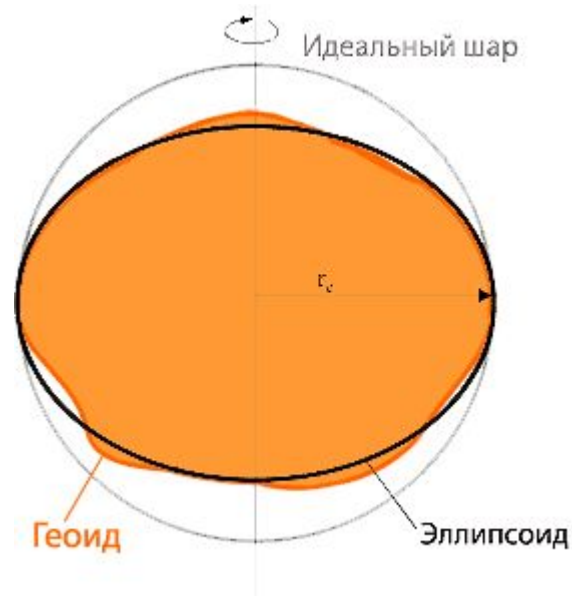


Самолетовождение

- Перед полетом:
 - составление оптимального (расход топлива, заданное время прибытия и т.д.) плана полета с учетом метеоусловий и возможных ограничений
- В полете
 - Определение текущих координат и заданного курса
 - Учет изменившихся условий в процессе полета
 - Взаимодействие с диспетчерскими службами (например векторение, когда диспетчер оперативно вмешивается в ход полета и определяет заданный курс)

Форма Земли



- Геоид – линия постоянного потенциала в гравитационном поле (поверхность, перпендикулярная местной вертикали)
- Эллипсоид – аппроксимация простой поверхностью

картография

- Картографическая проекция – отображение искривленной поверхности на плоскость
- Земной геоид (эллипсоид) заменяют на другую поверхность, разворачиваемую в плоскость. Переносится и сетка параллелей и меридианов

ИСКАЖЕНИЯ

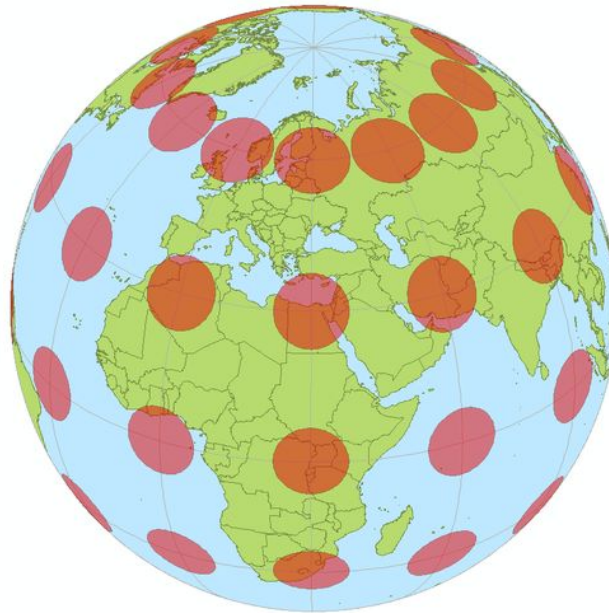
- Искажаются
 - Длины
 - Площади
 - Углы
 - Формы

Искажения длин

- Это базовое искажение, остальное можно считать следствием
- Возникает непостоянство масштаба плоского изображения. Масштаб различается от точки к точке и от направления в данной точке
- Главный масштаб – некоторое осреднение перечисленных

Эллипс искажения

- бесконечно малый эллипс в каждой точке на карте, являющийся изображением бесконечно малой окружности на поверхности эллипсоида



Вторичные искажения

- **Искажения площадей** - отклонение площади эллипса искажений от исходной площади на эллипсоиде.
- **Искажения углов** - разность углов между направлениями на карте и соответствующими направлениями на поверхности эллипсоида.
- **Искажения формы** — графическое изображение вытянутости эллипса.

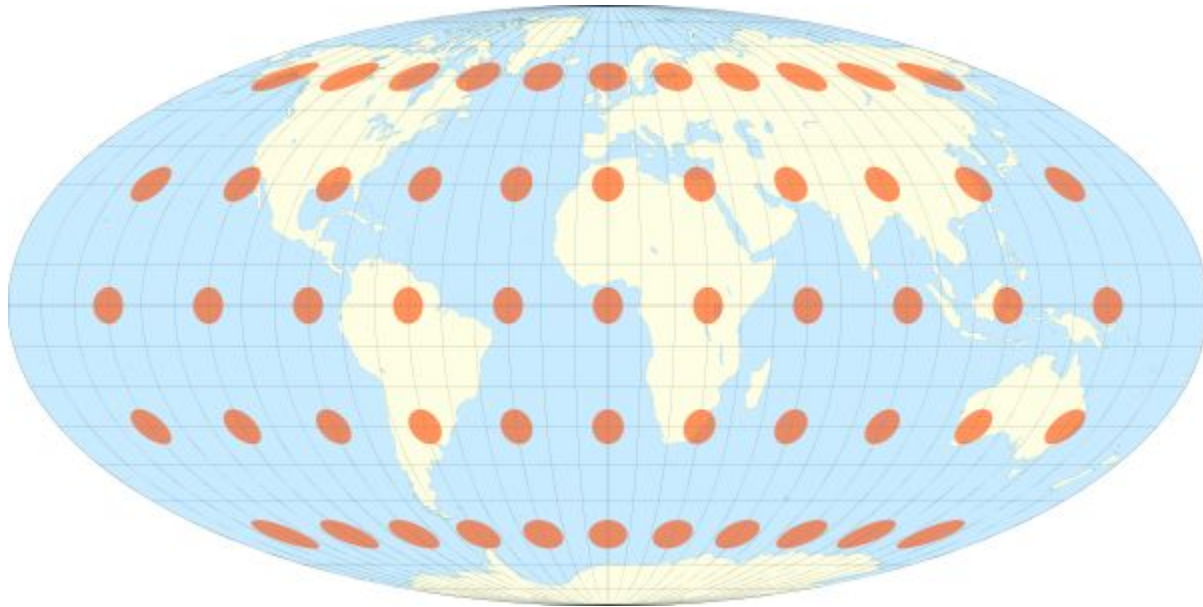
Классификация проекций по характеру искажения

- Равноугольные - без искажений углов.
Пример – цилиндрическая Меркатора.
Свойства
 - Масштаб не зависит от направления
 - Прямая на местности – прямая на карте
- Равновеликие – без искажения площадей, но с большим искажением углов и форм
- Произвольные – искажаются все параметры, но в оптимальном варианте.
Наиболее применяемые

Равноугольная проекция (Меркатора)

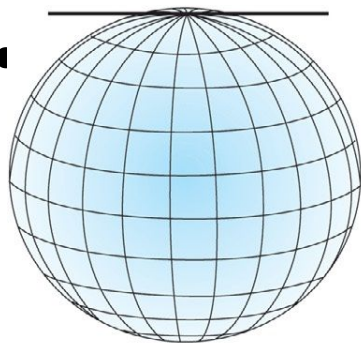


Равновеликая проекция

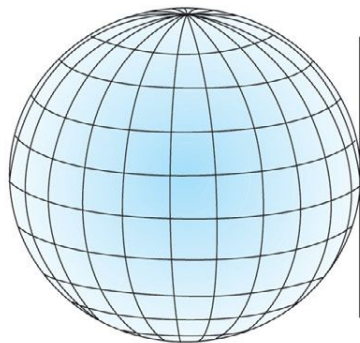


Азимутальная проекция

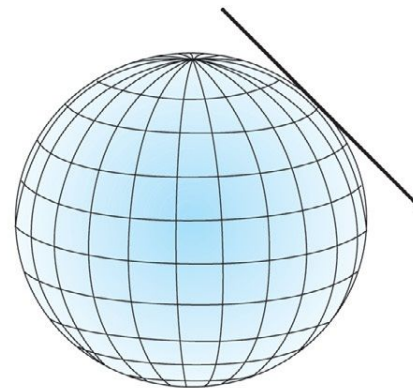
- Азимутальные проекции — на плоскость: касательную или пересекающую



Полярная



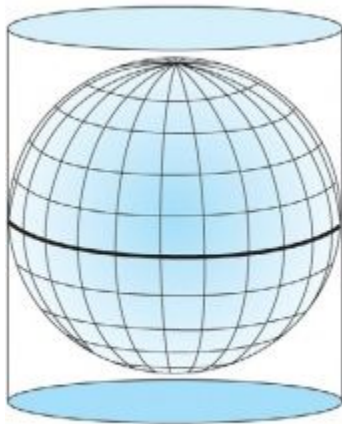
Экваториальная



Косая

Цилиндрическая проекция

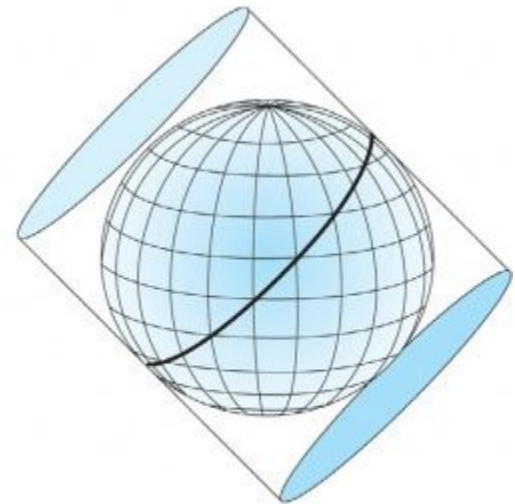
- На цилиндрическую поверхность различной ориентации



Нормальная



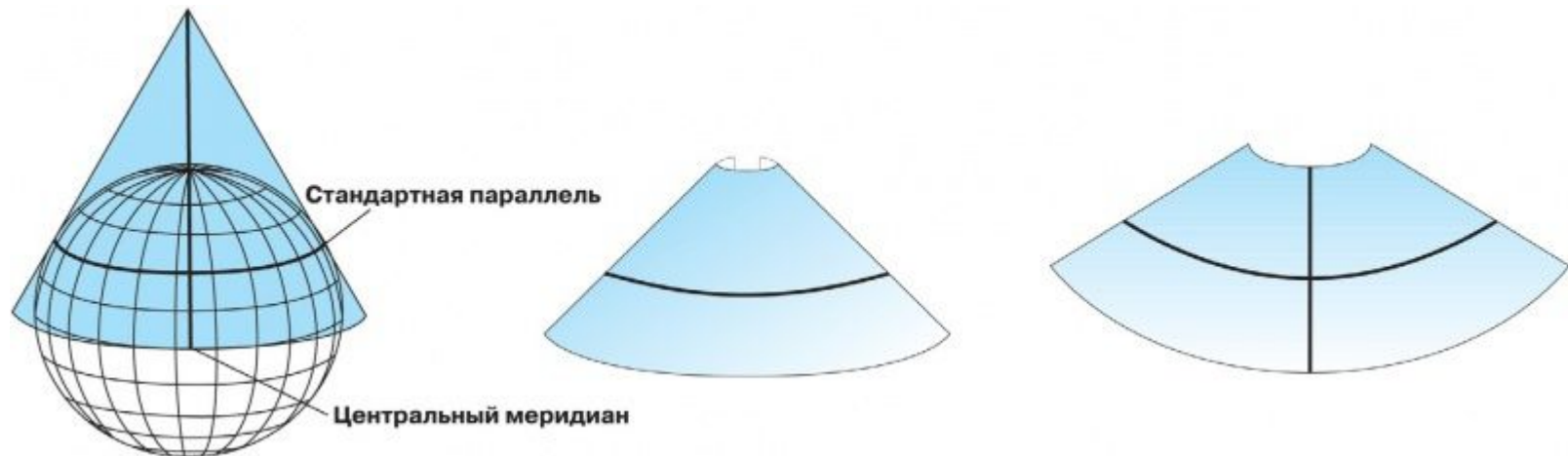
Поперечная



Косая

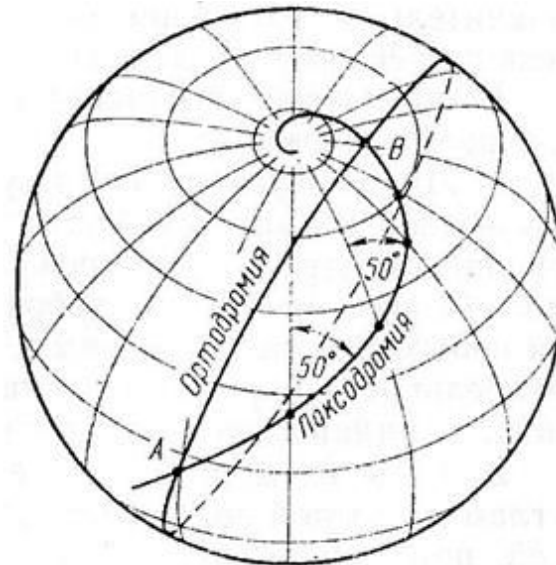
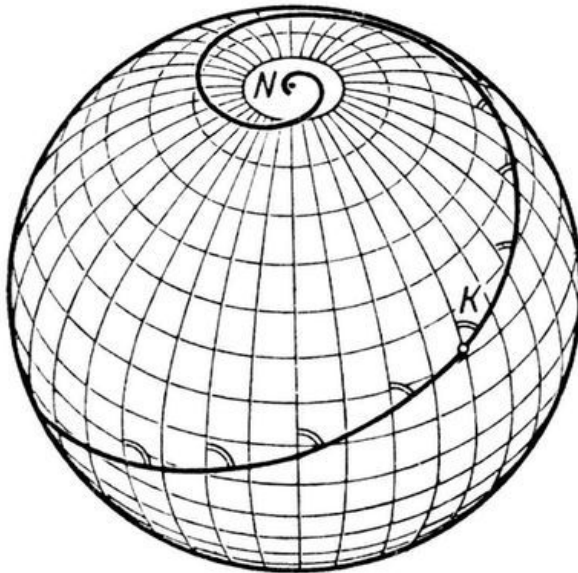
Коническая проекция

- На коническую поверхность; обычно ось совпадает с осью Земли



Ортодромия и локсодромия

- Локсодромия – линия движения с постоянным курсом
- Ортодромия – кратчайшая линия между двумя точками на поверхности Земли – линия пересечения поверхности Земли с плоскостью, проходящей через конечную и начальную точки и центр Земли



Автономное определение (счисление) координат

- Определение координат на основе данных о векторе путевой скорости без опоры на внешние источники информации (например, радиомаяки).
- Если в декартовой системе отсчета это просто интегрирование, в сферической системе координат (широта, долгота) необходимо учитывать, что при вычислении долготы пересчет перемещения вдоль параллели в угловые единицы зависит от широты

Счисление координат по воздушной скорости

- Если нет данных о векторе путевой скорости, используют курс и воздушную скорость. При этом необходимо учитывать данные о ветре; при их отсутствии накапливаются большие погрешности

Комплексные методы определения координат

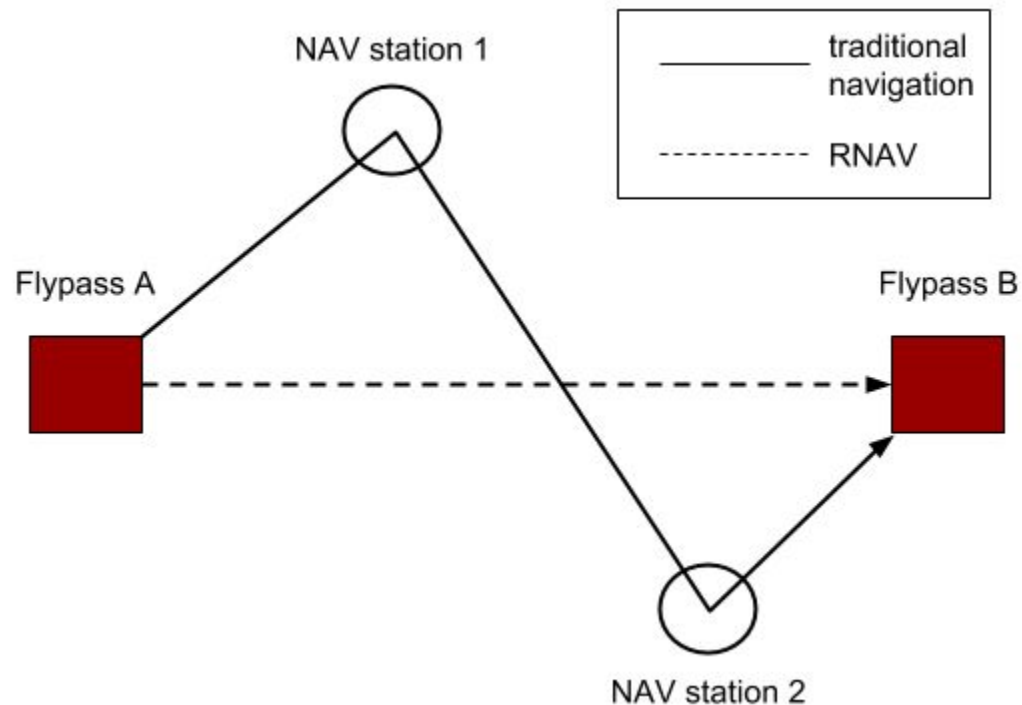
- Современные методы определения координат предполагают использование разнородной избыточной информации (автономной и внешней, получаемой радиотехническими методами)
- Используется математический аппарат фильтра Калмана.

Взаимодействие с диспетчером

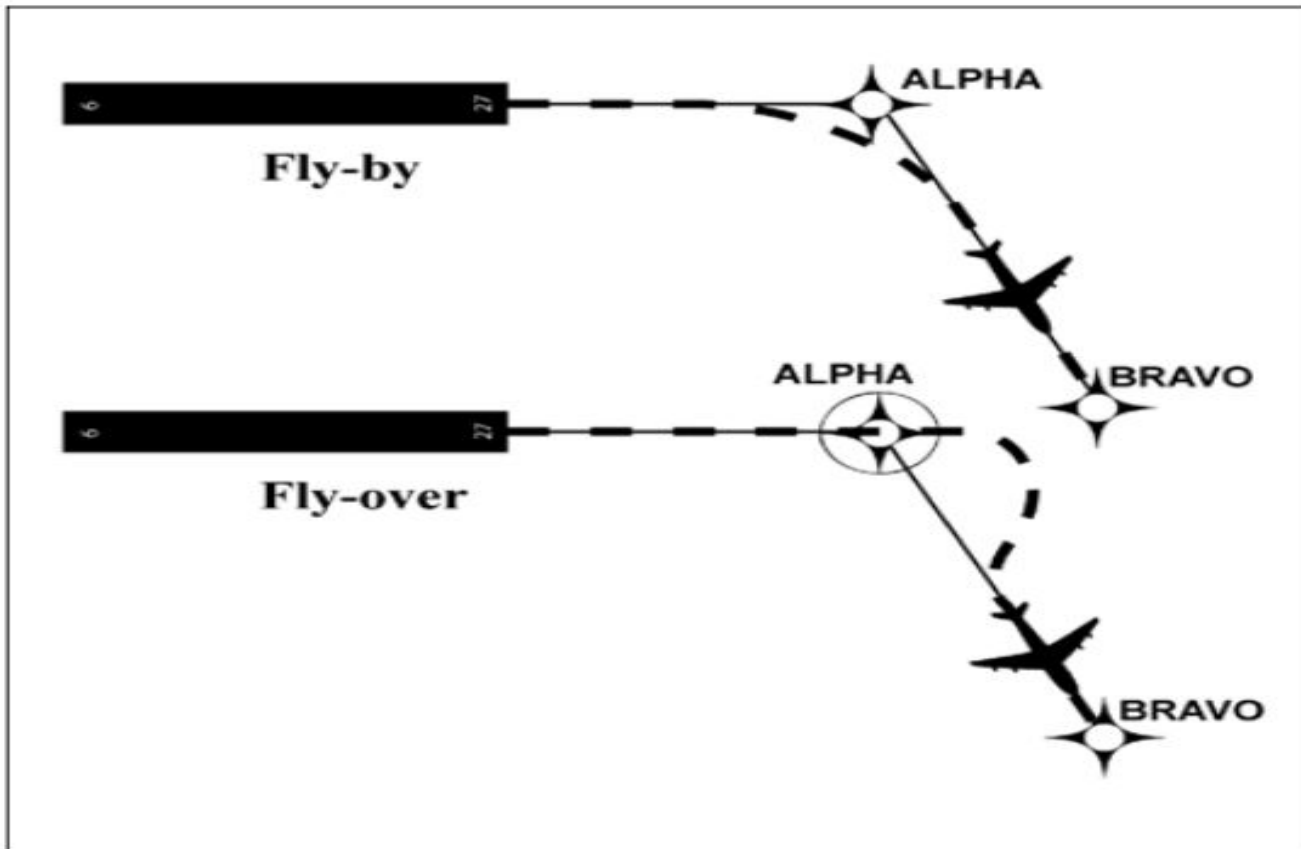
Два подхода к выбору заданной линии пути.

- **Полет на маяк.** Предполагает минимальное оборудование борта, ломаную траекторию от точки к точке.
- **Зональная навигация.** В случае, если на борту непрерывно определяются координаты, траекторию можно не привязывать к маякам, т.е. выбирать более короткую, например по ортодромии.

RNAV (Random Navigation, Area Navigation)



Пролет ППМ



План полета

- Информация о предстоящем полете в строго заданной форме, передаваемая в органы ОрВД
- Важные аспекты
 - Время вылета
 - Маршрут
 - Запасные аэродромы
 - Высота
 - запас топлива
 - И т.д.

Навигационный запас топлива

- Дополнение к планируемому расходу топлива с учетом
 - Возможного изменения маршрута из-за метеоусловий
 - Возможного пребывания в зоне ожидания
 - Возможной необходимости ухода на запасной аэродром
- Последнее особенно важно в зонах, где мал выбор запасных аэродромов

FMS, ВСС

- Вычислительное устройство
 - Хранение актуальной части базы данных
 - План полета
 - Сбор текущих данных от навигационных измерителей
 - Комплексная обработка и формирование оптимальных оценок текущих координат
 - Формирование команд в САУ о заданных параметрах (скорость, крен, высота и т.д.)
- Пульт управления

Пульт FMS



Навигационные базы данных

- Размещение и состояние аэродромов, препятствий, навигационных и посадочных средств и т.д.
- Актуальность базы данных – соответствие текущей ситуации
- Актуальность поддерживается ежемесячным обновлением

ARINC 424

Нормативный документ, определяющий процедуры изменения, хранения и переноса навигационной базы данных на другой носитель

Используются циклические избыточные коды (CRC – cyclic redundancy code), позволяющие не только выявить факт ошибки, но и в некоторых случаях исправить. Добавляются несколько бит, которые формируются как остаток от деления передаваемого сообщения на некоторое наперед заданное число. У получателя деление повторяется и остаток сравнивается с полученным.

Нормирование навигационных характеристик

PBN- performance based navigation – нормативы обеспечения навигации, не ориентированные на конкретные методы определения координат. Две разновидности назначения нормативов на конечные характеристики

- RNAV – оговаривается точность (95%)
- RNP – required navigation performance – дополнительно предусмотрен бортовой мониторинг, обеспечивающий выявление аномалий.

Достоинства РВН

- Позволяет оптимизировать использование воздушного пространства (выбор маршрута)
- Изменение структуры наземного оборудования (перемещение VOR) не влияет на процедуру использования ВП
- То же относится к появлению новых средств (GNSS)

Нормативы RNAV

Компоненты погрешностей

- PDE – Path Definition Error
- NSE – Navigation System Error
- FTE – Flight Technical Error

Компоненты считаются случайными независимыми, результирующая погрешность

- TSE – Total System Error образуется суммированием независимых случайных величин

Классификация RNAV

- RNAV X – в течение 95% времени погрешность не превосходит X миль
- Например RNAV-4
- Вследствие отсутствия мониторинга целостности
 - Используется в основном при наличии независимого (радиолокационного) наблюдения
 - Не используется для захода на посадку

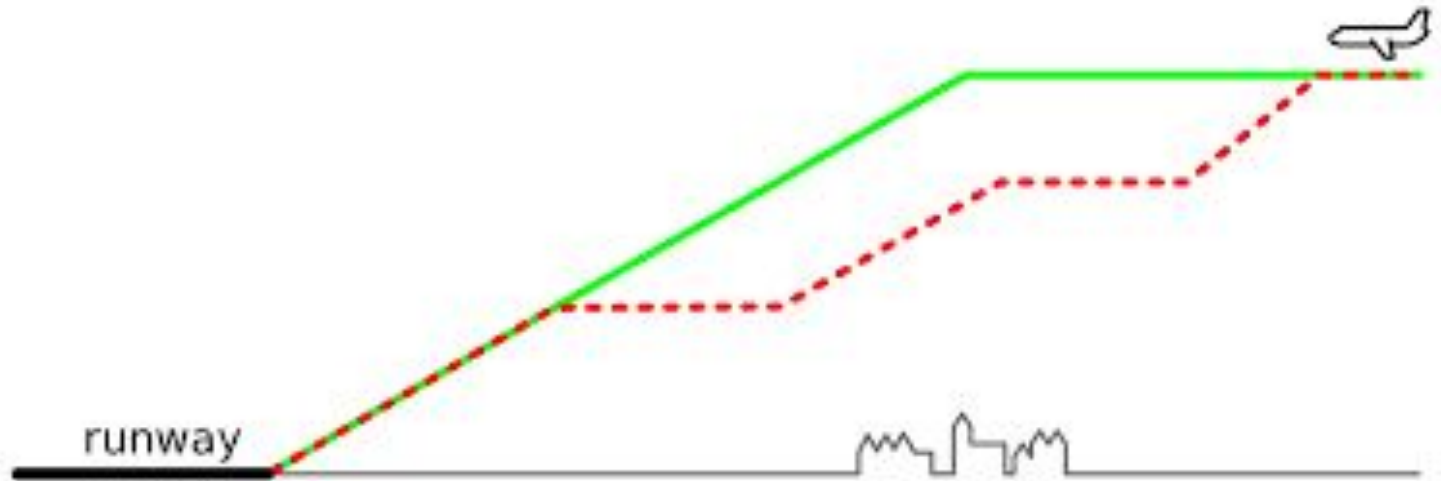
RNP

- Важнейшее отличие от RNAV – бортовой мониторинг целостности.
- Экипаж оповещается о ситуациях, когда
 - ANP (actual navigation performance) вдвое превышает TSE; вероятность пропуска ситуации – не более 10^{-5}
 - оборудование неспособно обеспечить предыдущий пункт
- Мониторинг позволяет расширить применения (например, обеспечение полета по трехмерной траектории, использование при отсутствии независимого наблюдения)

Классификация RNP

- Стандартное обозначение аналогично RNAV, например RNP-4 соответствует TSE=0,3 мили
- Дополнительная классификация связана с использованием при заходе на посадку, например RNP AR APCH. AR – authorization required - предъявляются дополнительные требования к авионике и пилоту, при этом расширяются возможности захода на аэродромы со сложным рельефом, а также перейти на приближение к аэродрому с непрерывным снижением.

Continues Descent approach



Особенности текущего этапа РВН

- Не охватываются процедуры, где требования к характеристикам выражаются не в линейных, а в угловых единицах (связанные с посадкой). В дальнейшем предполагаются расширения подхода.

Оптимизация полета

- Примеры оптимизации
 - По расходу топлива: уточняется траектория с учетом ветра, высота исходя из минимизации километрового расхода (переход на более высокий эшелон по мере выработки топлива)
 - По времени прибытия. Актуально при полете к загруженному аэродрому, чтобы не попасть в зону ожидания.

Эшелонирование

- Неудачное использование французского слова «ступень» в русском языке.
Международный термин – separation – разделение, недопущение опасных сближений при диспетчерском обслуживании.
- Разделение предусматривается в горизонтальной и вертикальной плоскостях
 - Вертикальное эшелонирование 300 метров
 - Горизонтальное – довольно сложная процедура