

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

ЛЕКЦИЯ № 7

ТЕМА: СТРУКТУРА ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

Общие сведения о ПНК

Понятие ПНК появилось с внедрением вычислительной техники на борту ЛА. Согласно нормативно-технической документации под ПНК понимают совокупность бортовых функционально объединенных информационных средств (датчиков), вычислительно-программных, систем автоматического управления, систем индикации и сигнализации, предназначенных для решения задач самолетовождения и обеспечения работы других бортовых систем ЛА.

Отсюда вытекает, что ПНК в своем составе объединяет два комплекса: пилотажный и навигационный.

Под пилотажным комплексом понимают совокупность систем автоматического управления, включая автоматы загрузки, ограничения и смены передаточных чисел.

Под навигационным комплексом понимают совокупность бортовых систем и устройств, предназначенных для решения задач навигации и определения координат местонахождения ЛА.

Общее назначение ПНК:

- ✓ обеспечение самолетовождения на всех этапах полетов в простых и сложных метеорологических условиях, в любое время года и суток, при полете над морем и сушей;
- ✓ решение задач пилотирования, навигации и посадки;
- ✓ определение и выдача пилотажно-навигационной информации на инди-

кацию и соответствующим потребителям для решения специальных задач полета.

Кроме того, на ПНК возлагается решение таких задач как:

1. Задача построения навигационной программы полета с учетом:
 - ✓ автоматического ввода исходных данных и программы полета;
 - ✓ расчет данных, определяющих заданный маршрут, параметры линий заданного пути, набора высоты и снижения, развороты и т. д.
2. Навигационные задачи, включающие:
 - ✓ преобразование координат, определение параметров полета, комплексная обработка информации;
 - ✓ контроль пространственно-временного графика полета;
 - ✓ коррекция координат местоположения;
 - ✓ определение параметров ветра;
 - ✓ передпосадочное маневрирование и заход на посадку.
3. Пилотажные задачи, включающие:
 - ✓ автоматизацию управления при взлете и наборе высоты;
 - ✓ автоматическая стабилизация углового положения ЛА, скорости и высоты;
 - ✓ автоматизация полета по маршруту, группового полета, автоматизации посадки.
4. Задачи контроля ПНК и режимов полета, включая:
 - ✓ непосредственный контроль работоспособности подсистем ПНК;
 - ✓ обеспечение реконфигурации ПНК при отказах отдельных подсистем;
 - ✓ предупреждение экипажа об аварийных ситуациях или недопустимых режимах полета.

Тактико-технические требования, предъявляемые к ПНК

Эффективность ПНК, как правило, формируется в виде вероятности выполнения авиационным комплексом конкретных задач в конкретных условиях.

Таковыми задачами могут быть:

- ✓ обеспечение основной целевой задачи – перевоз определенного количества пассажиров и багажа в заданный пункт маршрута за заданное время или в соответствии с временным графиком;
- ✓ определение определенного уровня безопасности полетов;
- ✓ обеспечение регулярности полетов;
- ✓ экономическая эффективность и т. д.

Если учесть, что часовой график полета на дальность L для каждой текущей точки маршрута обуславливает ограничение отношения пройденного пути $L(t)$ к средней скорости полета V_{cp} , то условия, что соответствуют выполнению основной задачи, можно записать так:

$$\Delta x_i(t) \langle \Delta_{i2p}(t), (i = \overline{1, n})$$

$$t_{\phi} = \frac{L(t)}{V_{cp}} \leq t_3,$$

где $\Delta x_i(t) = x_{i3} - x_i(t)$ – отклонение параметра вектора состояния $x_i(t)$ от программного значения x_{i3} заданное;

$\Delta_{i2p}(t)$ - гранично-допустимые значения i -ой координаты;

t_3 - заданное время достижения дальности L ;

t_{ϕ} - фактическое время достижения дальности L .

С учетом введенных обозначений полная вероятность выполнения основной целевой задачи выражается таким образом:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i,$$

где $P_1 = P(\Delta x_i \langle \Delta_{i2p}) (i = \overline{1, n})$;

$$P_2 = (t_{\phi} \langle t_3);$$

Лекция № 7. Структура пилотажно-навигационного комплекса.

$P_i = P(\alpha_i \langle \alpha_{izp} \rangle)$, α_i – некоторые параметры ПНК (масса, стоимость и т.д.), α_{izp} – их гранично-допустимые значения.

Рассмотрим более конкретно некоторые требования, предъявляемые к ПНК.

Точностные требования к ПНК

Вектор пилотажно-навигационных параметров, который определяется с помощью ПНК – $X_{ПНК}$, содержит в себе величины характеризующие положение и движение относительно центра масс.

Точность работы ПНК характеризуется отклонением текущих пилотажно-навигационных параметров от их заданных значений. Количественной характеристикой этих значений есть $\Delta X_{ПНК}$ – вектор ошибок, равный

$$\Delta X_{ПНК} = X_{ПНК} - X_{ПНК}^{зад},$$

где $X_{ПНК}^{зад}$ – вектор заданных значений пилотажно-навигационных параметров полета ЛА.

Допустимые значения составляющих вектора ошибок задаются в ОТТБ (отдельные тактико-технические требования) в виде среднеквадратических, сдвоенных среднеквадратических (2σ) или гранично-допустимых ошибок. В качестве последних принимают 3-х кратное значение среднеквадратичных ошибок 3σ .

Размерность вектора ошибок ПНК определяется типом и назначением ЛА. Ниже рассматриваются требования к основным составляющим этого вектора с учетом возможности решения авиационных комплексов навигационно-пилотажных задач.

Главной задачей навигации есть определение горизонтальных координат местоположения ЛА. При этом основным методом их определения есть счисление пути в инерциальном, в инерциально-доплеровском, курсо-доплеровском или курсо-аэрометрическом режимах с коррекцией отдельных участков маршрута.

В режиме счисления пути ошибки нарастают со временем. Для всех 4-х указанных режимов увеличение среднеквадратических ошибок различны, тем не менее для всех режимов счисления пути требования задают в виде $\sigma_{\Delta z}$ ($\sigma_{\Delta x}$) за определенный интервал времени.

Пример требований к точности навигации для различных режимов счисления пути приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1 – Требования к точности навигации для различных режимов счисления пути

Режим исчисления пути	Требования точности
Инерциальный	$\sigma_{\Delta z} \leq 5$ км за 1 час
Инерциально-доплеровский	$\sigma_{\Delta z} \leq 3$ км за 1 час
Курсо-доплеровский	$\sigma_{\Delta z} \leq 3$ км за 20 мин
Курсо-аэрометрический	$\sigma_{\Delta z} \leq 10$ км за 20 мин

Накопленные за время счисления пути ошибки на интервале коррекции списываются до уровня, обусловленного точностью системы коррекции. Точность системы коррекции в свою очередь зависит от типа системы, алгоритмов, времени коррекции, режимов работы, методов коррекции и т. д.

Пример требований к точности коррекции приведены в табл. 7.2.

Нормативными показателями точности выдерживания заданной траектории для двухмерной и трехмерной навигации есть горизонтальное эшелонирование и выдерживание высоты заданного эшелона.

Различают два вида горизонтального эшелонирования – продольное и боковое.

Продольное эшелонирование – это расстояние между ЛА вдоль линии пути или временной интервал пролета пунктов обязательного уведомления. Эти величины не должны быть меньше чем утвержденные. Продольное эшелонирование регулируется скоростью полета и временем пролета пунктов уведомления.

Таблица 7.2 – Требования к точности коррекции

Система коррекции	Условия коррекции	Время коррекции	Точность коррекции
РСБН	Прямая видимость	Практически мгновенно	$\leq 0,2$ км
		100 с	$\leq 0,1$ км
РСДН	Зона действия наземных радиомаяков	Практически мгновенно	$\leq 2 \dots 3$ км
		100 с	$\leq 1 \dots 2$ км
Оптические, электронно-оптические визиры	Дальность до ориентира 10 км	Практически мгновенно	$\leq 0,2$ км
		10 с	$\leq 0,15$ км
РЛС	Дальность до ориентира 50 км	Практически мгновенно	≤ 1 км
		30 с	$\leq 0,5$ км
КЕНС (по полю рельефа местности)	Среднепересечная (холмистая местность)	100 с	$\leq 0,15$ км
КЕНС (по аномальному полю Земли)	Высота полета 15 км	300 с	$\leq 0,1$ км
Спутниковые системы навигации	В перспективе без ограничений		$\leq 0,1$ км

При наличии радиолокационного контроля нормы продольного эшелонирования составляют 30 км на трассах, 20 км в районе аэродрома. При отсутствии радиолокационного контроля норма продольного эшелонирования, измеряемая во времени, установленная для трасс при полете по одному маршруту – 10 мин.

Боковое эшелонирование – наикратчайшее расстояние точки, что соответствует положению центра масс ЛА до заданной линии пути. Оно устанавливается для

Лекция № 7. Структура пилотажно-навигационного комплекса.

воздушных судов всех ведомств равным 10 км (по 5 км в каждую сторону от оси воздушной трассы).

Вертикальные эшелоны – разделяются в зависимости от географического направления полета (от магнитного курса (МК)) – $МК = 0...179^0$ и $МК = 180...359^0$.

Схема эшелонирования приведена на рис. 7.1.

Интервалы по высоте между встречными маршрутами на малых и средних высотах (до 6000 м) установлены в 300 м, а между попутными – 600 м. На высотах до 12000 м эти интервалы удваиваются. Интервалы на высотах свыше 12000 м равны 1000 м для встречных маршрутов и 2000 м – для попутных.

Эшелоны отсчитываются от условного уровня, что соответствует среднестатистическому уровню Балтийского моря. Высота заданного эшелона измеряется как баровысота. При этом нулю отсчета высоты соответствует 760 мм рт. ст.

Минимальная высота эшелона зависит от рельефа местности. И нижний безопасный эшелон выбирается путем округления безопасной истинной высоты (рис. 7.2).

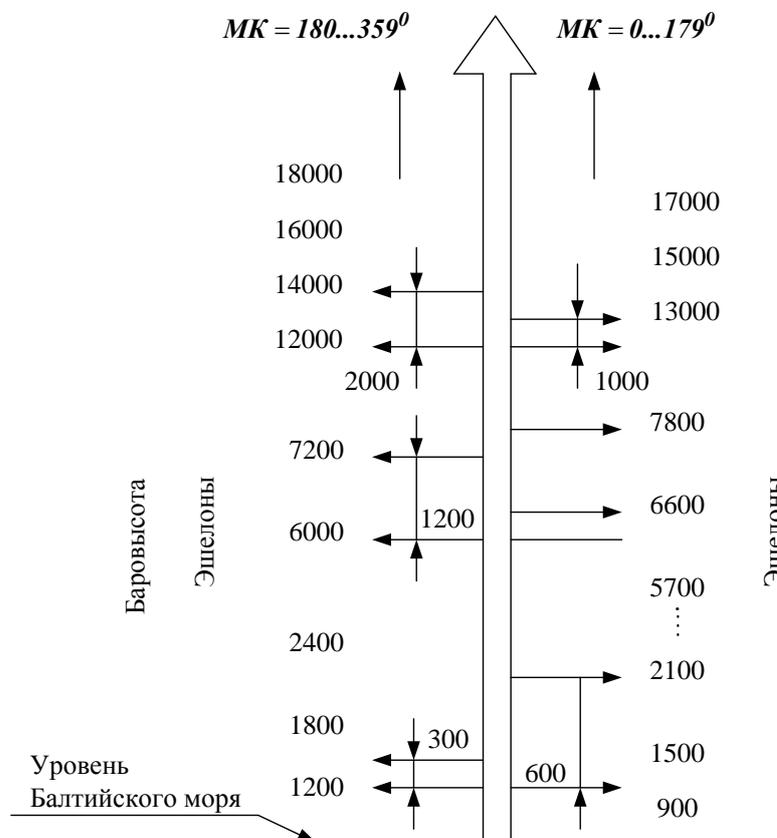


Рисунок 7.1 – Схема эшелонирования

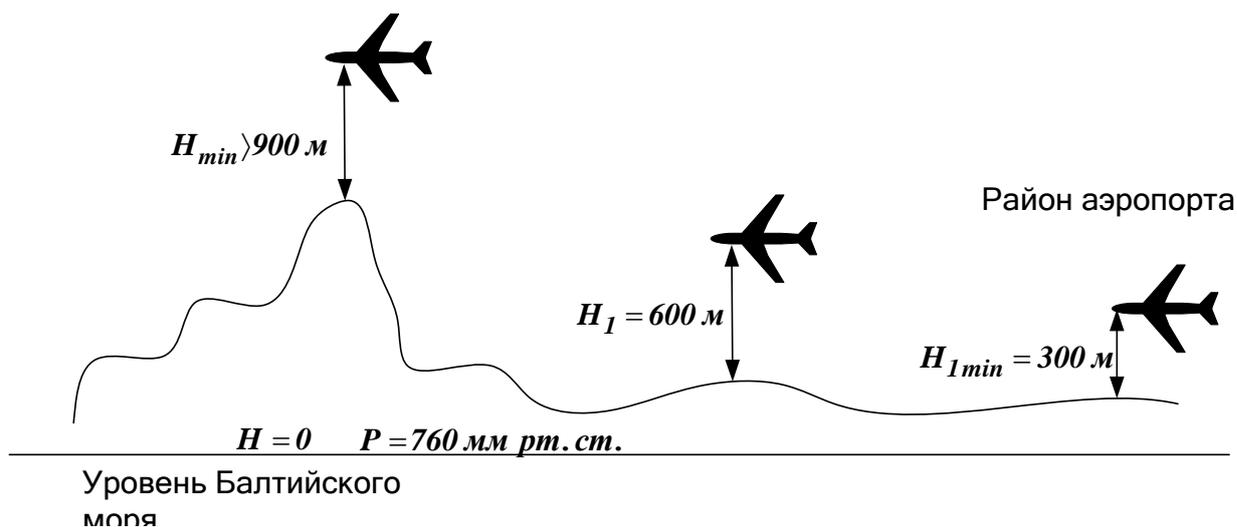


Рисунок 7.2 – Выбор нижнего безопасного эшелона

Требование к надежности и безопасности

У современных ПНК работоспособность в режиме счисления пути должна сохраняться при наличии одновременно двух отказов.

Это достигается за счет многократного резервирования, избыточности измерений и развитой системы контроля.

Эргономические требования

Простота управления всеми режимами работы ПНК совместно с удобством отображения пилотажно-навигационной информации.

Эргономические требования предусматривают оптимальное соединение (объединение) автоматического, директорного и ручного управления ЛА. При этом исходят из максимальной степени автоматизации и использования ручного управления как резервного при наделении летчика высшим приоритетом в принятии решений.

Требования к эксплуатационной технологичности ПНК

Одной из самых важных эксплуатационных требований к ПНК является:

- ✓ удобство проведения тарировочных, юстировочных работ;
- ✓ работ, связанных с выставкой ИНС, а также минимум времени, необходимого для подготовки бортового оборудования ПНК к полету.

Выставка ИНС в азимуте может быть проведена как за счет гирокомпассирования, так и за счет дробноструктурных географических полей (КЕС) и ориентиров, в том числе и на этапах рулежки и разбега ЛА.

Общая структура ПНК

ПНК – это рационально целевое и конструктивное объединение отдельных устройств, приводов и систем, управляемых одним или несколькими бортовыми вычислителями и предназначенный для решения взаимосвязанных задач автоматизированного самолетовождения.

ПНК в своем составе объединяет два комплекса:

- ✓ навигационный (НК);
- ✓ пилотажный (ПК).

В настоящее время разработано несколько отечественных и зарубежных структур НК и ПК, отличающихся составом, характером вычислителей, навигационными и другими возможностями.

С целью сокращения многотипности разрабатываются за последнее время три типа базовых ПНК:

- ✓ БПНК-1 – для региональных самолетов гражданской авиации;
- ✓ БПНК-2 – для среднемагистральных самолетов;
- ✓ БПНК-3 – для магистральных самолетов.

Для построения таких ПНК используется функционально-блочный принцип, преимуществом которого является возможность комплексирования отдельных подсистем ПНК, использование унифицированных блоков и обеспечение высокой точности и надежности. Состав ПНК представлен на рис. 7.3.

Датчики навигационной информации условно делятся на 2 группы:

- ✓ датчики навигационных параметров положения - предназначены для определения координат местонахождения ЛА относительно опорных линий, навигационных точек или положения объектов относительно самолета;

Лекция № 7. Структура пилотажно-навигационного комплекса.

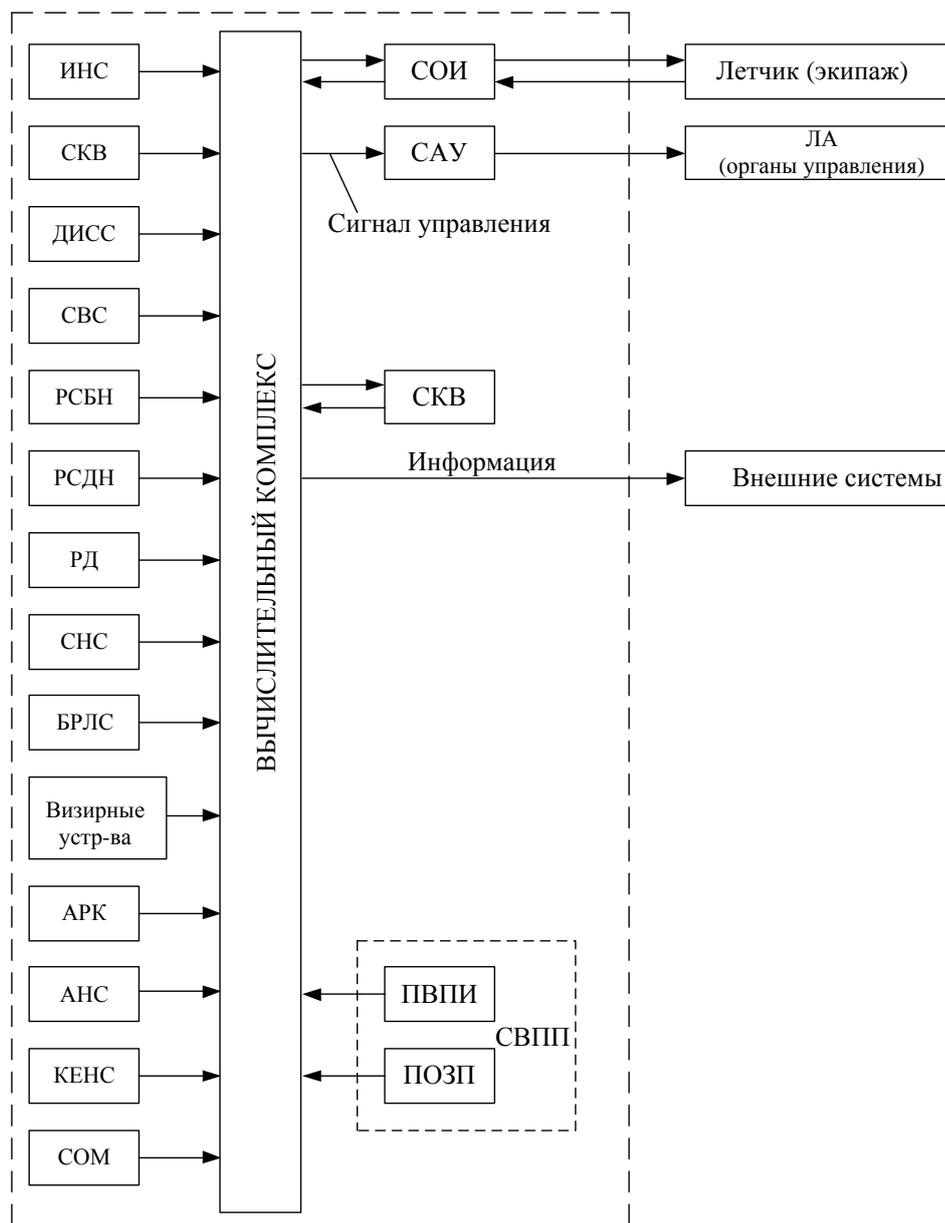


Рисунок 7.3 – Состав ПНК

✓ датчики навигационных параметров движения – измеряющие параметры вектора скорости и его составляющие: путевую скорость, вертикальную, направление полета.

Датчики пилотажной информации:

- ✓ измеряют параметры полета, которые характеризуют угловое движение ЛА: углы крена, тангажа, рыскания и их угловые скорости;
- ✓ датчики, характеризующие положение ЛА относительно набегающего потока: углы атаки и скольжения, воздушная скорость, числа Маха.

Наиважнейшими из пилотажно-навигационных датчиков и систем есть:

- ИНС - инерциальная навигационная система;
- ИВК - инерциальная курсовертикаль;
- СКВ - система курса и вертикали;
- ДИСС - доплеровский измеритель скорости и угла сноса;
- ИК ВСП - информационный комплекс высотно-скоростных параметров;
- СВС - система воздушных сигналов.

Наиболее информативной в данной группе датчиков и систем есть ИНС, которая позволяет автономно определять составляющие ускорения и скорости полета ЛА, гироскопический или ортодромический курс, углы крена, тангажа и может быть получена информация о положении ЛА в пространстве.

Если на ЛА ИНС отсутствует, то основными датчиками углового положения ЛА могут быть:

- ✓ гироскопические датчики вертикали – АГД (авиагоризонт дистанционный, ЦГВ или МГВ);
- ✓ датчики курса типа ГПК, ГИК (гироиндукционный комплекс, курсовые системы);
- ✓ инерциальные курсовертикали или системы курсовертикали.

С целью увеличения точности и надежности на базе ДИСС реализуется инерциально-доплеровский режим счисления пути.

К навигационным системам и датчикам, что определяют положение ЛА относительно навигационных точек, ориентиров, базовых линий, положения объектов относительно самолета относятся:

- ✓ радиотехнические системы ближней навигации (РСБН);
- ✓ радиотехнические системы дальней навигации (РСДН);
- ✓ дальномеры (РК, СНС);
- ✓ бортовые радиотехнические станции (БРЛС);
- ✓ разнообразные визирные устройства;
- ✓ автоматический радиокомплекс (АРК);

- ✓ астрономические навигационные системы (АНС);
- ✓ корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЕНС);
- ✓ самолетные ответчики (СО, СОМ).
- ✓ РСБН позволяет определить на борту ЛА его полярные координаты:
- ✓ азимут (истинный пеленг ЛА);
- ✓ дальность относительно наземного маяка, координаты которого заранее известны.

РСДН позволяет определить на борту ЛА его гиперболические координаты (в виде временных задержек принимаемых сигналов или разницы фаз относительно наземных станций с известными координатами). Эти данные в БЦВМ преобразуются в систему координат, в которой задана программа полета.

КЕНС и ИНС это наиболее современные системы. Эти системы обеспечивают экипаж информацией о координатах местоположения самолета, о направлении и скорости его движения в любой точке земного шара, на любых высотах и скоростях. При этом КЕНС требует предварительного картографирования физического поля Земли в районе полета ЛА и запоминание этих данных.

АРК используется для измерения курсовых углов приводных и широкополосных радиостанций при полете по маршруту и во время предпосадочного маневрирования.

Визирные устройства обеспечивают выявление, распознавание и определение координат ориентиров относительно системы координат, связанной с ЛА. Оптические, электронно-оптические, инфракрасные, телевизионные устройства определяют угловые координаты ориентира, т. е. измеряют углы места и курсовой угол ориентира, что затем используется для коррекции текущих координат ЛА. В качестве астронавигационных систем в ПНК используют автоматические секстанты, измеряющие высоты и курсовые углы навигационных звезд, месяца и Солнца, что используется для коррекции координат ЛА.

В табл. 7.4 приведены основные пилотажно-навигационные параметры с указанием измерителей.

Лекция № 7. Структура пилотажно-навигационного комплекса.

Таблица 7.3 - Пилотажно-навигационные параметры и средства их измерения

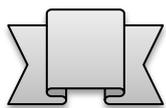
Группы параметров	Измеряемый параметр	Приборы и датчики	Информационные системы
Параметры движения центра масс	Координаты местоположения	—	РСБН/РСДН. Астроориентатор. ГИНС, БИНС. СНС
	Высота полета	Высотомер	СВС, БИНС.
	Путевая скорость	—	Доплеровский измеритель, ГИНС, БИНС, СНС
	Воздушная скорость	Указатель истинной, воздушной, приборной скорости и числа Маха	СВС
Параметры движения относительно центра масс	Вертикальная скорость	Высотомер	СВС, ГИНС, БИНС
	Курс	Авиационный компас (магнитный), гироскоп, астрокомпас	Курсовая система, курсовертикаль (ГИКВ, БИКВ), ГИНС, БИНС
	Крен, тангаж	Авиагоризонт	Гировертикаль, курсовертикаль, ГИНС, БИНС
	Углы атаки и скольжения	Указатель поворота и скольжения, датчик угла атаки	—
	Угловые скорости	Датчик угловой скорости	БИНС
Параметры относительного движения	Курсовой угол, дальность, отклонение от заданной линии движения	Радиолокатор, радиотехнический радиокомпас, дальномер	Радиолокатор, радиотехнические курсоглисадные средства посадки, радиотехнические средства межсамолетной навигации
Время	Полетное время	Часы	Бортовая система хранения времени

Самолетные автоответчики СО или СОМ – международный СО в автоматическом режиме передают наземным радиолокационным станциям службы управления воздушным движением информацию о номере самолета, высоте полета, запас топлива и др. параметры.

Объединяющим звеном всех средств, что входят в состав ПНК, является навигационный вычислитель (БЦВМ).

Важным элементом ПНК является система ввода программы полета (СВПП), т.е. в память ПНК вводятся параметры, которые характеризуют заданную траекторию полета. Программы вводят при помощи устройств ввода и индикации (ПВПИ), а также при помощи пульта оперативной смены программы полета (ПОЗП).

Для индикации навигационных параметров служит система отображения индикации (СВИ), включающая пилотажно-навигационные приборы, индикатор навигационной обстановки, табло навигационной сигнализации, картографические планшеты. На основании этой информации летчик и осуществляет полет (управление полетом). Эту же задачу может выполнять САУ. При заходе на посадку САУ формирует сигнал управления на командно-пилотажные индикаторы, с помощью которых пилот выполняет сложные траекторные маневры.



Привести качественные и количественные различия между БПНК-1, БПНК-2 и БПНК-3.

Дать характеристику зарубежных пилотажно-навигационных комплексов.

Термины для занесения в тезаурус: пилотажно-навигационный комплекс, пилотажный комплекс, навигационный комплекс, продольное эшелонирование, боковое эшелонирование, вертикальные эшелоны.