2.12) \quad Q = C_X S \frac{\rho V^2}{2} \quad (2.13)$$

где C_R , C_Y , C_X - соответственно коэффициенты полной аэродинамической силы, подъемной силы и лобового сопротивления;

S – площадь крыла в плане;

$\frac{\rho V^2}{2}$ - скоростной напор.

Коэффициенты C_R , C_Y , C_X - безразмерны, определяются опытным путем и зависят, главным образом, от формы профиля крыла, формы крыла в плане, положения крыла в воздушном потоке и от состояния его поверхности.

Видно, что

$$R_a^2 = Y^2 + Q^2 \quad (2.14)$$

$$C_R^2 = C_Y^2 + C_X^2 \quad (2.15)$$

Аэродинамическое совершенство крыла характеризуется аэродинамическим качеством K , определяемым по соотношению

$$K = Y / Q = C_Y / C_X \quad (2.16)$$

У современных самолетов значение качества крыльев достигает величины $K = 20-22$.

Аэродинамическими характеристиками называются зависимости C_Y , C_X и K от угла атаки α крыла и, отчасти, скорости полета. Углом атаки α называется угол между направлением набегающего потока и хордой крыла. В качестве универсальной характеристики крыла используют зависимость $C_Y = f(C_X)$, называемую полярой крыла (рис. 2.5).

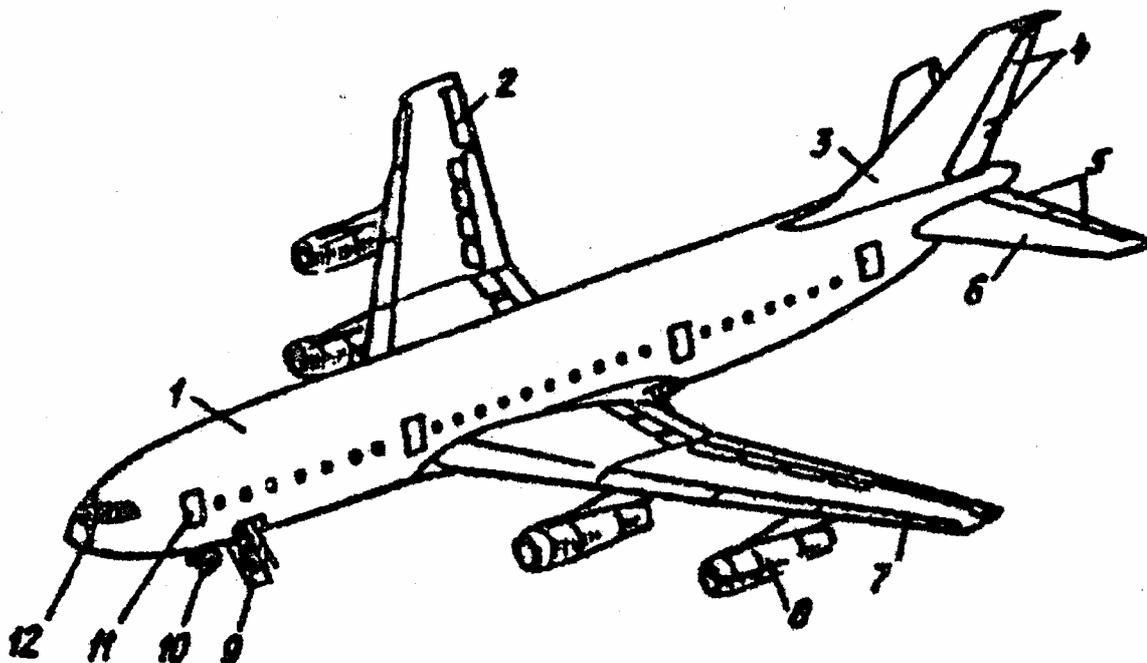


Рис 2.6. Самолет Ил-86:

1 – фюзеляж; 2 – элерон; 3 – киль; 4 – руль направления; 5 – руль высоты; 6 – стабилизатор; 7 – крыло; 8 – гондола авиадвигателя; 9 – бортовой трап; 10 – передняя опора шасси; 11 – аварийная дверь; 12 – фонарь кабины экипажа

Крылья современных самолетов снабжаются закрылками, предкрылками, интерцепторами (воздушными тормозами) и другими устройствами, служащими для улучшения взлетно-посадочных характеристик самолета. Эти устройства принято называть средствами механизации крыла. К крылу часто крепятся двигатели, главные ноги шасси.

Основные конструктивные элементы крыла показаны на рис. 2.7.

Обшивка крепится к каркасу. Продольный набор каркаса – лонжероны и стрингеры, поперечный – нервюры. И каркас, и обшивка работают в силовой схеме крыла.

Фюзеляж

Фюзеляж предназначен для размещения экипажа, пассажиров, грузов и оборудования. К нему крепятся крылья, оперение, часто силовая установка и другие агрегаты самолета. Его масса – до 40% массы всей конструкции самолета, аэродинамическое сопротивление – до 50% полного сопротивления самолета.

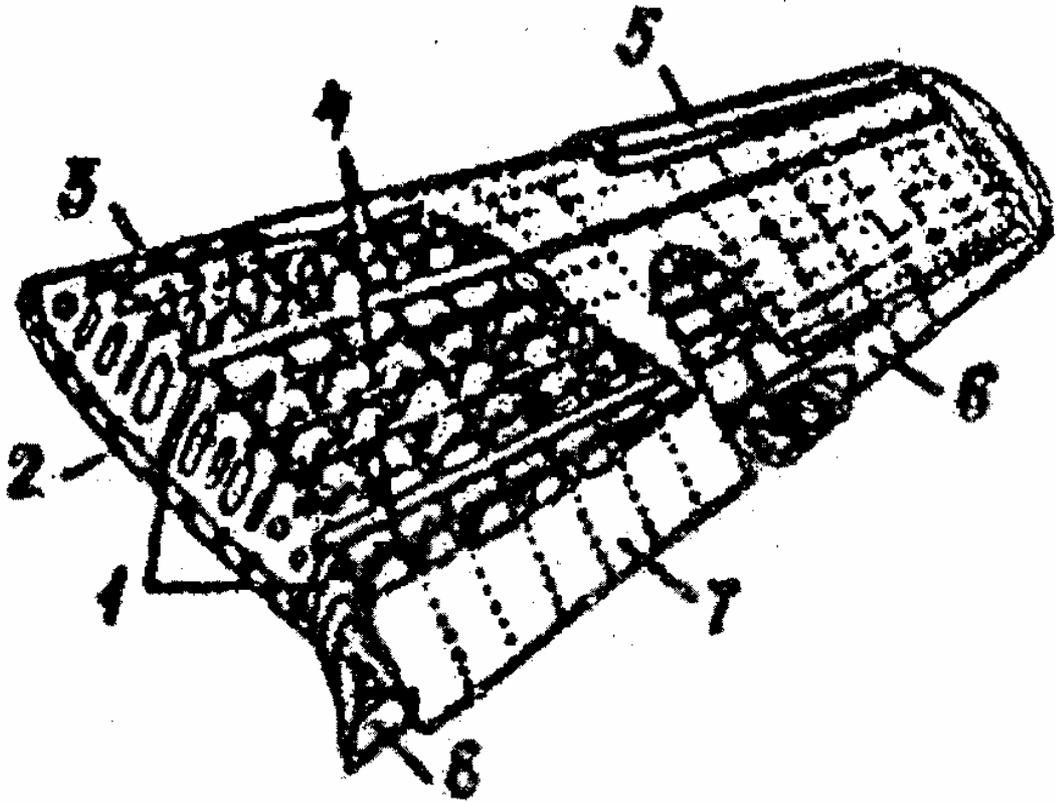


Рис. 2.7. Конструкция крыла:

1- стенки лонжеронов; 2 – нервюры; 3 – стрингеры; 4 – пояса лонжеронов;
5 – предкрылок; 6 – элерон; 7 – обшивка; 8 - закрылок

Основными размерами фюзеляжа являются его длина L_{ϕ} , площадь миделевого (наибольшего) сечения S_m . Большое влияние на аэродинамические характеристики самолета оказывает параметр – удлинение λ_{ϕ} фюзеляжа

$$\lambda_{\phi} = L_{\phi}/D_{\phi}, \quad (2.17)$$

где D_{ϕ} – диаметр окружности, равной по площади миделеву сечению.

Основные конструктивные элементы фюзеляжа балочной конструкции показаны на рис. 2.8.

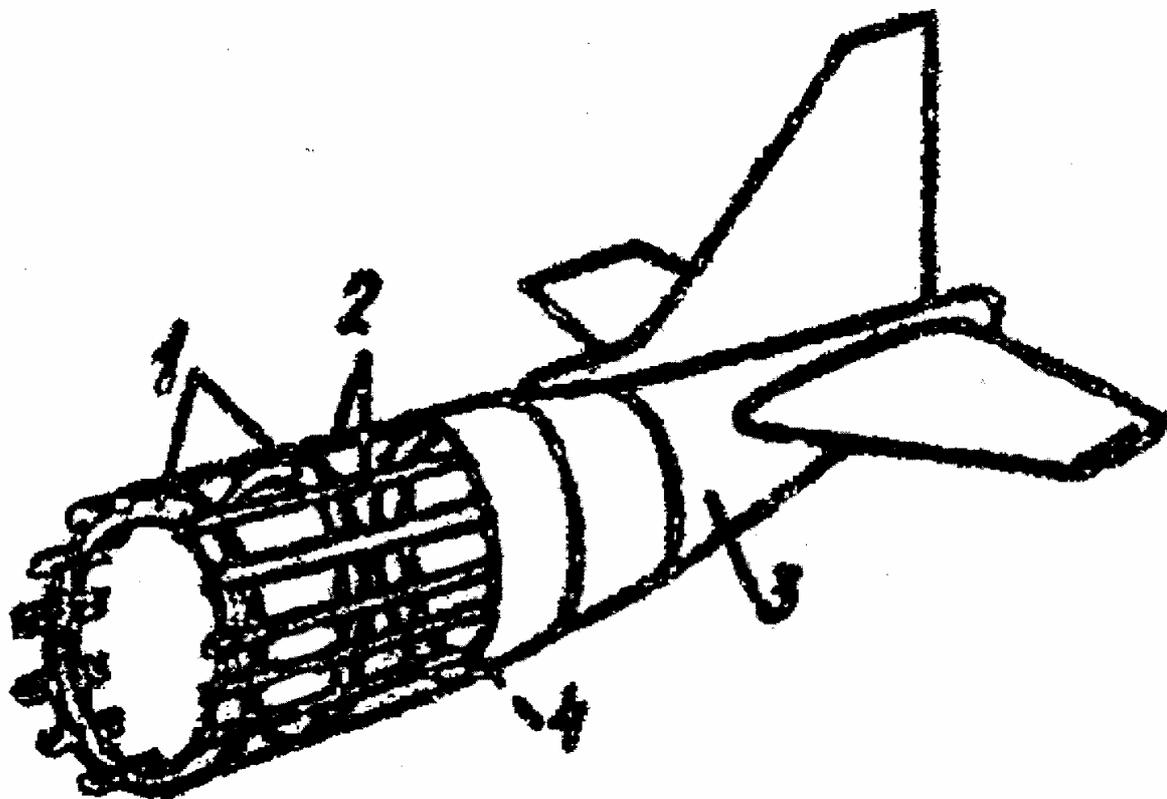


Рис. 2.8. Конструктивная схема фюзеляжа:

1 – шпангоуты; 2 – стрингеры; 3 – обшивка; 4 - теплозвукоизоляция

Работающая обшивка подкреплена продольным и поперечным силовым набором в виде стрингеров и шпангоутов. Фюзеляж современного транспортного самолета, за исключением отсеков шасси, центроплана крыла и хвостовой части, выполняется герметичным.

Оперение

Оперение представляет собой несущие поверхности, предназначенные для обеспечения устойчивости, управляемости и балансировки самолета и расположенные, как правило, в хвостовой части самолета.

Горизонтальное оперение состоит из стабилизатора и руля высоты. Вертикальное оперение состоит из неподвижного киля и руля направления. При отклонении рулей создаются аэродинамические силы и моменты сил, необходимые для управления полетом.

Конструкция киля, стабилизатора и рулей аналогична конструкции крыла.

Шасси

Шасси – это система опор самолета, предназначенная для обеспечения стоянки и движения по земле при рулежке, взлете и посадке. Шасси снабжено устройствами, поглощающими энергию ударов при посадке самолета и при движении его по земле, и тормозами для торможения его при пробеге и рулении. Удары смягчаются амортизаторами и пневматиками колес.

На современных самолетах шасси в полете убираются в специальные отсеки, закрываемые створками. Это уменьшает аэродинамическое сопротивление, но для вертолетов и самолетов, летающих со скоростью, меньшей 200 км/ч, убирание шасси не окупается уменьшением лобового сопротивления.

Большинство самолетов оснащено шасси с передней опорой.

Силовая установка

Под силовой установкой понимаются не только авиационные двигатели, но и весь комплекс систем и устройств, обеспечивающих их работу. Это системы (комплексы) топливная, смазки (масляная), всасывания воздуха, выхлопа газов, запуска управления и автоматизированного контроля, противопожарная и противообледенительная.

В настоящее время на самолетах ГА применяются чаще всего турбореактивные (ТРД) и турбовинтовые (ТВД) двигатели, реже – поршневые (ПД). На самолетах с ПД тяга создается воздушными винтами, с ТРД она образуется вследствие истечения с большой скоростью газов из реактивного сопла, с ТВД – более 85% тяги создается воздушными винтами, а остальная за счет истечения выхлопных газов.

Для уменьшения лобового сопротивления двигатели заключаются в мотогондолы, которые также обеспечивают для работы двигателя и его охлаждения правильное распределение потока воздуха.

Механизация крыла самолета

Основным способом улучшения взлетно-посадочных характеристик является механизация крыла. Основная задача ее – создание на взлете наибольшей подъемной силы без значительного увеличения лобового сопротивления, а на посадке – наибольшей подъемной силы и наибольшего сопротивления.

Механизация крыла используется также для улучшения маневренности самолета.

К основным устройствам механизации крыла относятся посадочные щитки, закрылки, предкрылки и интерцепторы.

Щитки

Щитки представляют собой отклоняемые вниз поверхности, расположенные в нижней задней части крыла.

В неотклоненном положении щитки вписываются в контур крыла.

При отклонении щитка искривляется профиль крыла, происходит отсос воздуха в область пониженного давления за щитком и увеличение разрежения на верхней поверхности крыла; одновременно под крылом давление воздуха повышается вследствие его затормаживания щитком. В результате возрастают коэффициенты подъемной силы и лобового

сопротивления. Щитки позволяют увеличить угол планирования, сократить посадочную дистанцию и длину пробега.

Закрылки

Закрылок представляет собой подвижную хвостовую часть крыла, которая, в отличие от элеронов, может отклоняться только вниз. Типы закрылков- простые щелевые выдвижения.

Повышение коэффициента C_Y у крыла с простым закрылком происходит вследствие увеличения вогнутости крыла при отклонении закрылка. При выпуске щелевых закрылков между крылом и закрылком образуется профилированная щель, через которую воздух устремляется из области повышенного давления под крылом в область пониженного давления над крылом. Происходит сдувание его в верхней части крыла. Применение выдвижных закрылков позволяет получить еще большие значения C_{Ymax} за счет увеличения площади крыла.

Предкрылки

Предкрылками называется профилированная передняя часть крыла, выделенная из основного профиля. Он может размещаться либо по всему размаху крыла, либо на концевых его частях (против элеронов).

Фиксированные предкрылки жестко связаны с крылом. Есть предкрылки, управляемые летчиком, а также автоматические предкрылки. Автоматический предкрылок на малых углах атаки плотно прижат к крылу, а при достижении определенного угла атаки под воздействием аэродинамических сил он выдвигается (рис. 2.9).



Рис. 2.9. а, б. Схема действия автоматического предкрылка:

а – малые углы атаки; б – большие углы атаки

Предкрылок выдвигается вперед и вниз, увеличивая площадь крыла в плане и кривизну профиля. При этом между предкрылком и крылом образуется профилированная суживающаяся щель. Выходящая из этой щели с большой скоростью струя воздуха прижимает воздушный поток к верхней поверхности крыла.

Использование предкрылков позволяет на 40-50% увеличить C_{Ymax} , главным образом, за счет увеличения критического угла атаки. Предкрылки

повышают также поперечную устойчивость и управляемость самолета при больших углах атаки на взлете и посадке.

Интерцепторы

Интерцепторы – отклоняющиеся пластины, расположенные на верхней поверхности крыла (воздушные тормоза, рис.2.10).



Рис. 2.10. Схема интерцепторов

Интерцепторы применяются в полете и на земле. Выпуск интерцепторов в полете одновременно на обеих консолях крыла уменьшает подъемную силу и увеличивает лобовое сопротивление, что позволяет выполнять снижение по более крутой траектории. Отклонение интерцепторов только на одной консоли крыла осуществляется при использовании элеронов и повышает эффективность поперечного управления. На земле интерцепторы обеспечивают сокращение длины пробега при посадке и дистанции прерванного взлета.

Основные конструктивные элементы вертолетов

Конструкцию вертолетов любой схемы образуют: фюзеляж, шасси, несущий винт, органы управления, приборное радио- и электрооборудование, силовая установка с системами, обеспечивающими ее работу: - топливной, масляной, всасывания воздуха, охлаждения, управления и т.п., трансмиссия, включая редукторы, валы, муфты включения трансмиссии, тормоз несущих винтов. Одновинтовые вертолеты, кроме того, имеют хвостовую балку, рулевой винт и систему управления им. Некоторые вертолеты имеют крыло, которое частично разгружает несущий винт, а также вертикальное и горизонтальное оперение.

Конструкции некоторых частей вертолетов аналогичны самолетным, но других – очень специфичны. В рамках настоящего пособия они рассматриваться не будут.

3. Этапы полета и основные положения организации воздушного движения

Одним из главных назначений наземных и бортовых радиотехнических средств ГА является обеспечение нормального проведения полета ВС на всех его этапах. Чтобы понять специфику радиотехнических устройств (систем) и

их применение на каждом этапе, необходимо ознакомиться с этапами полета и основами организации воздушного пространства (ВП), с соответствующими понятиями и определениями.

3.1. Общие положения

Полетом ВС называется его движение в ВП с целью перемещения людей, груза или решения других поставленных задач из одной точки земной поверхности в другую.

Движение ВС состоит из поступательного движения центра масс ВС относительно земной поверхности и углового движения вокруг центра масс.

Траектория полета представляет собой совокупность последовательных положений центра масс ВС в пространстве.

Проекция центра масс на поверхность земли называется местом ВС.

Проекция траектории полета ВС на поверхность земли или, что то же, совокупность последовательных мест ВС называется линией пути.

При выполнении полетов ВС его траектория задается в пространственно-временных координатах. Описание такой траектории составляет навигационную задачу, решаемую наукой – навигацией. Сюда входит:

определение задач и программ движения ВС в пространстве и во времени, обеспечивающих наиболее безопасный и экономичный (по затратам и времени) полет с учетом метеорологических условий и их возможных изменений;

использование методов получения информации о пространственно-временном положении ВС и параметрах режима его полета;

применение технических средств для сбора, переработки и отображения информации о полете;

использование полученной информации для ориентировки и обеспечения управления полетом ВС по заданной программе.

В полете аэродинамические силы, сила тяги, вес и разного рода возмущающие силы приводятся к центру масс ВС. Стабилизация центра масс ВС относительно заданной траектории и ликвидация неплановых отклонений от нее является задачей пилотирования или управления полетом. Управление полетом, таким образом, сводится к созданию с помощью рулей и двигателей управляющих аэродинамических сил и моментов относительно центра масс ВС.

Навигация и пилотирование являются составной частью общего процесса-самолетовождения.

Под самолетовождением понимается комплекс действий экипажа ВС и работников наземных служб (прежде всего движения и эксплуатации радиотехнического оборудования и связи), направляемых на обеспечение наибольшей точности выполнения полета ВС по заданному маршруту и обеспечение посадки в аэропорту назначения в установленное время.

Осуществление полета по заданному маршруту требует выполнения большого количества четко разграниченных операций, в связи с чем выделяются отдельные этапы полета. Каждому из этих этапов свойственны один или несколько характерных режимов полетов, предусмотренных Руководством по летной эксплуатации ВС.

Режим полета представляет собой сочетание таких параметров полета, как скорость, высота, угол наклона траектории, угол крена, угол тангажа и др., оказывающих основное влияние на формирование траектории полета.

3.2. Этапы полета ВС

В зависимости от транспортной или функционально иной операции схемы вариантов полетов и их этапов могут несколько видоизменяться. Общими для них являются следующие этапы полета (рис. 3.1):

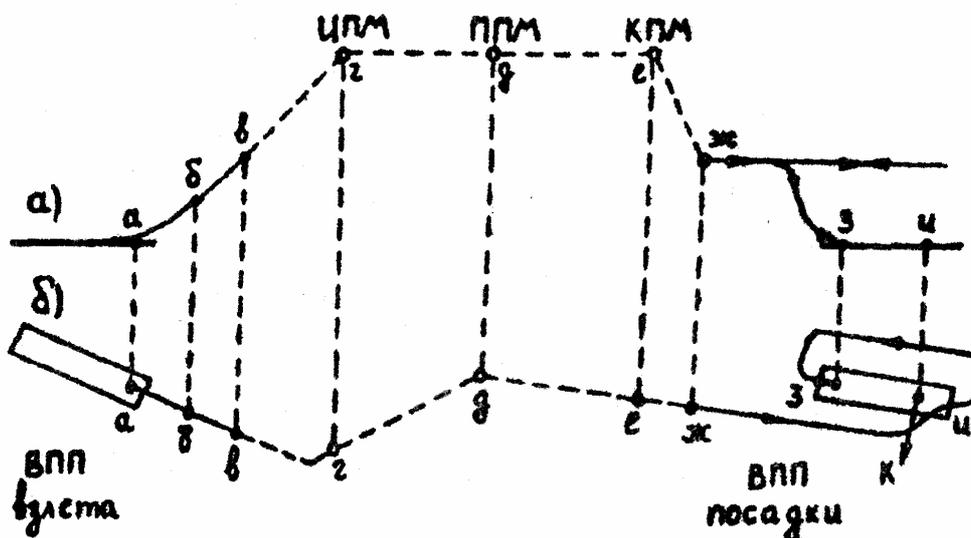


Рис. 3.1. Этапы полета ВС по заданной траектории.
а – профиль полета; б – линия заданного пути

- взлет (участок *аб*);
- начальный набор высоты (участок *бв*);
- набор заданной высоты полета по маршруту (участок *вг*);
- полет по маршруту (участок *где*);
- снижение (участок *еж*) с возможным ожиданием посадки в специально отведенной для этого зоне ВП;
- заход на посадку (участок *жз*);
- посадка (участок *зи*);
- руление до остановки на стоянке (участок *ик*).

Взлет – это этап движения от момента исполнительного старта до набора высоты, соответствующей максимальной высоте препятствий на подходах к аэродрому, и приобретения безопасной скорости взлета.

Высота, называемая условной ($H_{\text{усл}}$), отсчитывается от уровня взлетно-посадочной полосы (ВПП) в точке отрыва ВС.

В процессе взлета ВС разгоняется, отрывается от ВПП и продолжает разгон с набором высоты $H_{\text{усл}}$ (10-15)м и безопасного значения скорости взлета, определяемой типом ВС. На этапе взлета с высоты 3-5 м начинается уборка шасси ВС, которая заканчивается на этапе начального набора высоты. После уборки шасси в точке этого этапа, соответствующей $H_{\text{усл}} = 120$ м, начинается уборка средств механизации крыла. Заканчивается участок начального набора высоты на высоте круга аэродрома $H_{\text{к}} = 400-600$ м. К этому моменту убираются средства механизации крыла, конфигурация ВС переходит от взлетной к полетной, и скорость полета достигает величины, на 25% превышающей скорость сваливания ВС в полетной конфигурации.

На этапе набора заданной высоты полета по маршруту осуществляется дальнейший разгон ВС до маршрутной скорости и вывод на заданный путевой угол.

В маршрутном полете ВС совершает движение на установленном эшелоне полета. **Эшелон полета** – это одна из поверхностей постоянного атмосферного давления, расположенных на регламентированных расстояниях друг от друга по высоте. Этот этап полета начинается в исходном пункте маршрута (ИПМ). При полете по маршруту возможны изменения в направлении полета, которые производятся в поворотных пунктах маршрута (ППМ). Завершается маршрутный полет в конечном пункте маршрута (КПМ).

На этапе снижения *еж* (рис. 3.1) ВС совершает полет с потерей высоты по наклонной прямой. Снижение ВС с высоты эшелона полета до высоты круга аэродрома (400-600 м) выполняется за строго определенное время, называемое предельным временем снижения. Выбор скорости снижения определяется из условия обеспечения комфорта пассажиров и стремления улучшить экономические показатели (уменьшить расход топлива уменьшением времени снижения). Этап снижения заканчивается в районе аэродрома, где ВС переходит в горизонтальный полет на высоте 400-600 м и приступает к выполнению захода на посадку.

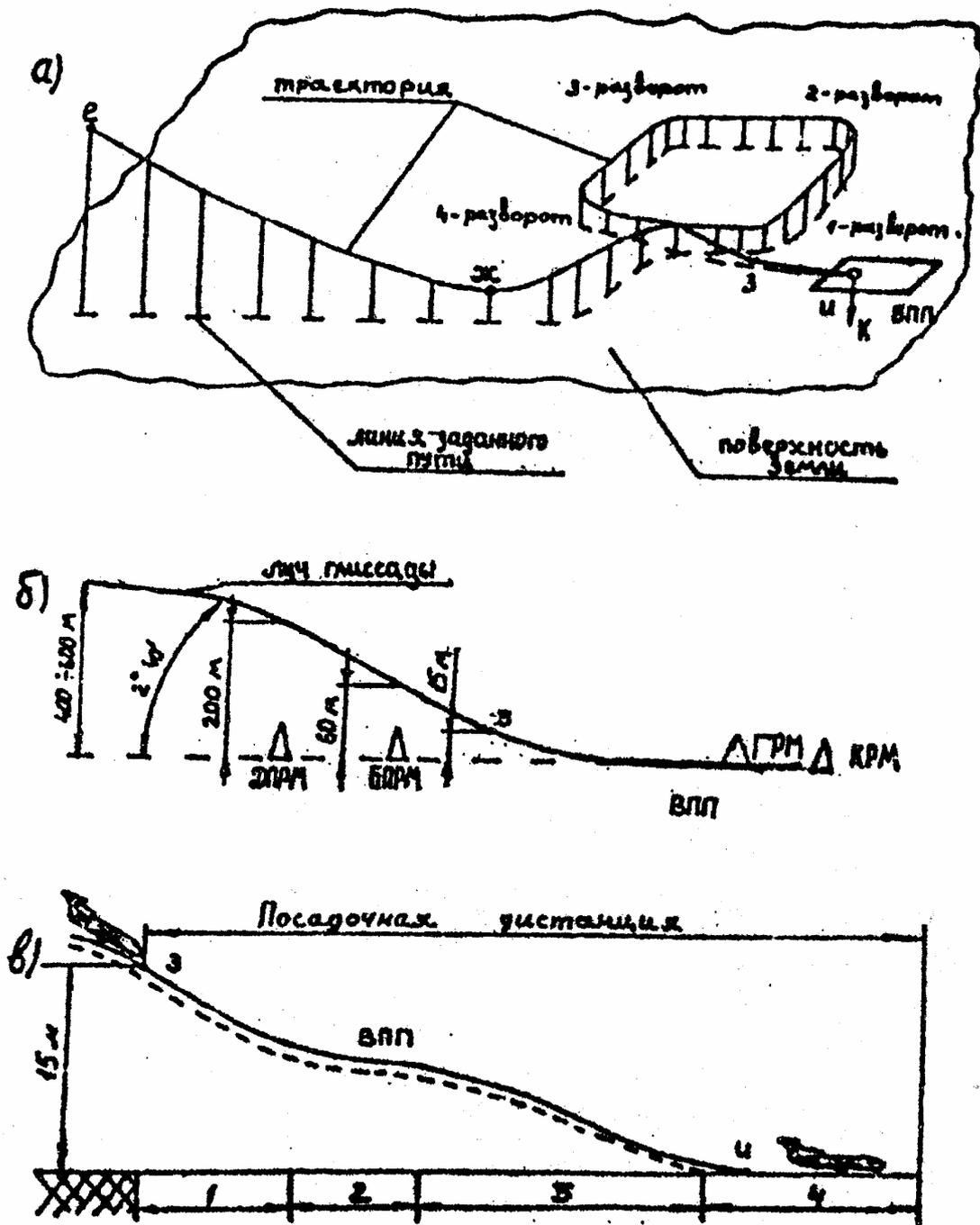


Рис.3.2. Этапы снижения и посадки ВС:
 а – снижение; б – заход на посадку; в - посадка

Первым участком этапа захода на посадку *ВС* является предпосадочный маневр по прямоугольному маршруту («коробочке»), в процессе которого *ВС* совершает четыре разворота. Иногда предусматривается возможность вписываться в траекторию прямоугольного маршрута с любого направления и выполнять перед посадкой только четвертый или третий и четвертый или второй, третий и четвертый развороты. Допустим также заход на посадку с прямой без выполнения посадочного маневра. Как правило, при полете по прямоугольному маршруту до третьего разворота выпускаются шасси, между третьим и четвертым разворотами закрылки устанавливаются на угол 15-30 градусов, а после четвертого разворота до начала движения по наклонной траектории

закрылки выпускаются полностью. Второй участок этапа захода на посадку начинается с момента пересечения линии глиссады, образуемой радиомаяками глиссадным (ГРМ) и курсовым (КРМ) системы посадки (СП). К этому времени скорость ВС уменьшается до величины скорости предпосадочного снижения. В точке пересечения глиссады ВС переходит в режим снижения по наклонной прямой с углом наклона $2^{\circ}40'$, равным углу наклона глиссады. При движении по глиссаде скорость ВС постоянна.

На высоте 15-20 м начинается заключительный (до руления) этап полета - посадка ВС (участок *зи*). Он состоит из четырех участков: выравнивания 1, выдерживания 2, парашютирования 3 и пробега 4. К концу участка выравнивания вертикальная скорость приземления ВС снижается до безопасной. На участке выдерживания ВС совершает горизонтальный полет на высоте 0,5-1 м с целью уменьшения горизонтальной скорости до допустимой величины. При парашютировании ВС двигается по криволинейной траектории до момента касания ВПП. После приземления начинается заключительный участок этапа посадки – пробег, завершающийся полной остановкой ВС с последующим рулением до остановки на стоянке (участок *ик*). Горизонтальное расстояние от порога ВПП до точки полной остановки ВС называется посадочной дистанцией. Следует отметить, что в зависимости от типа ВС и условий посадки участков выдерживания и парашютирования может и не быть.

Особым этапом полета является уход на второй круг. Он осуществляется в тех случаях, когда в силу различных причин (например, отсутствие визуальной видимости на высоте принятия решения о посадке, возникновение непредвиденных и превышающих допустимых отклонений от заданной траектории) становится невозможным совершить посадку ВС. На второй круг ВС может уходить на любом участке этапов захода на посадку и посадки, включая участок выравнивания. Основным ограничением при этом является высота принятия решения $H_{пр}$ при уходе ВС на второй круг. Управление ВС при уходе на второй круг отличается от управления на этапе начального набора высоты только начальными условиями.

3.3. Основы организации воздушного пространства

ВП государства используется не только для полетов ГА, но и в интересах других ведомств, связанных с полетами военной авиации, с запусками космических объектов, с облетом газо- и трубопроводов, лесов, автомагистралей и т.п.

Для того, чтобы удовлетворить потребности всех пользователей ВП, установлена определенная структура ВП. Цель ее – создать благоприятные условия для каждого пользователя ВП при обеспечении высокого уровня безопасности полетов (БП), эффективности и своевременности выполнения ими своих задач.

Для этого в ВП выделяются два объема. В одном из них разрешаются полеты ВС, в другом – запрещается какая-либо деятельность, связанная с использованием ВП.

В пространстве, где разрешаются полеты, выделяются определенные элементы, показанные на рис.3.3, образующие структуру ВП для ГА.

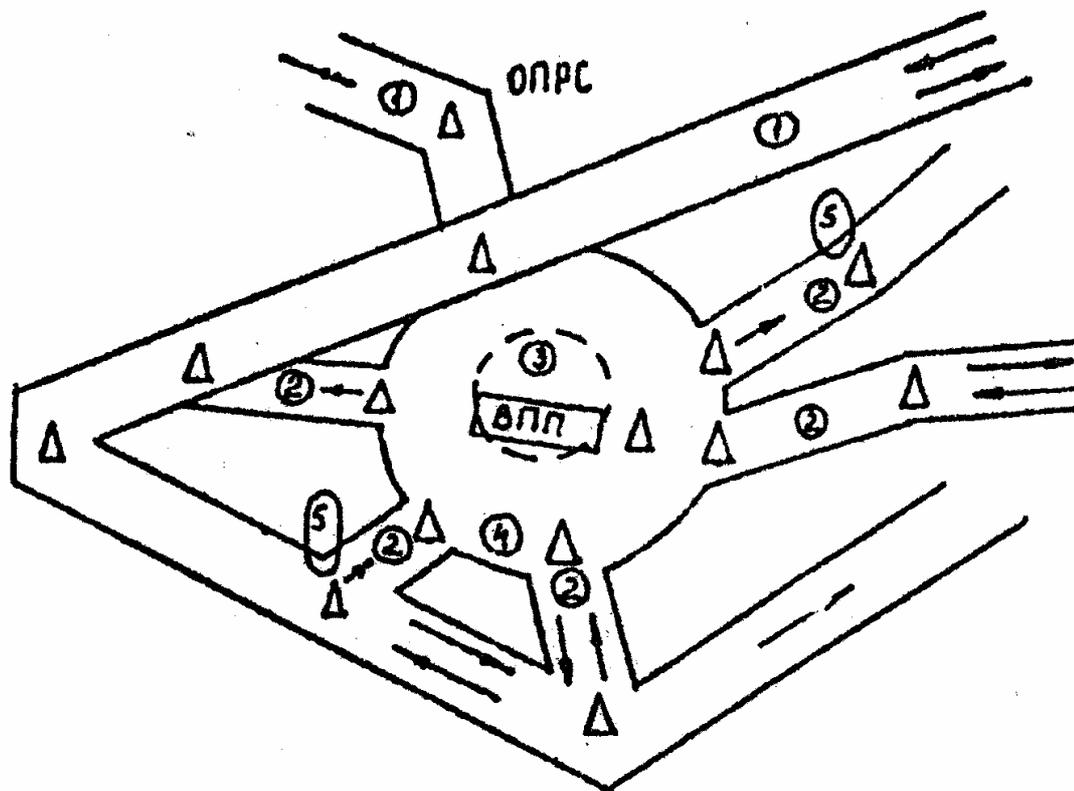


Рис. 3.3. Основные элементы структуры воздушного пространства:
1- воздушные трассы; 2 – коридоры района аэродрома; 3 - зона взлета и посадки (круга); 4 - границы района аэродрома; 5- зона ожидания; ОПРС – отдельная проводная радиостанция; ВПП – взлетно-посадочная полоса.

Для постоянных полетов между определенными городами (аэропортами) устанавливаются воздушные трассы, оборудованные необходимыми радиотехническими средствами для навигации и управления воздушным движением (УВД). В зависимости от тактико-технических характеристик (ТТХ) эксплуатируемых на каждой трассе ВС, воздушные трассы имеют определенную ширину (в пределах, как правило, 8-10 км) и диапазон высот, связанный с оптимальным диапазоном высот полета для эксплуатируемых ВС. Обычно стремятся к тому, чтобы два крупных аэропорта, имеющие между собой авиатранспортные связи, соединились трассой, имеющей наименьшее расстояние и наименьшее количество участков, ее составляющих. Этого не всегда можно достигнуть либо из-за необходимости обеспечить безопасное разделение полетов по трассе от различных зон, используемых другими пользователями, либо из-за

ограниченных возможностей устанавливать на земле средства навигации и УВД по линии кратчайшего расстояния. В таких случаях воздушная трасса представляет собой совокупность отдельных участков, примыкающих друг к другу под различными углами и имеет ломанный характер.

ВС на трассе, как правило, находятся в крейсерском полете, т.е. следуют в горизонтальном полете на оптимальной в каждом случае скорости.

По данным ИКАО в настоящее время на крейсерские полеты приходится около 75% летного времени.

ВП, где осуществляются остальные этапы полета, относится, в основном, к району аэродрома. Это ВП примыкает непосредственно к аэропорту, имеет размеры, как правило, в пределах 50-100 км от аэропорта в горизонтальном измерении и до 4500-6000 м в вертикальном. Эти размеры определяются, прежде всего, летно-техническими характеристиками эксплуатируемых на аэродроме ВС, направлением подхода воздушных трасс к аэродрому, схемами предпосадочного маневрирования, количеством и направлением ВВП, тактико-техническими характеристиками радиотехнических средств навигации и УВД, а также особенностями использования ВП вблизи аэродрома, связанными с базированием авиации различных ведомств, с физико-географическими (равнинная, холмистая, горная местность и т.п.), метеорологическими и другими особенностями.

Воздушный коридор - часть ВП, в котором ВС снижаются и набирают высоту.

При близком расположении нескольких аэродромов воздушное пространство над ними объединяется в район аэроузла.

В районе аэродрома (аэроузла) воздушные суда находятся на этапах взлета, набора высоты, снижения, захода на посадку и посадки. Исходя из особенностей самолетовождения на каждом из этих этапов в районе аэродрома (аэроузла) выделяются следующие структурные элементы:

а) коридоры набора высоты и снижения, где ВС набирает высоту (после выхода на заданный курс полета по маршруту) или снижается (для подхода на высоту, с которой начинается маневрирование для захода на посадку). Таким образом, указанные коридоры являются как бы переходной зоной от крейсерского полета по воздушной трассе к высоте маневрирования для захода на посадку («входной коридор» для аэродрома), либо от высоты «круга» (при взлете) до выхода на крейсерский эшелон («выходной» коридор).

В связи с этим входные и выходные коридоры, которые иногда могут и совпадать между собой, зачастую в плане совпадают с отдельными участками воздушных трасс;

б) зона взлета и посадки – воздушное пространство от уровня аэродрома до установленной высоты, обеспечивающей безопасность полета над аэродромом в зависимости от абсолютной высоты последнего, атмосферного давления, наличия естественных и искусственных препятствий вблизи аэродрома и т.п.

В зоне взлета и посадки организуются маршруты взлета и набора высоты круга, а также маршруты захода на посадку (рис. 3.2).

Размеры этой зоны определяются летно-техническими характеристиками эксплуатируемых на аэродроме ВС, оптимальными маршрутами набора высоты и захода на посадку для этих ВС, возможностями радиотехнических средств навигации и УВД и другими специфическими условиями.

Как правило, размеры зоны взлета и посадки в плане простираются на расстояние 25-30 км от аэропорта. Особенно следует выделить предпосадочную прямую. Это ВП ориентировано вдоль продолжения оси ВПП и имеет размеры, зависящие от посадочных характеристик ВС, установленной безопасной высоты полета в зоне взлета и посадки, характеристик радиотехнических и светотехнических средств посадки. Как правило, посадочная прямая удалена от торца ВПП на 15-20 км и ограничена высотой 400-600 м от уровня ВПП.

Экипаж ВС, выполняя полет на предпосадочной прямой, обязан выдерживать в допустимых пределах отклонения от глиссады по вертикали и по горизонтали.

Если по каким-либо причинам не произведена посадка с первого захода, то ВС уходит на второй круг, т.е. двигается по специальному стандартному маршруту в зоне взлета и посадки, называемому по этой причине иногда «зоной круга»;

в) зона ожидания - часть ВП района аэродрома, предназначенного для ожидания разрешения захода на посадку. Это может возникнуть в случае, когда темп прибытия ВС к аэродрому превышает возможности ВПП по осуществлению посадок ВС в отдельные интервалы времени, либо из-за неготовности ВПП к посадке в какой-либо кратковременный период.

3.4. Основные положения организации воздушного движения

Если бы в ВП осуществлялся полет одиночных ВС, маршруты которых не пересекались бы между собой, то очевидно, приведенных выше элементов структуры ВП было бы вполне достаточно для безопасности и эффективного выполнения полета. Рассчитанный или скорректированный экипажем в процессе подготовки и выполнения план полета выполнялся бы без каких-либо ограничений. Однако в действительности этого не происходит, так как в ВП одновременно находится большое количество ВС различных ведомств, выполняются другие работы с использованием ВП. Для того, чтобы обеспечить безопасность полетов в таких условиях, создана специальная система организации воздушного движения (ОрВД). Она представляет собой комплекс действий наземных служб (движения, эксплуатации радиотехнического оборудования и связи и др.) и экипажей ВС, направленных на обеспечение безопасности, регулярности и экономичности каждого полета в общей совокупности находящихся (или планируемых) в

воздухе ВС при эффективном использовании ВП с учетом задач, решаемых различными его потребителями.

Первой фазой решения задач ОрВД является организация воздушного движения (ВД), исходя из потребностей и особенностей выполнения полетов, описанная выше.

Второй фазой ОрВД является планирование использования ВП и ВД, которое осуществляется на основе поданных заявок на использование пространства (в том числе и полеты) и недопущения перегрузок системы ОрВД. Особенность этой фазы заключается в том, что решаемые задачи не связаны с реальной воздушной обстановкой. Она как бы подготавливает благоприятные условия для осуществления управления ВД, являющегося третьей фазой ОрВД. УВД осуществляется с целью предупреждения столкновения ВС между собой в воздухе и на земной поверхности, а также для регулирования потока реально находящихся в воздухе ВС, для обеспечения решения задач, поставленных перед каждым полетом. В процессе УВД диспетчер службы движения постоянно контролирует движение всех ВС, находящихся под его управлением, дает необходимые команды и информацию экипажам ВС, поддерживая с ними радиосвязь по установленным правилам и фразеологии радиообмена.

На каждом этапе полета имеются свои особенности самолетовождения, их необходимо учитывать при организации УВД. Создаются различные органы УВД, которые решают свои задачи применительно к различным этапам полета. В табл. 1 представлены эти органы УВД и этапы полета, на которых они осуществляют УВД.

Таблица 1

<i>ОРГАНЫ УВД</i>	<i>ЭТАПЫ ПОЛЕТА</i>
Диспетчерский пункт руления	Руление ВС по летному полю аэродрома_
Диспетчерский пункт старта	Взлетно-посадочная полоса и последний участок предпосадочной прямой
Диспетчерский пункт круга	Взлет и заход на посадку
Диспетчерский пункт посадки	Посадка
Диспетчерский пункт подхода	Набор высоты и снижение с эшелона для захода на посадку
Районный центр	Крейсерский полет_

3.5. Полный цикл управления движением воздушного судна

ВС в полете непрерывно находится под управлением какого-либо диспетчерского пункта службы УВД. Во внеаэродромном ВП – это районные центры (РЦ); на местных воздушных линиях – местные диспетчерские пункты (МДП); в районе аэродромов при полетах ВС по коридорам, маршрутам набора высоты и снижения, а также в зонах ожидания – это диспетчерские пункты подхода (ДПП); в зоне взлета и посадки – это

диспетчерский пункт системы посадки (ДПСП), включающие, как правило, диспетчеров круга и посадки, осуществляющих УВД по маршрутам захода на посадку и на посадочной прямой. ВПП и ближайшие подступы к ней находятся в ведении стартового диспетчерского пункта (СДП); движением ВС по аэродрому управляет диспетчерский пункт руления (ДПР). Планы вылетов из аэропортов с учетом складывающейся воздушной обстановки разрабатывают аэродромные диспетчерские пункты (АДП). Еще задолго до начала полета информация о нем поступает в систему УВД в виде плана полета. Примерно за 1-1,5 часа до вылета экипаж должен явиться к диспетчеру АДП для согласования условий полета, доложить о готовности выполнять полет и получить диспетчерское разрешение на вылет.

Полный цикл УВД ВС показан на рис. 3.4.

В соответствии с запланированным временем вылета экипаж получает от диспетчера руления разрешение на начало движения и условия руления от места стоянки к предварительному старту, расположенному на удалении 50-100 м от ВПП. Диспетчер старта дает разрешение на занятие исполнительного старта и на взлет. После взлета и набора высоты 200 м ВС переходит под управление диспетчера круга, который сообщает экипажу условия входа ВС на траекторию набора высоты. После пролета границы зоны взлета и посадки управление движением осуществляет диспетчер подхода (диспетчер ДПП).

Однако еще до приема ВС на управление этот диспетчер имеет информацию о нем от диспетчера АДП. При установлении радиосвязи с экипажем взлетевшего ВС диспетчер подхода передает ему условия выхода из района аэродрома.

На протяжении всего времени нахождения ВС под управлением диспетчера подхода он обеспечивает безопасность движения регулированием интервалом между всеми ВС, а также предотвращением отклонений от установленных маршрутов. Кроме того, диспетчер подхода согласовывает условия выхода ВС с диспетчером РЦ. После пролета границы аэродрома экипаж переходит под управление к диспетчеру РЦ, который знает фактические данные о движении этого ВС от диспетчера подхода. При сообщении экипажа о входе в район УВД диспетчер РЦ уточняет его место, как правило, с помощью наземного радиолокатора и передает на борт условия полета по трассе. В процессе УВД диспетчер РЦ должен постоянно знать местонахождение каждого ВС и в любой момент времени передать нужную команду. Диспетчер РЦ при полетах по правилам полетов по приборам (ППП) обязан обеспечивать выдерживание экипажами интервалов эшелонирования, а также не допускать отклонений от установленных воздушных трасс.

При появлении тенденции к сокращению интервалов между ВС менее допустимых диспетчер УВД должен принять меры по предупреждению сближения.

После получения от экипажа сообщения о расчетном времени выхода из района УВД диспетчер РЦ уточняет его и не позднее чем за 10-15 минут

до выхода ВС из района УВД согласовывает с диспетчером смежного РЦ время и эшелон выхода ВС в смежный район УВД. Такой процесс повторяется на

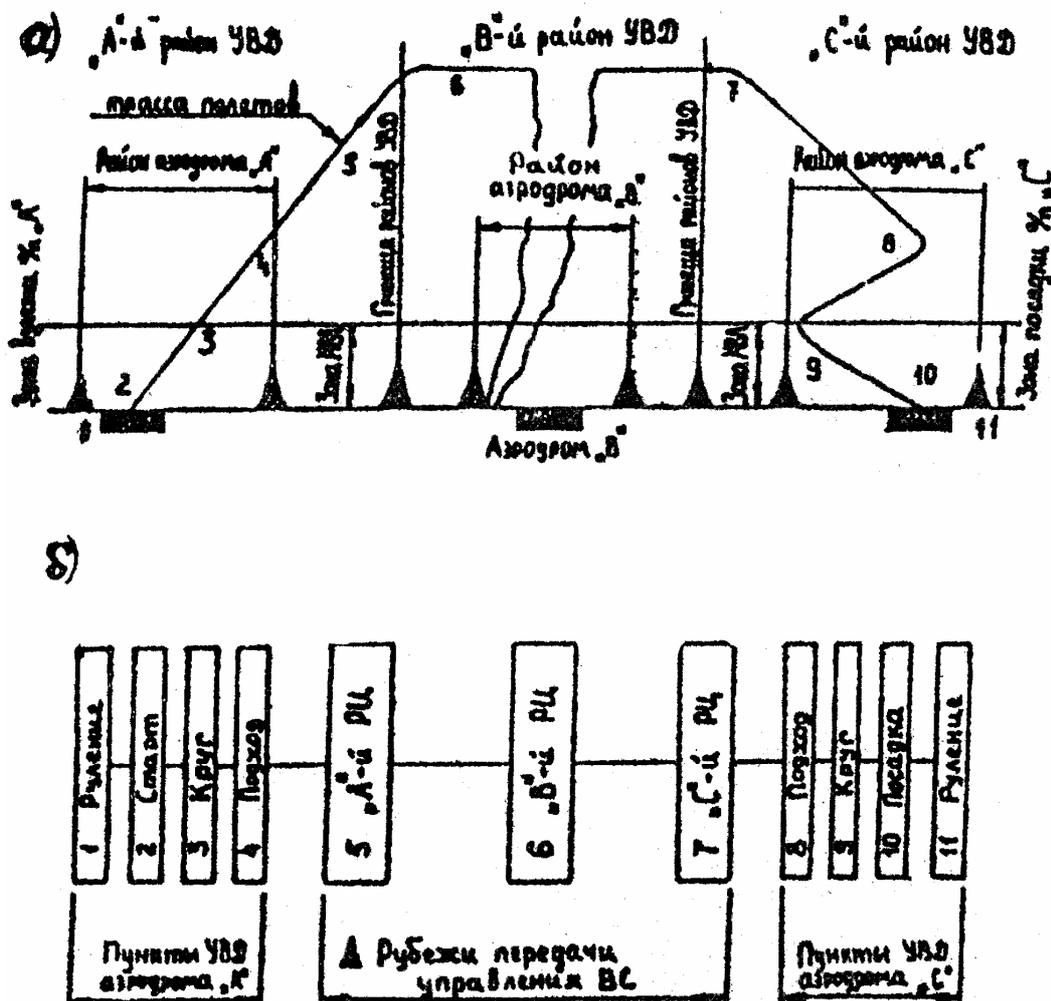


Рис. 3.4. Схема УВД ВС от взлета до посадки в различных зонах УВД (а), диспетчерскими пунктами (б)

границах между всеми смежными районами УВД, через которые ВС выполняет транзитный полет. При этом диспетчер РЦ и экипаж обязательно устанавливают радиосвязь при пролете границ районов УВД, пунктов обязательных донесений и достижении заданных эшелонов, а также во всех случаях по требованию экипажа или диспетчера. После входа ВС в район УВД, в котором расположен аэродром посадки, экипаж под руководством командира за 5-10 минут до начала снижения производит предпосадочную подготовку. В нее входят:

получение информации о метеорологической обстановке на основном и запасных аэродромах;

расчет остатка топлива, посадочного веса и центровки, рубежей начала снижения и безопасной высоты, элементов захода на посадку и др.

Разрешение на начало снижения экипаж получает от диспетчера РЦ, который исходя из сложившейся воздушной и метеорологической обстановки и по согласованию с диспетчером подхода назначает экипажу условия входа ВС в район аэродрома. После пролета границы района аэродрома ВС переходит под управление диспетчера подхода, который при докладе экипажа о входе ВС в район аэродрома обязан опознать его с помощью наземных радиотехнических средств и передать на борт информацию, необходимую для выполнения маневра захода на посадку (магнитный курс посадки, условия снижения и подхода к аэродрому, направление в зону ожидания и т.п.). Постоянно контролируя движение ВС, диспетчер подхода согласовывает с диспетчером круга условия входа ВС в зону взлета и посадки. При достижении ВС установленного рубежа диспетчер подхода дает указание экипажу о переходе на связь с диспетчером круга. После перехода под управление диспетчера круга экипаж получает от него условия захода на посадку. Диспетчер круга обязан непрерывно контролировать с помощью наземных технических средств соответствие маршрута захода на посадку по установленной схеме и при отклонении от схемы информировать об этом экипаж. Одной из основных задач диспетчера круга является контроль за сохранением безопасных интервалов между ВС и принятие мер по предупреждению опасных сближений. Кроме того, диспетчер круга согласовывает с диспетчером посадки темп и место подхода ВС к посадочной прямой и дает экипажу указание о переходе на связь с диспетчером посадки. Диспетчер посадки после выхода на связь с ним экипажа определяет положение ВС относительно установленной схемы захода на посадку, информирует экипаж об удалении ВС от начала ВПП. В процессе полета ВС по предпосадочной прямой диспетчер посадки постоянно контролирует положение его относительно глиссады по вертикали и горизонтали, а при наличии отклонения дает указания для выхода ВС на заданную траекторию или сообщает экипажу величину этих отклонений для принятия решения о продолжении захода на посадку или уход на второй круг. После пролета ближнего приводного радиомаяка (БПРМ) с момента визуального обнаружения ВС управляет движением диспетчер СДП. Диспетчер СДП до визуального обнаружения ВС постоянно прослушивает радиообмен экипажа с диспетчером посадки, убеждается, что ВПП свободна и после выхода ВС на визуальный полет разрешает посадку, продолжая контролировать его положение относительно оси ВПП. После посадки диспетчер СДП наблюдает за пробегом ВС по ВПП и дает указание о порядке ухода с нее. Освободив ВПП, ВС переходит под управление к диспетчеру руления, от которого экипаж получает информацию о порядке руления к месту стоянки.

3.6. Назначение и методы контроля воздушного движения

Контроль ВД является неотъемлемой составной частью технологии работы диспетчеров каждого пункта УВД. Необходимость контроля

обусловлена неизбежными отклонениями каждого ВС от заданной диспетчером бесконфликтной пространственно-временной траектории, учитывающей складывающуюся (развивающуюся) воздушную обстановку в секторе (районе, зоне) управления и обеспечивающую безопасность (соблюдение установленных норм эшелонирования) и экономичность полета. Эти отклонения являются следствием многих заранее непредвиденных причин, носящих, как правило, случайный характер. Главные из них заключаются в изменениях условий воздушного движения, особенно поля ветра, и в недостаточной точности самолетовождения.

Основными элементами контроля воздушного движения являются:

- постоянное наблюдение за фактическим выдерживанием каждым ВС заданной пространственно-временной траектории движения каждого ВС;
- сопоставление фактических траекторий движения с запланированным (заданным) с целью выявления отклонений от них;
- оценка обнаруженных отклонений с точки зрения безопасности (нарушение или тенденция к нарушению норм эшелонирования, отклонение за пределы установленной ширины коридора и т.п.) и экономичности (следование на экономически невыгодных эшелонах и режиме) полета.

В результате контроля диспетчер (или вычислительное устройство) должен получить данные, необходимые для дальнейшего анализа воздушной обстановки с целью принятия решения по регулированию движения каждого ВС и всего ВД в целом и передачи его в виде команд (указаний, информации) экипажу и соответствующим органам УВД (смежному диспетчерскому пункту, ведомственным пунктам управления).

Отсутствие данных о фактическом состоянии ВД в секторе (районе, зоне) управления и траекториях каждого ВС создает условия для возникновения опасных ситуаций, для избежания которых приходится либо применять завышенные нормы продольного эшелонирования, либо задерживать ВС в воздухе (либо на земле). Это приводит к снижению эффективности использования ВП (т.е. снижению его пропускной способности), экономичности и регулярности полетов.

Контроль за ВД должен удовлетворять следующим основным требованиям.

Оперативность, т.е. время, затрачиваемое на выявление и отображение информации о фактической траектории (местоположении) и скорости ВС, должно быть, по возможности, достаточно малым с тем, чтобы получаемая в результате контроля «картина» воздушной обстановки как можно меньше «устаревала». Оперативность контроля тесно связана с частотой получения (обновления) информации о каждом ВС, которая должна быть такой, чтобы в промежутке времени между двумя последовательными моментами времени его поступления не могли возникнуть новые существенные изменения воздушной обстановки. Требования к оперативности контроля неизбежно возрастают с увеличением интенсивности полетов и скоростей (горизонтальных и вертикальных) ВС.

Объективность, т.е. получаемая информация должна быть максимально независимой от субъективных ошибок диспетчеров, экипажей ВС и других лиц, участвующих в процессе сбора и обработки информации.

Точность, т.е. используемые методы и средства измерения (получения), передачи и отображения информации на рабочих местах диспетчеров должны обеспечивать достаточно высокую точность измеряемых величин.

Информативность, т.е. используемая информация должна иметь достаточно полные сведения о каждом ВС и общей воздушной обстановке, позволяющей принимать обоснованные решения по каждому эпизоду ВД.

Полнота, т.е. используемая информация должна гарантировать от пропуска (исключения) хотя бы одного ВС, находящегося под управлением. Кроме того, требование полноты включает необходимость отражения информации о метеорологической и режимной обстановках, без чего нельзя принимать правильных решений по регулированию ВД.

Надежность, т.е. контроль должен иметь высокую степень надежности в различных условиях выполнения полета и работы диспетчеров, быть устойчивым по отношению к каким-либо помехам.

Наглядность, которая заключается в том, что результаты контроля должны представляться (отображаться) в форме, приемлемой для дальнейшего использования диспетчером, независимо от того, будет ли дальнейшая обработка информации «ручной» или автоматизированной. Для контроля за ВД в целом необходимо, прежде всего, обеспечить контроль за полетом каждого ВС, т.е. иметь возможность определять фактические элементы его движения.

В принципе существуют три различных метода получения на пункте УВД информации о положении ВС в данный момент времени:

метод передачи данных о координатах, навигационных параметрах (курс, высота, скорость) и плане полета экипажем ВС или специальным устройством на борту;

метод определения координат ВС и необходимых параметров полета с помощью наземных радиотехнических средств или специальных вычислителей (радиотехнических средств), работающих автономно или совместно с бортовыми средствами;

метод сличения пути ВС по известным или предполагаемым навигационным элементам является фактическим дополнением к первым двум, т.к. самостоятельное применение может находить лишь в промежутках между поступлениями информации о фактической траектории движения, получаемой по указанным выше двум методам.

Метод контроля по докладам экипажа применяется со времени внедрения авиационной воздушной связи и в настоящее время является обязательным в каждом полете.

В простейшем случае он заключается в периодических радиодонесениях экипажа в соответствии с установленными правилами. На пункте УВД полученные данные фиксируются и используются в дальнейшем для анализа воздушной обстановки и принятия решения.

Положительным при данном методе является его сравнительная простота и дешевизна, достаточная полнота получаемой информации и высокая надежность при ее передаче. Точность метода может быть различной, так как она целиком зависит от возможностей технических средств навигации, квалификации экипажа. На точность оказывает также влияние скорость полета и интенсивность ВД, так как при необходимости передачи информации и высокой интенсивности ВД канал связи «борт-земля» может быть загружен, и за возможное время ожидания и передачи информации ВС может пройти значительное расстояние и изменить параметры своего полета.

Большим недостатком данного метода является также его недостаточная оперативность, малая частота передачи информации и подверженность субъективным ошибкам экипажа при составлении и передаче данных о полете.

Требуемая полнота информации по всем ВС, находящимся на управлении диспетчера, на основе этого метода очень затруднительна, так как требует большого объема радиообмена и страдает органическим недостатком – неодновременностью поступления данных от разных ВС, что очень усложняет общую оценку воздушной обстановки.

Наглядное представление получаемой от экипажа информации также усложнено, требует специальных приспособлений (планшетов, табло, графиков и т.п.) и дополнительного времени на ее нанесение и осмысление.

Метод контроля с помощью радиотехнических средств получил распространение в начале второго этапа развития системы УВД, когда стали широко использоваться наземные радионавигационные и радиолокационные средства. К основным из этих средств относятся:

- а) наземные радиолокационные станции (обзорные, посадочные, обзора летного поля);
- б) автоматические радиопеленгаторы;
- в) системы ближней навигации.

Перечисленные радиотехнические средства обладают различными свойствами и возможностями при контроле ВД, но имеют и общие черты, основными из которых являются:

- а) высокая оперативность получения информации о фактических параметрах движения ВС;
- б) достаточно высокая степень объективности данных;
- в) высокая точность информации и независимость ее от использования канала радиосвязи «диспетчер-экипаж» («борт-земля»);
- г) надежность наземных средств контроля, как правило, выше чем бортовых;
- д) полнота информации о состоянии ВД в определенный момент времени обеспечивается значительно проще;
- е) обеспечивается возможность наглядного представления информации о местонахождении каждого ВС и всей воздушной обстановки в целом;

К существенным недостаткам метода относятся ограничения по дальности и высоте действия радиотехнических средств, необходимость более сложных и дорогостоящих устройств для решения задачи контроля.

Использование глобальных систем навигации и связи с применением ИСЗ в значительной мере снимает эти недостатки, но такие системы очень дороги и поэтому, а также по некоторым другим основаниям, они в ГА РФ пока находят очень ограниченное распространение (в основном, только в тех районах, где по природным условиям трудно организовать необходимое традиционное наземное радиотехническое обеспечение полетов). В настоящем пособии ознакомление с работой таких систем не предполагается.

Описанные выше методы, как правило, дают представление о положении ВС в заданный (или близкий к нему) момент времени и не позволяют представить воздушную обстановку и ее развитие в секторе (районе, зоне) управления на определенное время вперед. Поэтому каждый из этих методов нуждается в дополнении методом, который бы на основе информации о фактическом местоположении и скоростях движения ВС, получаемой от экипажей с помощью радиотехнических средств, давал бы расчетные данные о взаимном положении всех ВС на любые моменты времени.

Таким и является метод сличения пути (траекторий). Он основан на предположении, что в ближайшие будущие отрезки времени характер движения каждого ВС сохранится. Грамотное применение этого метода позволяет приводить местонахождения всех ВС к одним и тем же будущим моментам времени и, таким образом, решать вопросы контроля ВД и безопасности полета каждого ВС.

4. Определение местоположения ВС

Обеспечение требуемого уровня безопасности и регулярности полетов ВС ГА возможно только при условии, что экипаж ВС и задействованные наземные службы будут иметь достоверную информацию о местонахождении ВС в ВП в любой момент времени в течение всего полета. Определение местоположения ВС сводится к определению его координат теми или иными методами.

4.1. Системы координат

Местоположение ВС определяется его координатами в выбранной системе координат. Из множества систем координат обычно выбирается та, в которой легче и точнее решается конкретная навигационная задача.

В двумерной ортогональной прямолинейной (декартовой) системе координат ее оси X и Y определяют плоскость. При решении навигационных задач она находит ограниченное применение как из-за ошибок, возникающих при замене сферических участков земной поверхности плоскими, так и из-за трудностей непосредственного измерения координат x и y ВС.

В двумерной полярной системе координат (ее центр называется полюсом) координатами точки являются расстояние от полюса до точки (радиус-вектор r) и угол λ между условным начальным направлением (например, северным) и радиус-вектором r . Это также ортогональная система, так как координатные линии $r = \text{const}$ (**окружность**) и $\lambda = \text{const}$ (прямая) пересекаются под прямым углом. Координаты точки (цели) могут быть непосредственно измерены, например, двухкоординатным радиолокатором (полагая, правда, что наклонная и горизонтальная дальности до цели отличаются мало).

Трехмерная сферическая (полярная) система координат имеет центр, полярную ось и принятые в математике координаты (рис. 4.1):

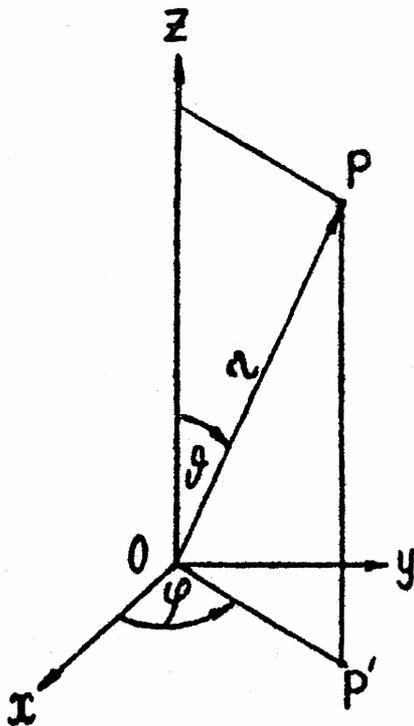


Рис. 4.1. Сферические координаты в математике

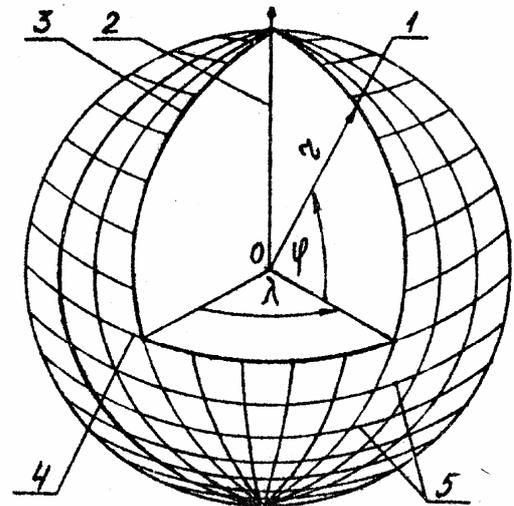


Рис. 4.2. Сферическая система координат в навигации:
1- радиус-вектор; 2 – полярная ось; 3 – начальный меридиан; 4 – экватор; 5 – параллели.

r – длина радиус-вектора, φ – долгота, ϑ – полярное расстояние.

Координатная поверхность при $r = \text{const}$ – сфера с центром в начале координат. В географии и в навигации принято начало координат совмещать с центром Земли, и приняты несколько иные отсчет и обозначения координат (рис. 4.2.): сферическая широта φ – угол между горизонтальной плоскостью и радиус-вектором из центра сферы на цель, сферическая долгота λ – угол между плоскостью начального вертикального большого круга и плоскостью вертикального большого круга, проходящего через цель. Система – криволинейная, ортогональная.

Географическая система координат подобна сферической. Разница в том, что сфера заменена эллипсоидом вращения, как наиболее близким по форме к телу Земли. При этом вертикальные большие круги заменяются эллипсами. Линии их пересечения с эллипсоидом (сферой) называются меридианами, начальный меридиан – Гринвичский. Линия пересечения горизонтального большого круга с эллипсоидом (сферой) – экватор, а линии пересечения других горизонтальных кругов с эллипсоидом (сферой) – параллели. Соответственно φ - географическая широта, λ - географическая долгота. От экватора к северному полюсу φ - широта положительная, к южному полюсу φ - широта отрицательная. На восток от Гринвича - долгота восточная (положительная), на запад от Гринвича - долгота западная (отрицательная).

В районах, близких к экватору, меридианы практически параллельны (их схождение мало) и вместе с параллелями могут на небольших участках экватора представлять систему координат, близкую к декартовой XY, удобной для расчетов и отображения информации. Этого нельзя сказать о районах, расположенных в высоких широтах.

На помощь приходит ортодромическая система координат. Ортодромией называется дуга большого круга (эллипса), соединяющая начальную и конечную точки маршрута ВС. В этой системе граница большого круга (эллипса), частью которой является ортодромия, называется условным экватором. Граница большого круга (эллипса), проходящего через начальный пункт маршрута перпендикулярно условному экватору, называется условным начальным меридианом. Таким образом, ортодромическая система координат подобна географической (сферической), повернутой так, что весь маршрут полета ВС оказывается в зоне, где можно применять условную систему координат XY с началом в начальном пункте маршрута, осью Y, совпадающей с ортодромной, и осью X, совпадающей с условным начальным меридианом.

Сферическую систему координат удобно использовать, например, и при работе наземного трехкоординатного радиолокатора. В этом случае начало координат расположено в точке, где находится его антенна, полярная ось вертикальна; угловое положение цели в горизонтальной плоскости (азимут) отсчитывается от направления на север, угловое положение цели в вертикальной плоскости (угол места) отсчитывается от горизонтальной плоскости. Возможны и другие системы координат, используемые для решения навигационных задач, исходя из их специфики. Например, гелиоцентрическая система координат используется, главным образом, в космической аэронавигации. Параметры всех систем координат могут быть пересчитаны из одной в любую другую.

4.2. Линии и поверхности положения

Иногда определить (измерить) непосредственно координаты ВС (т.е. координатные линии или поверхности) в выбранной системе координат бывает затруднительно. Проще оказывается определить некоторый параметр, связанный с координатами определенными математическими действиями, и получить так называемую линию (или поверхность) положения. Линии и поверхности положения могут не совпадать с координатными, но могут позволить определить местоположение ВС в выбранной системе координат.

Определение: линия или поверхность положения – это геометрическое место точек на плоскости или в пространстве, для которого справедливо постоянство значения координаты в выбранной системе координат, либо величины, полученной на основе математических действий над этими координатами.

Пример: ВС, принимая радиосигналы, одновременно посланные из разнесенных центров O_1 и O_2 (рис. 4.3), не может определить расстояния до этих центров D_1 и D_2 , но измерив временной интервал между принятыми сигналами, может определить разность этих расстояний $D_1 - D_2$. Это еще не точка местонахождения ВС, но одна из точек гиперболы, так как известно, что геометрическим местом точек, для которых $D_1 - D_2 = \text{const}$, является гипербола. Для разных значений const может быть построено семейство гипербол. Это линии положения, которые можно интерпретировать как преобразованные координатные. Очевидно, что для однозначного определения местонахождения ВС надо иметь еще один центр O_3 посылки сигналов, расположенный на линии O_1O_3 (или O_2O_3), проведенной под некоторым углом к линии O_1O_2 . Определив разность расстояний от центров O_1 и O_3 , до ВС, по ней находим еще одну гиперболу $D_1 - D_3 = \text{const}$, на которой ВС также находится. Таким образом, искомая точка местоположения ВС определяется как точка пересечения двух гипербол.

Надо заметить, что одной из основных функций радиотехнических систем обеспечения полетов (наземных и бортовых) и является определение линии положения.

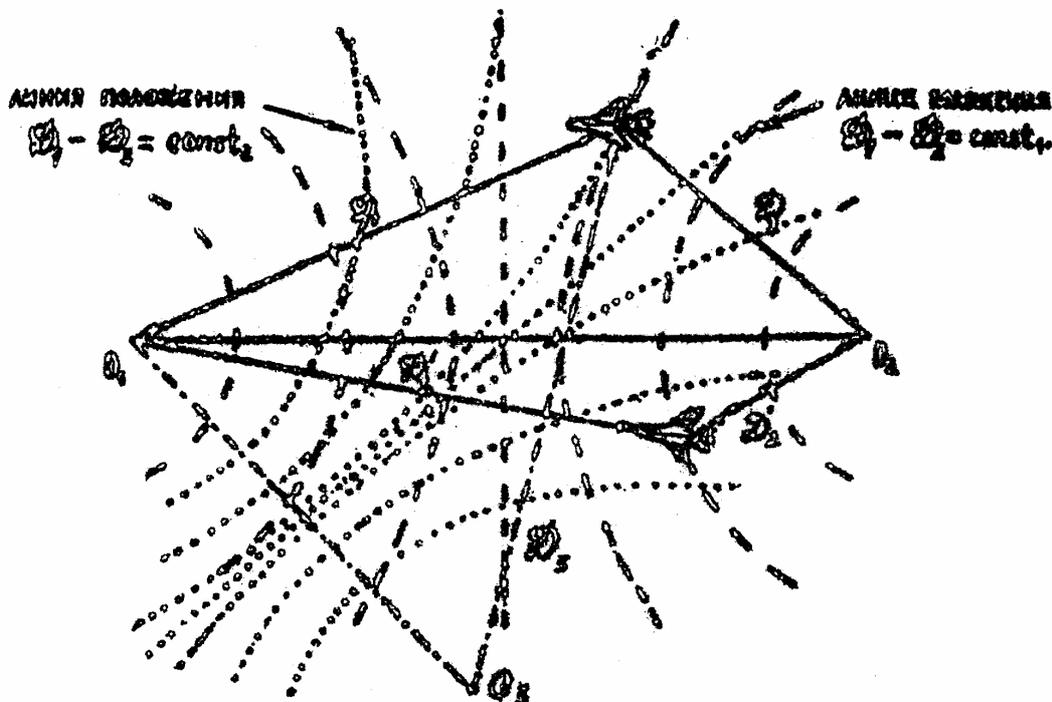


Рис. 4.3. Линии положения при разностно-дальномерном методе.

4.3. Некоторые характеристики сигналов, используемых в радиотехнических системах гражданской авиации

Существует много определений сигнала, отражающих (подчеркивающих) те или иные его свойства.

В радиотехнических системах сигнал – это некоторый колебательный процесс в электромагнитных цепях или полях, выполняющих функции носителя информации.

Используемые сигналы могут быть по длительности непрерывными или прерывистыми, с постоянной или переменной частотой, с неизменной (относительно опорного колебания) или с изменяемой (изменяющейся) фазой, с неизменным или с изменяемым уровнем.

Гармоническими называются колебания, в которых функция $f(t)$ изменяется по закону $f(t) = \sin(\omega t + \varphi_0)$, где ω – некоторый коэффициент пропорциональности между временной и угловой мерами, а φ_0 – некоторая постоянная начальная фаза. Учитывая, что периоду T колебаний во времени соответствует период 2π изменения условий функции, текущее значение угла можно записать как

$$\varphi(t) = \frac{2\pi}{T}t = 2\pi f t = \omega t, \quad (4.1)$$

где $\omega = 2\pi f$ – коэффициент, называемый угловой частотой.

Графически гармонические колебания могут изображаться как функции от t , так и от ωt .

Частота и период колебаний связаны с длиной волны соотношением

$$\lambda = cT = c/f, \quad (4.2)$$

где λ – длина волны, c – скорость света ($c=3 \cdot 10^8$ м/с), T – временной период колебаний, f – частота колебаний.

Радиоволны классифицируются по диапазонам (табл. 2).

Диапазоны радиоволн по частотам

Диапазон		Частота	Длина волн
Сверхдлинные		3-30 кГц	10^5 - 10^4 м
Длинные		30-300 кГц	10^4 - 10^3 м
Средние		0,3-3 МГц	10^3 -100 м
Короткие		3-30 МГц	100-10 м
Ультракороткие	Метровые	30-300 МГц	10-1 м
	Дециметровые	0,3-3 ГГц	100-10 см
	Сантиметровые	3-30 ГГц	10-1 см
Крайне высокие частоты	Миллиметровые	30-300 ГГц	1-0,1 см

Уровень (величина) гармонического колебания характеризуется его максимальным мгновенным значением – амплитудой. Например, $u(t) = U \sin(\omega t + \varphi_0)$, где U – амплитуда.

Характеризовать величину негармонических сигналов принято словом «уровень» (от слова «амплитуда», во избежание ошибок, лучше воздерживаться).

Сигнал с неизменными параметрами может быть источником только пассивной информации. Например, о радиостанции, излучающей сигнал с неизменными параметрами, можно сказать, что она работает, можно по известным параметрам сигнала ее опознать, можно определить направление на нее, можно, зная ее мощность и мощность принятого сигнала, весьма приблизительно оценить расстояние от нее, но нельзя передать ни речевую, ни кодовую информацию. Это возможно только тогда, когда изменился один или несколько параметров сигнала активно, или по изменению параметров сигнала в результате изменения ситуации. Например, чтобы запросить конкретное ВС о высоте полета или остатке топлива, надо, чтобы в запросе был закодирован номер борта ВС и вид информации (топливо или высота), которую хотят получить. Кодирование производится изменением параметров запросного сигнала. Далее, в самолетном высотомере разность частот прямого и отраженного сигнала пропорциональна высоте полета – параметры результирующего сигнала изменяются при изменении высоты.

В радиотехнических системах широко используется измерение расстояния R , пройденного электромагнитной волной с постоянной скоростью c по отчету времени $(t_2 - t_1)$ между принятыми и посланными сигналами

$$R = c(t_2 - t_1) \quad (4.3)$$

Временной задержке Δt сигнала при его распространении соответствует запаздывание его по фазе на расстоянии Δl .

$$\Delta \varphi = \Delta l \cdot 2\pi / \lambda = k\Delta l \quad (4.4)$$

где $k = 2\pi/l$ - так называемая постоянная распространения или волновое число.

4.4. Направленные свойства антенны

Антенны служат для передачи радиоволн от передатчика в окружающее пространство (эфир) и для приема их из эфира приемником.

Требования к антеннам радиотехнических устройств (РТУ) разного назначения могут быть различными. В одних РТУ их излучение (прием) должно быть одинаковым во всех направлениях (т.е. ненаправленным, или всенаправленным), в других – более или менее узким объемным пучком (т.е. направленным). Пучок может быть или не быть осесимметричным (рис.4.4). Направление свойства антенны описываются ее характеристикой направленности (ХН).

ХН антенны называется зависимость интенсивности излучения (приема) от направления. ХН – характеристика объемная, изображать ее на плоскости затруднительно. Обычно ограничиваются ХН во взаимно перпендикулярных плоскостях (например, вертикальной и горизонтальной), пересекающихся по линии распространения волны.

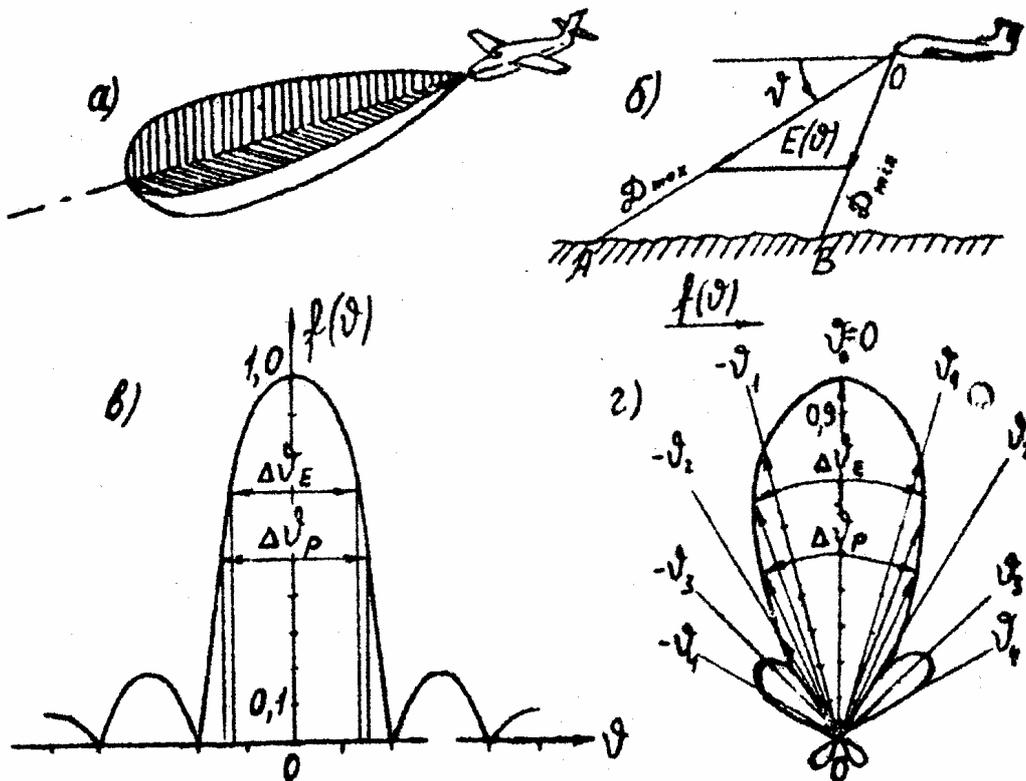


Рис. 4.4. Диаграммы направленности антенн:
 а – объемное изображение; б – косеканская; в- в декартовой системе координат; г – в полярной системе координат.

Графическое изображение ХН называется диаграммой направленности антенны (ДНА). ДНА могут строиться в декартовой или полярной системе

координат. Интенсивность излучения (приема) может характеризоваться либо напряженностью E электромагнитного поля, либо плотностью потока мощности p . ДНА обычно строятся в относительных единицах.

$$f(\vartheta)_E = E(\vartheta) / E(\vartheta)_{\max} \text{ или } f(\vartheta)_p = P(\vartheta) / P(\vartheta)_{\max}$$

$f(\vartheta)_E$ и $f(\vartheta)_p$ связаны соотношением

$$f(\vartheta)_p = f(\vartheta)_E^{-2} \quad (4.5)$$

ДНА характеризуется формой и шириной. Форма ДНА может быть лепестковой и безлепестковой, ее ширина оценивается шириной главного (самого большого) лепестка. Под шириной ДНА понимается угловой раствор (между направлениями по обе стороны главного максимума), в пределах которого $f(\vartheta)_E$ снижается до уровня 0.707 или $f(\vartheta)_p$ снижается до уровня 0,5. Очевидно, что для каждой антенны $\Delta\vartheta_{p0.5} = \Delta\vartheta_{E0.707}$.

На рис. 4.4,б показана ДНА в вертикальной плоскости, форма которой обеспечивает равные напряженности E поля в разноудаленных точках А и В. Так как напряженность поля обратно пропорциональна расстоянию, очевидно, надо соблюдать соотношение $E_{\max}/E_{\min} = D_{\max}/D_{\min}$. Этому условию удовлетворяет ДНА

$$f(\vartheta)_E = \operatorname{cosec} \vartheta \quad (4.7)$$

Форма ДНА от расстояния не зависит. Если в антенне не применены материалы с нелинейными и анизотропными свойствами, ее ДНА на передачу и на прием одинакова.

Ширина ДНА, в основном, определяется отношением $\Delta(\vartheta) = \frac{\lambda}{l} V$,

где λ - длина волны; l - линейный размер антенны в плоскости рассматриваемой ДНА.

4.5. Использование радиосигналов

Принципиально радиосигналы используются одним из трех способов.

1. Передатчик через направленную антенну посылает сигнал в направлении цели, от которой он отражается (рассеивается) частично в направлении антенны приемника, где и принимается. Возможно и другое - направленной является приемная антенна. Обычно направленными являются обе антенны или, как правило, одна коммутируемая антенна при импульсном режиме работы является и передающей, и приемной. Этот способ широко используется в первичной радиолокации при определении направления на цель и дальности до нее.

2. Передатчик через направленную антенну посылает запросный сигнал в направлении цели (в данном случае – ВС), где принимается антенной приемника, усиливается и является разрешающим (управляющим) сигналом на включение бортового передатчика. Бортовой передатчик через бортовую антенну излучает в окружающее пространство кодированный сигнал,

содержащий затребованную информацию, которая принимается на земле направленной антенной (обычно совмещенной с передающей) и приемником. В отличие от наземных, бортовые антенны – слабонаправленные. Частоты запросного и ответного сигналов могут значительно отличаться. Этот способ широко используется во вторичной радиолокации для определения направления на цель, дальности до нее и получения дополнительной информации от ВС.

3. Передатчик через антенну излучает сигнал, содержащий определенную информацию, в окружающее пространство. В другой точке пространства (на земле или в воздухе) сигнал принимается антенной приемника, где и используется. Этот способ используется в навигации и в радиосвязи.

4.6. Углы, используемые для решения задач навигации, пилотирования и УВД

Для решения названных задач приходится разными средствами определять ряд углов, используемых как на земле, так и на ВС.

Прежде чем дать им определение, необходимо сделать уточняющие замечания. Ряд углов отсчитывается от северного направления меридиана, но меридиан может быть истинным, может быть магнитным (отличающимся от истинного тем сильнее, чем выше северная широта точки наблюдения), может быть начальным (опорным, как при ортодромической системе координат) и т.д. В общем определении углов эти конкретизации иногда опущены. Ниже будут названы не все определяемые углы.

Углы, используемые на земле, следующие.

Азимут ВС (ориентира) – угол в горизонтальной плоскости (в плане) между направлением на север (по истинному меридиану) и направлением на ВС из точки наблюдения. Угол отсчитывается по часовой стрелке от направления на север (рис.4.5).

Угол места ВС (ориентира) – угол в вертикальной плоскости между горизонтальной плоскостью и направлением на ВС из точки наблюдения. Угол отсчитывается от горизонтальной плоскости: в плюс (+) – выше плоскости, в минус (-) – ниже плоскости (рис.4.6).

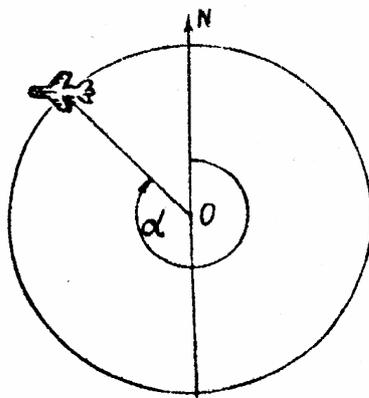


Рис 4.5. Азимут ВС

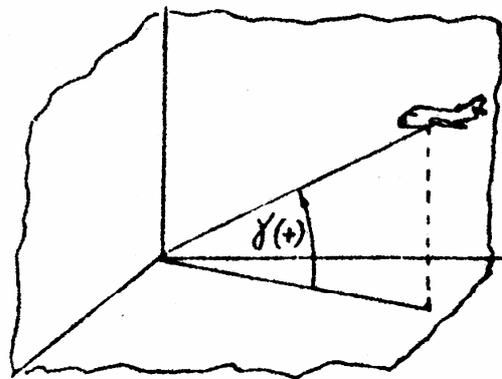


Рис. 4.6. Угол места ВС

Пеленг ВС – угол в плане между северным направлением меридиана истинного или магнитного, проходящего через радиопеленгатор, и направлением на ВС. Угол отсчитывается по часовой стрелке от направления на север. В случае магнитного меридиана различают пеленг прямой и пеленг обратный, когда угол отсчитывается до продолжения направления от ВС на радиопеленгатор.

Путевой угол заданный (фактический) – угол в плане между северным направлением меридиана и линией заданного (фактического) пути. Есть истинный и магнитный путевые углы.

Углы, используемые на борту ВС для навигации, следующие (рис. 4.7).

Азимут ВС, измеренный на борту ВС, имеет тот же физический смысл, что и азимут ВС (ориентира), используемый на земле.

Курс ВС – угол в плане между северным направлением меридиана, проходящего через ВС, и продольной осью ВС.

Курсовой угол радиостанции (ориентира) – угол в плане (КУР) между продольной осью ВС и направлением от него на радиостанцию.

Пеленг радиостанции (ориентира) – угол в плане между северным направлением местного меридиана, проходящего через ВС, и направлением на наземную радиостанцию.

Угол сноса – угол в плане между продольной осью ВС и вектором путевой скорости (направлением движения) ВС. Этот угол возникает тогда, когда надо компенсировать действие бокового ветра на направление движения поворотом ВС вокруг его центра масс.

Углы, используемые при пилотировании, следующие.

Угол тангажа (рис. 4.8) – угол в вертикальной плоскости между продольной осью ВС и горизонтальной плоскостью. Угол тангажа устанавливается пилотом с целью обеспечения необходимой подъемной силы при различных режимах полета.

Угол крена (рис. 4.9) – угол в вертикальной плоскости между прямой, соединяющей концы крыльев ВС, и горизонтальной плоскостью. Маневренность ВС в горизонтальной плоскости в значительной мере определяется допустимым углом крена.

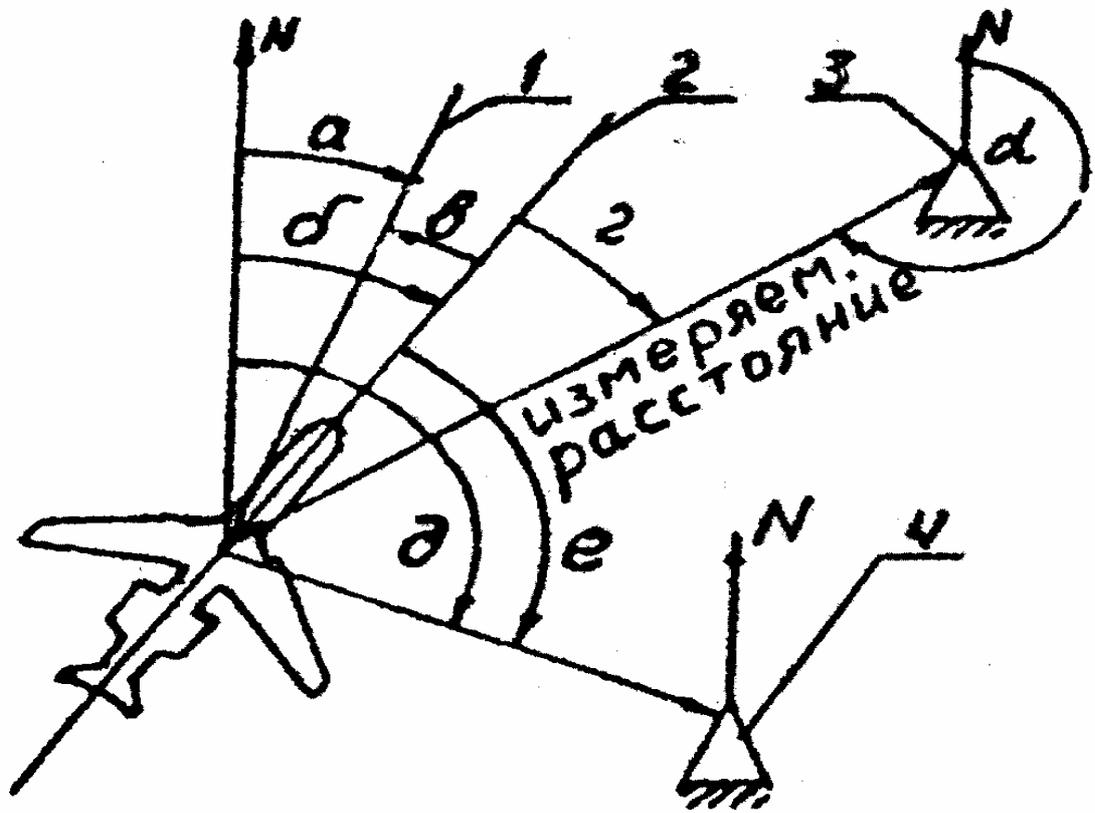


Рис. 4.7. Навигационные углы на борту ВС

1 – линия пути; 2 – продольная ось ВС; 3 – радиомаяк типа РСБН или VOR; 4 – приводная радиостанция; а – путевой угол; б – курс; в – угол сноса; г – курсовой угол радиомаяка; д – пеленг р/станции ; е – курсовой угол р/станции



Рис.4.8 Угол тангажа

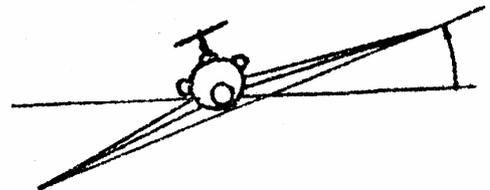


Рис.4.9. Угол крена

4.7. Высоты полета ВС, используемые для решения навигационных задач

Высота полета ВС (Н) – это расстояние по вертикали от определенного уровня до ВС.

Информация о высоте полета ВС необходима и экипажу ВС, и диспетчеру. Экипажу – для выдерживания заданной траектории полета в вертикальной плоскости, предотвращения столкновения с наземными препятствиями, осуществления вертикальных маневров, а также при

решении таких задач, как десантирование, сброс грузов, высотно-монтажные работы и т.д.; диспетчеру – для обеспечения безопасности ВД.

Высота полета ВС измеряется, главным образом, с помощью бортовых систем.

В зависимости от уровня начала отсчета различают высоты: истинную $H_{и}$ (от уровня точки, находящейся непосредственно под ВС), относительную $H_{отн}$ (от уровня порога ВПП, уровня аэродрома, наивысшей точки рельефа и т.п.) и абсолютную $H_{абс}$ (от уровня моря, у нас – Балтийского).

Высота может измеряться радиотехническим или барометрическим способами. Подробнее об этом в соответствующих учебных дисциплинах (УД).

4.8. Скорости полета ВС, используемые для решения навигационных задач

Знание скорости полета ВС является необходимым условием для решения следующих задач:

- обеспечение безопасности и регулярности полета за счет точного выдерживания временного графика полета;

- обеспечение наилучших с точки зрения надежности двигателей и планера режимов полета ВС;

- обеспечение заданных аэродинамических характеристик ВС, что особенно важно при малых скоростях, где эти характеристики особенно сильно зависят от скорости полета;

- обеспечение заданного режима взлета и посадки ВС, а также выполнения предпосадочного маневра.

Информация о скорости полета ВС используется, в основном, при выполнении штурманом расчетов навигационных параметров.

В полете ВС перемещается как относительно воздушной среды, так и относительно земной поверхности. Известно, что скорости и направления перемещения точек поверхности земли и воздушных масс достаточно слабо между собой связаны. Поэтому полет ВС может иметь две скоростные характеристики:

- воздушная скорость (V)* – это скорость ВС, измеренная относительно воздушных масс, зависящая от тяги двигателей, аэродинамических качеств ВС, его полетного веса и плотности воздуха. Воздушная скорость измеряется нерадиотехническими методами. Вектор скорости совпадает с продольной осью самолета;

- путевая скорость (W)* – это скорость ВС, измеренная относительно поверхности земли. Величина этой скорости зависит от воздушной скорости, скорости ветра и его направления.

4.9. Способы измерения расстояний, скоростей и углов радиотехническими системами

Получение (передача) информации с помощью радиосигнала основано на его физических свойствах и на изменении одного или нескольких его параметров по определенным законам. Не описывая работу конкретных радиотехнических систем, лишь проиллюстрируем сказанное примерами.

Радиоволны в пространстве с однородной средой распространяются прямолинейно и с постоянной скоростью c ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с). (В неоднородной среде эти утверждения несколько неточны; в большинстве случаев этим можно либо пренебречь, либо учесть поправками).

Послав короткий радиоимпульс в сторону отражающего объекта и измерив интервал времени t между посылкой прямого и приемом отраженного импульсов, можно определить расстояние D до объекта

$$D = ct/2 \quad (4.9)$$

Этот принцип используется в импульсной радиолокации.

Если посылать в сторону отражающего объекта «непрерывный» сигнал, но с частотой, изменяющейся по линейному закону $f=kt$, то одновременно между частотами посланного прямого и принятого отраженного сигналов будет существовать разница Δf

$$\Delta f = k\Delta t = 2kD/c, \quad (4.10)$$

расстояние D до объекта будет

$$D = \Delta fc/2k \quad (4.11)$$

Этот принцип используется в «непрерывной» радиолокации. Непрерывный монотонно по линейному закону сигнал, разумеется, изменяться не может, - он изменяется так циклически в пределах некоторого периода времени, который не может быть очень большим. Поэтому этот принцип целесообразно использовать для определения сравнительно малых расстояний.

Скорость V полета можно измерить, произведя замеры дальности D_1 и D_2 до объекта через малые, фиксированные интервалы времени Δt , когда можно считать, что $V = \text{const}$,

$$V = (D_2 - D_1) / \Delta t = \Delta D / \Delta t \quad (4.12)$$

Скорость можно также измерить по изменению частоты отраженного сигнала вследствие эффекта Доплера ($f_{\text{отр}} = f \pm f_{\text{доп}}$). Здесь отметим лишь, что $f_{\text{доп}}$ пропорциональна скорости взаимного сближения или удаления источника излучения и объекта ($f_{\text{доп}} \equiv V$).

На земле азимут объекта (ВС) можно определить, используя направленные свойства антенны радиолокатора. При вращении зеркала приемо-передающей антенны отраженный сигнал появится только тогда, когда отражающий объект попадет в узкий створ ее луча (ее характеристики направленности). Если установить ноль градусной шкалы так, чтобы он соответствовал направлению максимума луча антенны на север, то

направление получения максимума отраженного сигнала и будет азимутом объекта, прочитываемым непосредственно по шкале.

По сигналам с земли можно определить азимут ВС и на борту. В момент прохождения направленного луча земной антенны радиомаяка северного направления другая земная ненаправленная антенна излучает в пространство сигнал, который может быть принят антеннами всех ВС, находящихся в зоне действия маяка. Этот сигнал запускает на борту ВС счетчик времени (начало отсчета времени). Когда вращающийся узкий земной луч проходит направление на ВС, сигнал этой антенны принимается на борту ВС и прерывает работу счетчика времени. Время, отсчитанное счетчиком, пропорционально углу поворота зеркала земной направленной антенны от северного направления. Зная стабилизированную угловую скорость Ω вращения зеркала земной антенны, отсчитанное на борту ВС время можно перевести в угол (азимут α)

$$\alpha = \Omega t \quad (4.13)$$

5. Бортовое радиотехническое оборудование воздушных судов

В настоящем пособии задача детального (глубокого) изучения конкретного радиотехнического оборудования (РТО) не ставится - это задача специальных дисциплин. Здесь же основной целью является ознакомление с тем, какое РТО на борту имеется, какие функциональные задачи оно решает и, по возможности, какими методами (или на каких принципах).

РТО, устанавливаемое на борту ВС, обычно подразделяют на три группы- связное, радионавигационное и радиолокационное. Иногда в отдельную группу выделяют оборудование обработки и отображения информации.

По принципу реализации функций бортовое оборудование может являться автономным или работать совместно с наземными радиотехническими системами.

5.1 Связное оборудование

Проводная система внутрисамолетной связи

Основой внутрисамолетной проводной связи являются самолетные переговорные и громкоговорящие системы. Эти системы имеют набор пультов управления по числу абонентов, усилительные устройства и проводную сеть. Основными задачами внутрисамолетной связи являются:

- осуществление переговоров между членами экипажа;
- выход членов экипажа на внешнюю связь через соответствующие радиостанции;
- прослушивание сигналов приемных устройств бортовых навигационных систем;
- вещание музыкальных программ в пассажирские салоны самолета;

запись специальной информации для идентификации нештатных и аварийных ситуаций.

Переговорное устройство внутренней связи имеет абонентские аппараты первого и второго пилотов, штурмана, бортинженера и бортрадиста с авиагарнитурами. К щитку бортпроводника подключается микрофон и микротелефонная трубка. Для прослушивания сигналов радионавигационных систем в проводную сеть подключены выходы автоматического радиокompаса (АРК), инструментальной системы посадки (СП), радиотехнической системы ближней навигации (РСБН), самолетной дальнометрии (СД) и радиовысотомера (РВ). Документирование информации осуществляется с помощью магнитофона, который имеет противоударную конструкцию и теплозащиту. Для выполнения операций по техническому обслуживанию самолета и его систем аппаратура внутренней связи имеет розетки в технических отсеках для подключения авиагарнитуры. Для записи переговоров членов экипажа дополнительно используются выносные микрофоны, установленные в кабине самолета.

Оборудование внешней радиосвязи

Для обеспечения связи экипажа самолета с наземными службами на борту установлены радиостанции двух типов - для работы в диапазоне УКВ и для работы в коротковолновом диапазоне волн. На борту устанавливаются по два комплекта КВ и УКВ радиостанций. Радиостанция УКВ работает в диапазоне частот от 118,0 МГц до 135,975 МГц, в котором частотные рабочие каналы разнесены на 25 кГц или на 8.3 кГц. УКВ радиостанция обеспечивает связь только в пределах прямой видимости, и на высоте полета 10 км дальность связи достигает 350 км. УКВ радиостанция еще называется командной, поскольку, в основном, используется первым и вторым пилотами для связи с диспетчерами УВД. При этом по каналам связи проходит командная (управляющая) информация. В этом же диапазоне волн экипаж получает метеоинформацию.

КВ радиостанция используется экипажем, главным образом, для дальней связи с диспетчерскими пунктами аэропортов на международных и внутренних авиалиниях. Эта радиостанция используется также для связи с диспетчером УВД при отказе УКВ радиостанций. Пульты управления УКВ радиостанциями расположены в зоне видения пилотов управления КВ радиостанций - на приборном щите по правому борту самолета.

5.2. Радионавигационное оборудование

В состав радионавигационного оборудования самолета входят следующие системы:

- аппаратура навигации и посадки;
- радиотехническая система ближней навигации;
- радиодальномер;

радиотехническая система дальней навигации;
 радиовысотомер малых высот;
 автоматический радиоконпас;
 доплеровский измеритель скорости самолета и угла сноса.

Аппаратура навигации и посадки

В составе навигационного комплекса самолета эта аппаратура обеспечивает важнейшую функцию выполнения посадочного маневра. При этом посадка может выполняться в ночное время и в сложных метеоусловиях.

Самолет должен идти на посадку прямолинейно по глиссаде с постоянной скоростью. Известно, что глиссада представляет собой линию пересечения двух плоскостей – вертикальной, проходящей через ось ВПП, и слегка наклонной (угол- $2^{\circ}40''$) к плоскости расположения ВПП, проходящей через перпендикуляр к оси ВПП у ее порога. Первая в пространстве задается курсовыми радиомаяками (КРМ) и определяет курс посадки. Вторая в пространстве задается глиссадным радиомаяком (ГРМ) и определяет угол наклона глиссады. (Предостережение: название «глиссадный» не должно вводить в заблуждение, ГРМ без КРМ глиссаду создать не может).

КРМ и ГРМ вместе с несколькими маркерными радиомаяками (МРМ) входят в состав наземной системы посадки (например, СП-80 и др.). МРМ территориально расположены на позициях соответствующих приводных радиостанций (ПРС). Упрощенная схема размещения КРМ, ГРМ, МРМ и ПРС приведена на рис. 5.1.

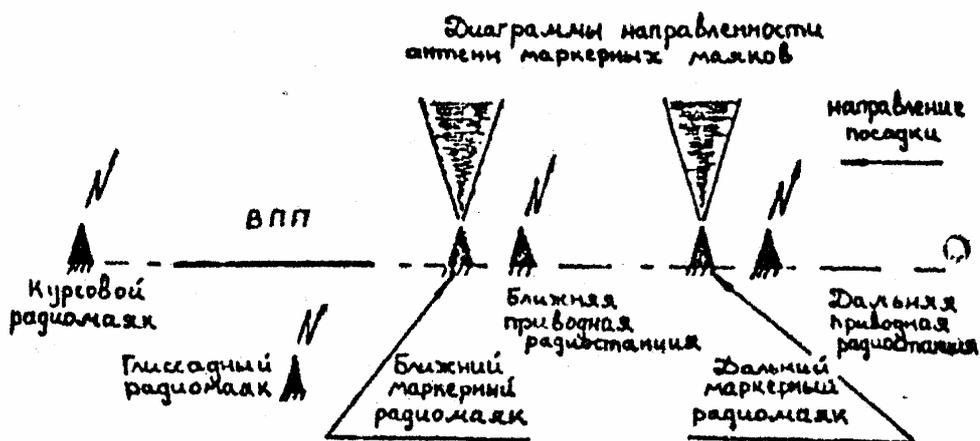


Рис. 5.1. Схема размещения КРМ, ГРМ, МРМ и ПРС

Принцип формирования плоскостей для КРМ и ГРМ одинаков. Ниже он поясняется на примере КРМ (рис. 5.2).

Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости антенной системы КРМ имеет два лепестка, направления максимумов которых

отвернуты от оси ВПП на некоторый угол в разные стороны с таким расчетом, чтобы в направлении оси ВПП уровни лепестков были равными.

Сигналы, излучаемые по обоим лепесткам, имеют одинаковую несущую частоту, но по-разному “окрашены”, т.е. имеют отличительные признаки, что дает возможность их опознания на борту. Если ВС находится на оси ВПП, то на бортовой приемник поступают одинаковые амплитуды сигналов по обоим лепесткам ДН.

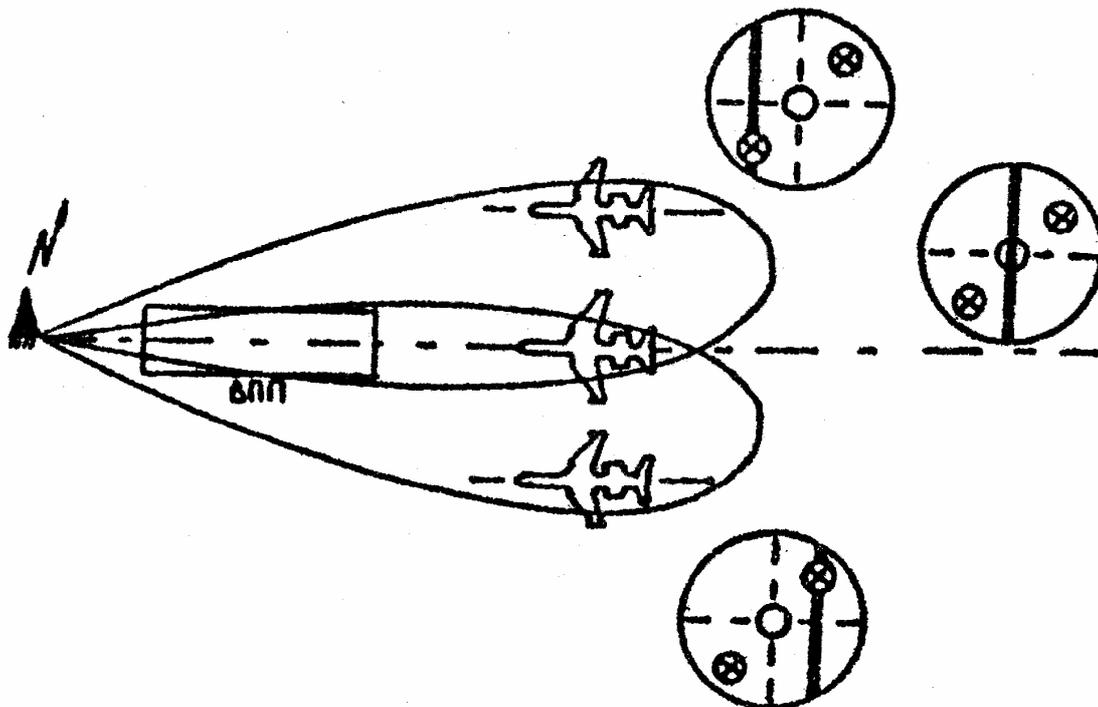


Рис. 5.2. Формирование курса посадки антенной КРМ

При отклонении ВС от требуемого курса равновесие сигналов по лепесткам нарушается. Соотношение амплитуд обоих сигналов отражается на индикаторе: при их равенстве его указатель находится в среднем положении, при неравенстве он отходит от среднего положения, показывая, где от продольной оси ВС находится равносигнальная зона курса посадки.

В составе бортовой системы инструментального захода на посадку имеются три приемника (курсовой, глиссидный и маркерный), устройство обработки сигналов и индикаторное устройство. В качестве индикаторного устройства используется пилотажно-навигационный прибор (ПНП-1), который имеет две стрелки - курсовую и глиссидную. Среднее положение стрелок выполнено на приборе в виде соответствующих рисок. В поле прибора имеются два бленкера - курсовой и глиссидный. Флажки бленкеров срабатывают при входе самолета в зону действия наземных курсо-глиссидных маяков и свидетельствуют о нормальной работе всего комплекса посадки. Бортовая аппаратура работает таким образом, что при полете самолета точно по глиссиде соответствующие стрелки расположены в центре прибора. При отклонении самолета, например, от курса, как это показано на

рис. 5.2, стрелка прибора также отклоняется. Таким образом, задача пилотов состоит в том, чтобы при выполнении посадки удерживать стрелки ПНП-1 в центре перекрестка.

Маркерный радиоприемник бортовой системы совместно с наземными маркерными радиомаяками обеспечивает фиксацию моментов пролета самолета позиций приводных радиостанций. Конфигурация диаграммы направленности антенны наземного маркерного радиомаяка такова, что сигнал на выходе маркерного бортового приемника появляется только при пролете над маяком. Моменты пролета самолета над маяками фиксируются с помощью звуковой и световой сигнализации. Экипаж определяет высоту самолета в моменты пролета приводных радиостанций и сравнивает ее с требуемой. Таким образом экипаж имеет дополнительную возможность контроля за выдерживанием линии снижения самолета при отказе или отсутствии наземной системы посадки.

Радиотехническая система ближней навигации

Бортовая радиотехническая система ближней навигации РСБН-7С работает в комплексе с наземной системой ближней навигации (РСБН-4Н). Использование этой системы позволяет получать на борту информацию о местоположении ВС в полярной системе координат относительно наземной системы РСБН-4Н. Так как наземная аппаратура устанавливается, как правило, на территории аэродрома, то и местоположение самолета также определяется относительно аэродрома.

Определение координат ВС с помощью системы РСБН осуществляется по двум независимым каналам - дальномерному и азимутальному. При определении азимута используются направленные свойства антенны наземной станции в горизонтальной плоскости. Зеркало антенны при работе вращается, обеспечивая тем самым вращение диаграммы направленности и, следовательно, постепенный обзор воздушного пространства. Работа системы устроена таким образом, что в РСБН-7С появляется импульс каждый раз, когда антенна наземной станции пересекает северное направление. Так осуществляется формирование начала отсчета азимута для всех ВС, находящихся в зоне действия наземного маяка и оборудованных системой ближней навигации. Северный импульс начала отсчета на борту запускает специальный электронный счетчик времени, который останавливается в момент облучения антенной наземной станции данного конкретного ВС. Зная угловую скорость вращения антенны наземной станции и время между началом отсчета (северное направление) и моментом облучения ВС, можно определить угол между северным направлением и направлением на наземный РСБН-4Н. Этот угол и будет являться азимутом ВС относительно конкретной наземной станции РСБН-4Н. На штурманской карте нанесены позиции (места расположения) наземных станций РСБН-4Н, и экипаж знает, с какой именно станцией он в данный момент работает. Зная место расположения наземной станции и измерив азимут, штурман на карте

может нанести первую линию положения для своего ВС. Это будет радиус-вектор. Для определения местоположения самолета надо знать длину радиуса-вектора, т.е. дальность между ВС и наземной станцией.

Эта задача решается с помощью дальномерного канала системы ближней навигации. Принцип действия измерителя дальности основан на измерении временных интервалов, пропорциональных расстоянию. Самолетный запросчик (передатчик РСБН-7С) излучает сигналы в виде кодированных радиоимпульсных последовательностей. Одновременно этот запросный сигнал запускает в бортовой системе РСБН-7С специальный электронный счетчик времени. Излученный самолетным запросчиком сигнал принимается приемником наземной системы РСБН-4Н и переизлучается наземным передатчиком в эфир. Далее этот сигнал принимается приемником бортовой системы и после обработки используется для остановки электронного счетчика времени. Скорость распространения электромагнитных волн постоянна и равна скорости света. Зная скорость и время, бортовая аппаратура определяет расстояние между самолетом и наземным маяком РСБН-4Н. Таким образом, с помощью систем ближней навигации РСБН-7С с РСБН-4Н определяют местоположение ВС в пространстве (с учетом измерения высоты полета).

Самолетный радиодальномер

Измерение дальности до наземного радиомаяка основано на измерении времени задержки между излученным бортовым передатчиком запросным сигналом и принятым приемником ответным сигналом наземного радиомаяка (п. 4.9).

Радиотехническая система дальней навигации (РСДН)

Радиотехнические системы ближней навигации имеют ограниченную дальность действия. Они не могут быть использованы при полетах на дальние расстояния, полетах над океанами. Значительные затруднения в обеспечении полетов средствами ближней навигации имеются при полетах над тундрой, тайгой и горной местностью. В этих случаях местоположение ВС может быть определено штурманом с помощью радиотехнических систем дальней навигации. В этих системах использованы свойства сверхдлинных волн распространяться вдоль поверхности земли на значительные расстояния.

Как уже было сказано ранее, для определения местоположения ВС нужно иметь две линии положения (если задача на плоскости). Напомним, что в системе РСБН в качестве линий положения использованы окружность и радиус-вектор. В системах дальней навигации использованы линии положения в виде гипербол, поэтому эти РСДН еще называются гиперболическими. Здесь рассматривается вариант РСДН, относящийся к разностно-дальномерным системам (п.4, рис.4.3). Эти РСДН на борту ВС измеряют разность расстояний до двух наземных маяков системы РСДН. Известно, что геометрические места точек, для которых разность расстояний

до фокусов одинакова, образуют гиперболу. Места расположения маяков РСДН нанесены на штурманскую карту, поэтому по полученной разности расстояний сразу строится одна линия положения - гипербола. Вторая гипербола получается аналогично с той только разницей, что вычисляется разность расстояний между самолетом до одной из двух предыдущих станций и третьей станцией, расположенной в другом районе Земли. Таким образом, на карте штурман строит две гиперболические линии положения, пересечение которых дает на плоскости точку нахождения самолета. Разности расстояний в системе РСДН измеряются по разности времён прихода сигналов от пары наземных станций. Одновременно при определении местоположения ВС надо использовать три станции, которые излучают сигналы с очень высокой степенью синхронности, что необходимо для получения требуемой точности определения местоположения самолета. Для обеспечения синхронной работы одна из трех наземных станций работает как ведущая. Несмотря на внешнюю простоту метода, техническая реализация работы наземной системы достаточно сложна. Существуют несколько типов РСДН систем «Лоран», «Омега» и др.

Радиовысотомеры малых высот

На борту ВС при решении различных навигационных задач используются высоты полета, измеренные различными способами. Один из них связан с использованием радиотехнических методов, с помощью которых измеряется истинная высота полета самолета над поверхностью земли.

Применение этих методов особенно важно либо при полетах ВС на небольшой высоте, в пределах которой атмосферное давление практически не меняется, либо когда ВС летит над местностью со сложным рельефом, например, над горами.

Радиовысотомеры малых высот всегда используются экипажем на этапах взлета и посадки. В последнем случае совместно с маркерными радиомаяками радиовысотомер обеспечивает возможность контроля выдерживания линии глиссады.

Если высота полета ВС над поверхностью земли становится меньше заданной, радиовысотомер выдает звуковую и световую сигнализацию экипажу об опасной высоте. Аналогичная задача определения опасных высот может решаться с помощью бортового метеорадиолокатора.

Частота сигнала, генерируемого передатчиком, изменяется от минимального до максимального значения за определенный промежуток времени (п. 4.9). ВЧ-сигнал передатчика проходит два пути. Первый путь - через передающую антенну, поверхность земли, приемную антенну в приемное устройство. Второй путь - прямо с передатчика по кабелю в приемное устройство. Ясно, что при постоянной скорости распространения радиоволн первый путь оказывается длиннее, а время прохождения сигнала пропорционально пройденному пути, т.е. высоте. На входах приемного

устройства будут одновременно действовать два сигнала с разными частотами. Учитывая, что частота сигнала линейно зависит от времени, получим, что разность частот окажется пропорциональной высоте полета ВС. Измерительное устройства высотомера измеряет эту разность, а стрелка индикатора показывает значение истинной высоты.

Автоматический радиокompас

Бортовой автоматический радиокompас работает совместно с наземными радиостанциями и определяет их курсовые углы. Наземные радиостанции называют еще радионавигационными точками (РНТ); их места установки и рабочие частоты известны экипажу самолета. С помощью автоматического радиокompаса экипаж может решать следующие навигационные задачи:

- полет на радиостанцию (РНТ) и от нее с визуальной индикацией курсового угла радиостанции;

- выполнение предпосадочного маневра с использованием наземных приводных радиостанций;

- привод самолета в зону аэродрома прибытия;

- полет по маршруту с использованием промежуточных РНТ (отдельных приводных радиостанций);

- автоматическое непрерывное определение курсового угла радиостанции;

- прием позывных сигналов радиостанций, работающих в диапазоне частот радиокompаса.

В настоящее время на самолетах эксплуатируется несколько различных типов радиокompасов.

Для решения навигационных задач и повышения надежности используются два полукompлекта радиокompасов. Индикация измеренных курсовых углов радиостанций осуществляется на одном приборе с двумя стрелками, что позволяет штурману работать одновременно по двум радиостанциям (РНТ).

Для определения углов в АРК используются направленные свойства рамочной антенны. Ненаправленная вертикальная штыревая и направленная рамочная антенна с вертикальным расположением плоскости рамки при совместной работе создают ДНА в плане типа «кардиоиды» (рис. 5.3). При повороте рамки вокруг вертикальной оси на некоторый угол на этот же угол поворачивается и направление минимума приема. Поворот рамки осуществляется с помощью следящего привода, таким образом, чтобы минимум приема был направлен на РНТ. Электромеханическая система поворота рамки выполнена так, что стрелка индикатора компаса показывает ноль градусов, когда направление на РНТ совпадает с продольной осью ВС.

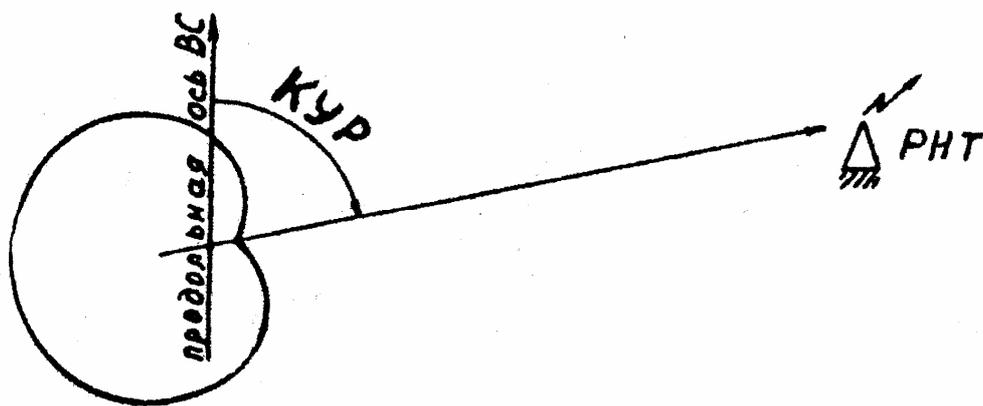


Рис. 5.3. ДНА в плане типа «кардиоиды»

Поэтому стрелка индикатора при работе радиоконпаса будет показывать в градусах курсовой угол радиомаяка (КУР).

Использование автоматических радиоконпасов совместно с наземными приводными радиостанциями (ДПРМ, БПРМ) при выполнении предпосадочного маневра показано на рис. 5.4 (предполагается совпадение линии пути с продольной осью ВС). Такой маневр в практике самолетовождения называется заходом на посадку по большой «коробочке». Помимо этой используются и другие схемы захода на посадку с использованием АРК.

Маршрут полета ВС по данной схеме может быть нанесен на карту штурмана. Для каждого аэропорта применяются свои схемы предпосадочного маневра. Настраивая бортовые АРК на частоту ДПРМ, экипаж может контролировать время начала каждого разворота по показаниям индикатора АРК. Кроме задания значений курсовых углов маяка на этапах предпосадочного маневра траектория контролируется путем выдерживания заданной скорости ВС и времени выполнения элементов «коробочки».

После выполнения четвертого разворота полет по курсу посадки осуществляется двумя способами.

Первый предполагает использование бортовых и наземных курсоглиссадных систем инструментальной посадки. При втором способе линия курса контролируется с помощью двух полукомплектов АРК, настроенных каждый соответственно на частоту ДПРМ и БПРМ. Если вспомнить, что стрелки индикаторов обоих полукомплектов АРК совмещены в одном приборе, и обратиться к схеме на рис. 5.4, то станет очевидно, что при полете точно по курсу стрелки обоих полукомплектов должны совпасть и показывать на ноль (с учетом угла сноса). При полете ДПРМ стрелка полукомплекта АРК, настроенного на него, поворачивается на 180 градусов. При таком способе посадки контроль за выдерживанием линии глиссады может быть осуществлен с помощью наземных маркерных радиомаяков и бортового приемника (МРП).

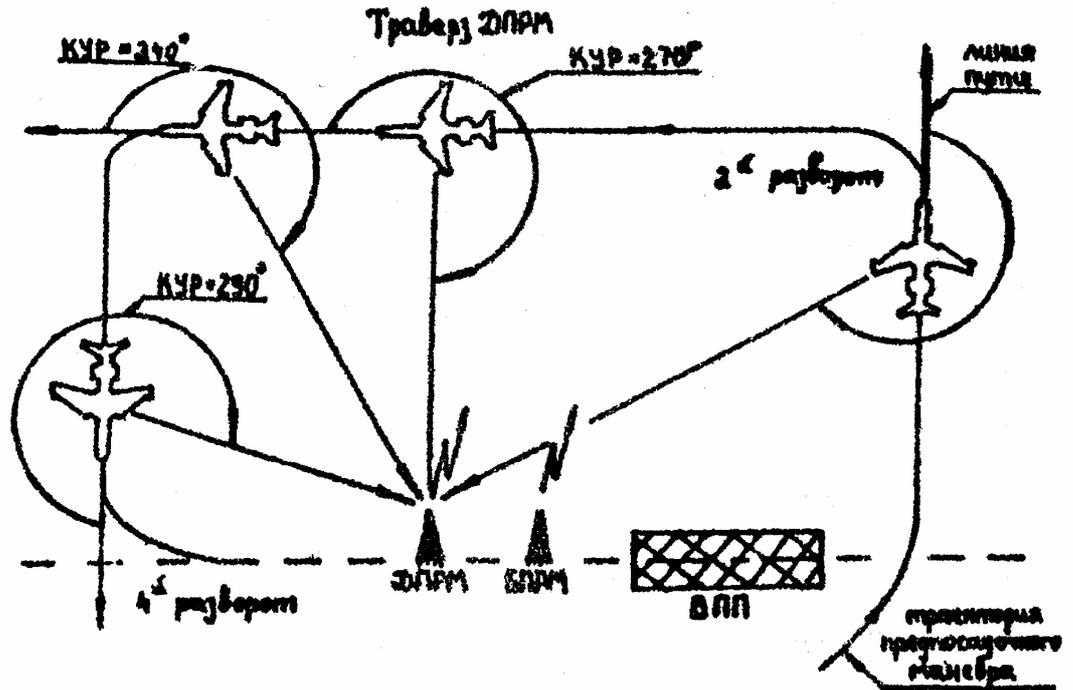


Рис. 5.4. Предпосадочный маневр ВС

Доплеровский измеритель скорости и угла сноса самолета (ДИСС)

Задача вычисления текущих координат на борту ВС может быть реализована автономно с помощью радиотехнических методов. Для этого строится система координат, связанная с землей, и в этой системе с помощью радионавигационных систем определяется курсовой угол (рис. 5.5).

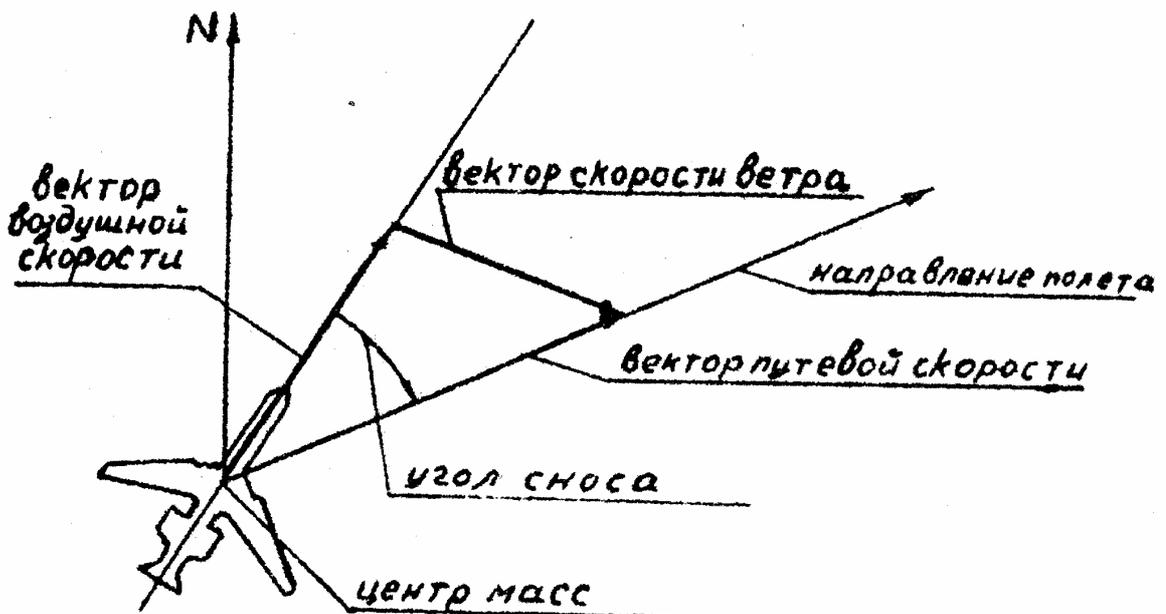


Рис. 5.5. Иллюстрация к работе ДИСС

Если знать величину угла сноса и величину вектора путевой скорости, то можно определить составляющие этой скорости в прямоугольной системе координат, одной из осей которой является направление на север. Зная составляющие скорости и время полета, можно вычислять текущие координаты самолета. Задачу счисления текущих координат выполняет сложный бортовой навигационный вычислитель или бортовая специализированная ЦВМ.

Определение величины вектора путевой скорости и угла сноса самолета осуществляется с помощью автономного бортового измерителя, работа которого основана на использовании эффекта Доплера; если цель движется на источник радиоволн, то частота принятых колебаний будет выше излученных на величину частоты Доплера; если цель движется от источника радиоволн, - ниже излученных на величину частоты Доплера. Величина частоты Доплера пропорциональна скорости взаимного сближения или удаления источника излучения и цели.

Антенна бортового доплеровского измерителя имеет диаграммы направленности, расположенные под некоторыми углами относительно продольной оси ВС – вперед и назад, вправо и влево. Таким образом, в принятом сигнале присутствуют частоты Доплера, связанные со скоростью перемещения самолета и углом сноса. Доплеровский измеритель имеет в своем составе специальное вычислительное устройство, которое вырабатывает сигналы, пропорциональные путевой скорости самолета и углу сноса. Обе эти величины поступают в бортовой навигационный вычислитель для счисления координат самолета. Более подробное описание работы бортовых доплеровских измерителей выходит за рамки настоящего учебного пособия и будет рассмотрено в соответствующих курсах УД.

5.3. Радиолокационное оборудование

В состав бортового радиолокационного оборудования ВС включают следующие системы:

- бортовую метеородиолокационную станцию;
- самолетные ответчики.

Должны быть системы предупреждения столкновений. Следует иметь в виду, что эта классификация не является жесткой, и к радиолокационному оборудованию по определенным соображениям может быть отнесен, например, доплеровский измеритель скорости и сноса.

Бортовая метеородиолокационная станция

На борту ВС устанавливается один из типов РЛС в модификации, соответствующей данному типу самолета. Все радиолокационные станции отличаются друг от друга в значительной степени и отражают этапы развития радиолокационной системы и схемотехники, а также техники СВЧ.

Радиолокатор имеет антенну зеркального типа, расположенную в переднем отсеке самолета под радиопрозрачным носовым обтекателем и

работающую на прием и передачу. В кабине экипажа установлены приемопередающие блоки, индикаторные устройства, а также другие блоки, узлы и монтажно-распределительные устройства.

Радиолокатор может работать в двух основных режимах – по встречным препятствиям (самолетам, очагам грозовой деятельности и др.) и по наземным целям. В первом случае – ДНА «карандашного» типа; во втором случае – специального типа (рис.4.4).

Антенна РЛС совершает качания в горизонтальной плоскости с помощью механического привода, которые называются сканированием антенны. Естественно, что ДНА совершает в пределах передней полусферы аналогичные перемещения. Синхронно с антенной на экране индикатора перемещается линия развертки, длина которой соответствует максимальной дальности в данном режиме. На экране индикатора будет формироваться электронным способом полярная система координат, связанная с самолетом (рис. 5.6).

Передачик РЛС формирует короткий импульс СВЧ, который через антенну излучается в окружающее пространство. Электромагнитная волна, попав на цель, частично отражается и попадает в антенну РЛС, которая работает в данный момент как приемная антенна. В приемнике сигнал усиливается, обрабатывается и подается на индикатор РЛС, где воспроизводится в виде яркостной засветки. Форма засветки соответствует характеру цели. Если это ВС, то на экране будет яркая точка, расположенная на соответствующих дальности и азимуте. Если это область грозовой деятельности, то площадь засветки будет соответственных размеров. В бортовых РЛС при работе по грозовым областям предусмотрен режим выделения зон наиболее интенсивной грозовой градовой деятельности в виде темных пятен внутри яркостной засветки от метеоцели. Это сделано для того, чтобы помочь экипажу в условиях грозовой деятельности проложить наиболее безопасный курс самолета.

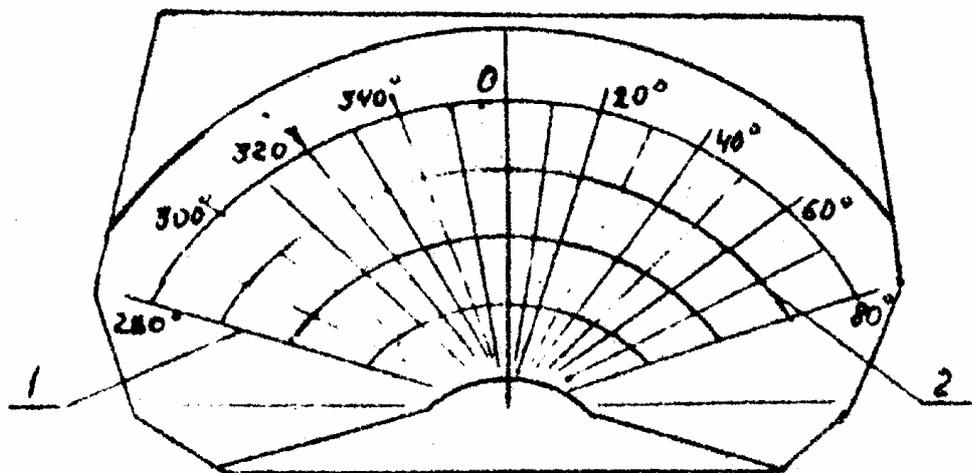


Рис. 5.6. Координатная сетка индикатора РЛС ВС: 1 – азимутальные масштабные риски для измерения азимута цели относительно продольной оси самолета; 2 – масштабные кольца для измерения дальности до цели.

В режиме работы РЛС по наземным целям на экране индикатора экипаж наблюдает радиолокационное изображение части земной поверхности, расположенной впереди по курсу самолета (в пределах 180°). В этом режиме экипажем решается несколько навигационных задач, и главной из них является контроль правильности выдерживания заданного маршрута. Такой контроль осуществляется путем сличения штурманской карты с радиолокационной картой местности на экране РЛС.

На современных самолетах бортовые РЛС работают в составе сложных пилотажно-навигационных комплексов на базе специализированных БЦВМ в качестве автономных источников информации. В частности, с помощью РЛС и БПНК осуществляется коррекция текущих координат самолета, вычисленных бортовым навигационным вычислителем. На базе РЛС реализованы системы предупреждения столкновения (СПС) в воздухе, системы прицельного сброса грузов для транспортных самолетов.

Самолетные ответчики

Для организации УВД при большом количестве ВС используют автоматизированные системы различных уровней. При этом возникает необходимость в повышении достоверности информации о воздушной обстановке и в дополнительной информации о самолетах. Обычные методы первичной радиолокации здесь становятся малопригодными, и поэтому применяют методы вторичной радиолокации на принципе «запрос-ответ».

Для этого на земле устанавливается запросчик – вторичный радиолокатор (ВРЛ), а на борту самолета – соответствующий ответчик.

В настоящее время способы формирования запросных и ответных сигналов внутри страны и за рубежом отличаются друг от друга. Поэтому на борту ВС устанавливают, как правило, два ответчика. Сигнал, излучаемый самолетным ответчиком, принимается наземным ВРЛ и отображается на экране индикатора диспетчера УВД в виде яркостной отметки рядом с отметкой от этого же самолета первичной наземной радиолокационной станции. Так как ответный сигнал формируется непосредственно на борту, то он может нести еще индивидуальную информацию об этом самолете – бортовом номере, высоте полета, остатке топлива, сигнале бедствия и т.д. Вся эта информация декодируется на земле и поступает в автоматизированную систему УВД (АС УВД) на пульт соответствующего диспетчера.

Кроме ответчиков, работающих в системе комплексной вторичной радиолокации, на борту самолетов могут быть установлены специальные ответчики системы госопознавания. Такие ответчики используются при полетах в приграничных районах и на международных трассах.

Системы предупреждения столкновений (СПС)

СПС предназначены для выявления угрозы столкновения ВС и определения взаимно-координированных маневров ВС по уклонению от

столкновения. Расстояние до конфликтующего ВС определяется импульсным методом по принципу “запрос-ответ”, а скорость сближения – по изменению расстояния между ВС за период следования сигнала запроса.

Сигнал запроса излучается каждым ВС и содержит информацию о высоте его полета.

На ВС, принявшем запросный сигнал, вычисляется разность собственной высоте полета и высоты запросчика и формируется ответный сигнал. Если разность высот между ВС соответствует опасной зоне $h \pm 160$ м, где h -высота полета, то ответ используется для выработки рекомендаций о маневре ВС; если разность высот находится в пределах от $(h+160)$ м до $(h+660)$ м и от $(h-160)$ м до $(h-660)$ м, то ответ содержит предупреждение и указание о нахождении ответного ВС в верхней или нижней зоне. Если разность высот более 660м, то ВС на запрос не отвечает.

6. Наземные радиотехнические системы обеспечения полетов

Наземные радиотехнические системы обеспечения полетов служат для получения объективной информации о местоположении ВС в ВП.

По характеру взаимодействия с ВС наземное оборудование можно разделить на три группы:

1. Оборудование, с помощью которого получают необходимую информацию автономно, без взаимодействия с бортовыми радиотехническими системами.

2. Оборудование, которое обеспечивает выполнение требуемых функций только в комплексе с соответствующими бортовыми радиотехническими системами.

3. Оборудование, установленное на земле и обеспечивающее получение необходимой информации только на борту самолета.

Аналогично бортовому оборудованию, наземное делится на три вида:

- 1). связанное радиооборудование;
- 2). радионавигационное оборудование;
- 3). радиолокационное оборудование.

Часть радиотехнических наземных систем не используется непосредственно для решения задач по УВД. К ним, в основном, относятся некоторые системы проводной и воздушной связи, а также оборудование аэровокзальных комплексов. Далее эта часть наземных систем рассматриваться не будет.

Основными потребителями информации, получаемой с помощью наземных радиотехнических систем обеспечения полетов, являются диспетчеры УВД. В зоне их рабочего места установлены индикаторные устройства, на которых отображается соответствующая информация.

Некоторые наземные радиотехнические системы были рассмотрены ранее при описании работы бортового оборудования. Поэтому далее подробно их работа разбираться не будет, за исключением уточнений типов и названий применяемых систем.

6.1. Наземное оборудование проводной и воздушной связи

Наземная проводная связь строится на основе кабельных каналов связи и предназначается, главным образом, для обмена информацией между диспетчерами соответствующих зон и пунктов УВД. Этот вид связи охватывает междуаэропортовые и междугородные линии на основе телефонной производственной и коммерческой сети.

Телефонная связь между диспетчерами УВД организуется с помощью прямых коммутируемых соединений.

Аэропорты и комплекс наземных служб ГА также имеют собственные сети проводной связи, предназначенные для обмена производственной информацией и обслуживания пассажиров. Для документирования в реальном времени воздушной обстановки и диспетчерского радиообмена имеются многодорожечные магнитофоны. Для решения задач информационного обеспечения деятельности наземных служб, кроме сети проводной связи, используется радиосвязь в специально выделенных для этого частотных диапазонах.

Для обеспечения процессов управления воздушным движением диспетчеры УВД пользуются каналами воздушной авиационной радиосвязи. Для удобства пользования и эксплуатации технические средства воздушной радиосвязи территориально и организационно объединены в передающие радиоцентры. Эти центры имеют в своем составе для работы в диапазоне метровых волн радиопередатчики «Полет-2», «Полет-1А», радиостанции «Баклан-РН», «Спрут», «Полет-1» и др. и радиоприемники «Полет». Для работы в диапазоне дециметровых волн используют радиопередатчики «Кедр» и радиоприемники «Сосна». Диапазоны волн наземных и соответствующих бортовых связных радиостанций совпадают. Передающие радиоцентры имеют набор антенных устройств для работы в рабочих частотных диапазонах.

6.2. Радионавигационное оборудование

Для получения информации о местоположении самолета используются следующие виды наземных радионавигационных систем:

- радиостанции ближней навигации (РСБН и др.);
- наземные системы инструментального захода на посадку;
- приводные радиостанции;
- маркерные радиомаяки;
- автоматические пеленгаторы.

Принцип работы наземной радиотехнической системы ближней навигации (РСБН-4Н) разобран при описании работы бортового оборудования ближней навигации. Можно добавить, что наземная система позволяет определять азимут и дальность до цели на земле. Воздушная обстановка в зоне действия наземной системы отображается на специальном

индикаторе кругового обзора. Наземная система ближней навигации, как правило, устанавливается в зоне аэродрома.

Работа наземных систем инструментального захода на посадку и маркерных радиомаяков описана в соответствующем разделе бортового оборудования. В качестве примера можно отметить современные курсоглиссадные системы типа СП-75, СП-80 и др. Эти системы, однако, обладают существенным недостатком – сильной зависимостью характеристик электромагнитного поля от внешних факторов (наличие посторонних предметов, электрические свойства почвы, осадки и т.д.). Этот недостаток приводит к тому, что самолет, идя на посадку, двигается не по стандартной посадочной траектории, а со значительными ее искривлениями. Перспективные системы посадки MLS свободны от этого недостатка и работают в сантиметровом диапазоне волн.

Назначение и работа приводных радиостанций изложены при описании бортовых автоматических компасов. При полетах по трассам местных воздушных линий (МВЛ) приводные радиостанции являются основным средством навигации. Эти радиостанции в виде отдельных приводов (ОПРС) устанавливаются по трассе полета самолета. Экипаж осуществляет пилотирование самолета с помощью бортовых АРК, настроенных на частоты соответствующих ОПРС.

Автоматические радиопеленгаторы

Автоматические радиопеленгаторы устанавливаются в районе аэродрома и определяют угол между северным направлением и направлением на самолет. Наземные пеленгаторы работают в диапазоне УКВ совместно с самолетной командной УКВ радиостанцией. В качестве окончательного устройства пеленгатор имеет стрелочный индикатор, шкала которого проградуирована в градусах, а ноль шкалы совпадает с направлением на север. Стрелка прибора показывает пеленг в момент, когда экипаж выходит на связь с диспетчером УВД, т.е. бортовая связная станция работает на излучение. Необходимость использования наземных пеленгаторов заключается в следующем. Диспетчер УВД наблюдает за воздушной обстановкой в зоне ответственности с помощью наземного радиолокатора, на экране которого самолеты отображаются в виде ярких засветок. Если самолетов в зоне достаточно много, то диспетчеру трудно определить, с экипажем которого из них он ведет переговоры по радиосвязи. При этом сложно адресовать нужную команду нужному экипажу. В этих случаях диспетчером используется информация с наземных автоматических радиопеленгаторов. Во время переговоров по радио диспетчер определяет пеленг самолета, с экипажем которого установлена связь, затем этот пеленг отсчитывается по шкале индикатора РЛС и тем самым определяется засветка от нужного самолета. Возможно совмещение информации от автоматического радиопеленгатора с радиолокационным изображением. В настоящее время в гражданской авиации применяются современные

автоматические пеленгаторы, имеющие несколько независимых частотных каналов (АРП-75, АРП-80). Их работа достаточно сложна для пояснения в рамках настоящего пособия.

6.3. Радиолокационные системы

Для эффективного УВД диспетчер наземной службы УВД должен иметь достаточный объем информации о ВС, находящихся в зоне его ответственности. Наиболее важной является информация о координатах ВС. Получение такой информации на земле обеспечивается с помощью наземных радиолокационных систем, которые позволяют получать также данные о метеообстановке.

По принципу получения информации об объекте все радиолокационные системы делятся на две группы:

радиолокационные системы, использующие эффект частичного отражения целью энергии падающей волны (первичная радиолокация);

радиолокационные системы, которые предполагают использование ответчиков, установленных на борту ВС. Этот вид радиолокации еще называется вторичной радиолокацией (ВРЛ).

Необходимо отметить, что ряд современных первичных радиолокационных систем имеют в своем составе встроенные каналы, работающие на принципах вторичной радиолокации. Такое техническое решение позволяет объединить положительные свойства первичных и вторичных РЛС. Первые обладают высоким уровнем автономности при получении информации о самолетах, вторые имеют более высокий уровень помехозащищенности, большую дальность действия, более высокий уровень достоверности получаемой информации, а также возможность получения дополнительной информации о ВС.

С помощью радиолокационной системы измеряют координаты ВС в полярной системе координат с полюсом в точке установки РЛС – наклонную дальность от ВС и его азимут. ДНА РЛС в горизонтальной плоскости достаточно узкая, что необходимо для измерения азимута. В вертикальной плоскости ДНА РЛС имеет специальную сложную форму (рис.6.1).

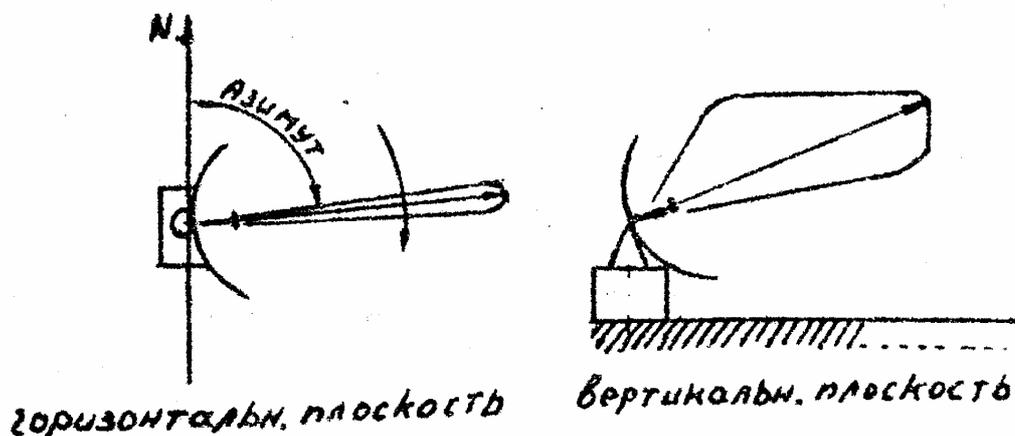


Рис. 6.1. ДНА обзорной РЛС

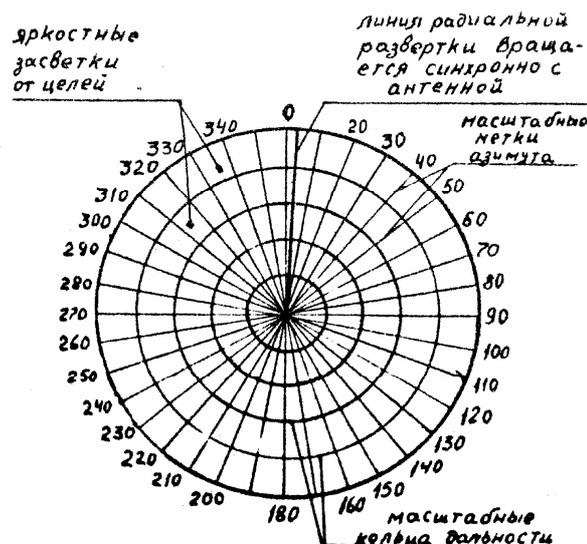


Рис. 6.2. Индикатор кругового обзора РЛС

Индикатор кругового обзора наземной РЛС имеет вид, показанный на рис. 6.2.

Линия развертки на экране РЛС вращается синхронно с вращением антенны. Одновременно на экране формируется масштабная сетка для измерения азимута и дальности цели. При облучении цели на входе приемника появляются отраженные от нее сигналы, которые усиливаются, поступают на индикатор и отображаются в виде яркой точки. Оператор с помощью масштабной сетки определяет ее азимут и дальность.

Потребителями радиолокационной информации являются диспетчеры УВД. Каждый диспетчер имеет свою зону ответственности в соответствии со структурой ВП.

С относительно недавнего времени радиолокационные позиции (РЛП) систем УВД ГА стали оснащаться моноимпульсными вторичными радиолокаторами (МВРЛ). Дело в том, что радиолокаторы с однолепестковой ДНА (имеется в виду главный лепесток) даже теоретически по одному отраженному (или излученному) импульсу от точечного даже неподвижного объекта не могут определить его угловое положение точнее, чем в пределах ширины ДНА; угловое положение объекта определяется по середине дужки отметок от пачки импульсов, получающейся при вращении антенны. Не анализируя возможные при этом ошибки, укажем лишь, что они возрастают, если сам объект движется (особенно азимутально).

В МВРЛ прием сигналов осуществляется двумя одинаковыми антеннами, работающими каждая на свой канал. Обе антенны смонтированы рядом в одном антенном блоке так, что направления максимумов их ДН развернуты на небольшой угол, образуя симметричную «вилку» относительно некоторого равносигнального направления. Если цель находится на равносигнальном направлении, сигналы в обоих каналах будут одинаковыми по амплитудам и фазам, - антенный блок точно наведен на

цель. Если цель не находится на равносигнальном направлении, сигналы в каналах будут разными. Но по их различиям при соответствующей обработке решающим устройством может быть вычислено отклонение цели от равносигнального направления антенного блока (пусть даже неподвижного), то есть найдено истинное угловое положение цели теоретически даже по одному импульсу. Практически для достоверного воспроизведения отметки даже неподвижной цели необходимо несколько импульсов.

Моноимпульсная радиолокация предъявляет повышенные требования к стабильности частоты сигнала и к электромагнитным параметрам радиотехнических устройств.

7. Умения инженера

В обеспечении безопасности, регулярности полетов ВС и экономичности их эксплуатации важнейшую роль играет надежность авиационной техники вообще и РЭО, в частности.

Научных определение понятий и параметров надежности в данном пособии нет – это предмет специальных УД. Здесь ограничимся представлением о том, что надежная техника – это та, которая с высокой степенью вероятности будет выполнять свои функции в течение гарантированного периода времени, т.е. не подведет, а применительно к авиации - не создаст опасных ситуаций.

Все параметры надежности носят вероятностный характер, т.е. дают представление о некоторых усредненных величинах.

Надежность изделия закладывается в проект при его разработке (конструировании), а реализуется при изготовлении и в процессе эксплуатации. При этом разработчик использует статистические данные, должным образом собранные и обработанные, о практике использования аналогичных изделий и входящих в него элементов. Если в процессе производства не будут выдержаны допуски на точность изготовления, на технические параметры используемых материалов, на параметры технологических процессов и т.п., т.е. на те условия, при которых собирались статистические данные, заложенная в проекте надежность реализована не будет. Это же относится и к эксплуатации. Если изделие эксплуатируется с перегрузками по электрическим и механическим параметрам, по перепаду влажности, температур и давлений, по вибрациям и т.п., не предусмотренными при сборе статистических данных, проектная надежность изделия реализована не будет.

Грамотные постановка эксперимента, сбор, обработка и анализ экспериментальных данных – очень важные умения, необходимые инженеру – эксплуатационнику.

Основываясь на знаниях о требованиях к изделию, предъявляемых условиями эксплуатации, о качестве современных материалов, о прогрессивной элементной базе РЭО, о схемотехнике, о возможностях вычислительной техники, о новейших технологических процессах и т.д.,

инженер должен уметь сформулировать прогрессивные технические требования (ТТ) и техническое задание (ТЗ) на разрабатываемое изделие, способствуя этим научно-техническому прогрессу.

Очень важно предупредить отказ изделия РЭО, а если он все-таки произошел, возможно быстрее его устранить. Для этого существуют разные методы технического обслуживания (ТО) и технической диагностики (ТД). В одних случаях с учетом характера и значимости изделия можно проводить ТО через установленные интервалы времени в течение установленного срока службы, независимо от его состояния; в других случаях проводить ТО по состоянию изделия, когда есть в этом необходимость по результатам контроля (часто автоматизированного). Инженер должен уметь правильно выбрать стратегию ТО, предложить рациональную модель ТД; основываясь на знании техники и системы контроля параметров, инженер должен уметь оперативно найти отказ и распорядиться его устранением.

Надежность изделия существенно зависит от надежности входящих в него элементов. Кроме этого, существуют методы повышения надежности. Среди них не последними являются рациональное построение схем, резервирование и использование системы приоритетов (когда при частичном отказе архитектура внутренних связей в изделии автоматически или вручную перестраивается на выполнение наиболее важных функций за счет отказа от выполнения второстепенных). Инженер должен уметь решать вопросы о системных позициях.

Конечно, специфика будущей инженерной деятельности расставит приоритеты в перечисленных и др. умениях, но основы их должны быть заложены в Университете.

Литература

1. В.П. Логачев. Введение в специальность, часть 1. М: МГТУ ГА, 2005.
2. А.И. Хасабов. Введение в специальность 201300. М: МГТУ ГА, 1997.