

## **Лабораторная работа №2**

### **«Исследование принципов работы и основных характеристик системы АЗН»**

Цель работы: ознакомление, изучение работы и основных характеристик системы АЗН, анализ точностных показателей и их зависимость от различных параметров, проведение математического расчета погрешностей навигационной информации возникающих в процессе эксплуатации.

#### Домашнее задание:

1. Изучение теоретического материала.
2. Анализ процесса определения координат ВС в режиме АЗН.
3. Изучение алгоритма проведения математического расчета.

#### Основные теоретические сведения.

Система АЗН предназначена для обеспечения:

- ✓ –информацией диспетчеров УВД о воздушной обстановке получаемой от воздушных судов (ВС);
- ✓ –информацией экипажа о воздушной обстановке, получаемой от системы УВД или от других ВС, оснащенных данной системой.

Контроль полета ВС осуществляемый на основе автоматических зависимых наблюдений, основан на навигационных измерениях, получаемых на борту ВС с помощью спутниковой навигационной аппаратуры, данные с которой передаются на диспетчерский пункт по радиоканалу.

Аппаратура наземного (диспетчерского) модуля должна включать в себя приемную аппаратуру и ПЭВМ с программным обеспечением, позволяющим отображать трассы полетов ВС на фоне электронной карты местности или в другой форме (по выбору диспетчера).

Радиус действия (дальность радиосвязи) зависит от мощности бортового передатчика и высоты полета (при использовании УКВ диапазона).

Система АЗН может заменить традиционные средства наблюдения в районах, где их установка нецелесообразна или невозможна из за финансовых или других проблем связанных с установкой радиолокаторов устанавливающих жесткие требования к рельефу местности.

Точность систем АЗН зависит от точности навигационной системы (ошибки измерений  $\Delta u_u$ ) установленной на борту ВС, от которой система получает информацию и от динамической ошибки самой системы АЗН ( $\Delta u_d$ ).

Общая ошибка системы отсюда будет:

$$\Delta y_u + \Delta y_d \quad (2.1)$$

Будем ориентироваться при выборе допусков по точности системы на ширину коридора воздушной трассы – 10 км. Отсюда получим, что суммарная ошибка не должна, превышать величину – 5 км (половина ширины коридора) (рис 2.1.).

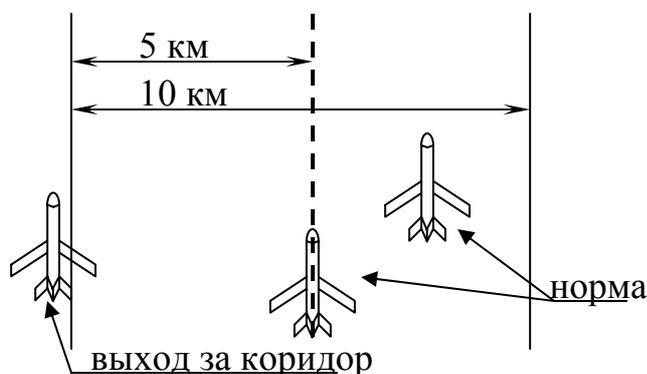


Рис 2.1. Воздушная трасса

Принцип работы системы АЗН заключается в том, что информация о местоположении вместе с дополнительными данными с навигационных систем ВС автоматически, или по запросу с Земли, должна передаваться на Землю для использования службами воздушного движения через промежутки времени, длительность которых определяет состав передаваемой информации: характер ситуации в полете, степень срочности (приоритет).

Для режима АЗН весь земной шар разделен на четыре типа районов применения зависимого наблюдения: океанические, маловысотные, континентальные с низкой плотностью воздушного движения, с высокой плотностью воздушного движения, где для разных зон автоматически выбирается свой период повторения

Необходимо также передавать данные о резервировании навигационной аппаратуры. Крайне желательно проставлять отметки времени на борту ВС для уменьшения погрешности за счет привязки по времени.

Обработка информации и прогнозирование воздушной обстановки при применении независимого наблюдения возможна только при наличии автоматизированной системы УВД. При обработке информации выполняются операции построения траектории ВС и ее экстраполяции. Качество выполнения этих операций существенно влияет на состав и периодичность передаваемой информации.

Практически во всех АС УВД применяют линейное сглаживание траекторий и линейную экстраполяцию, используя метод наименьших квадратов. Существуют и более сложные алгоритмы построения траекторий. В случае отклонения траектории от линейной применяют алгоритм обнаружения маневра по аномально большой погрешности отклонения полученного значения координат от ожидаемого (в предположении

равномерного прямолинейного движения) и сокращают интервал предполагаемого линейного участка. Особенно удачно модели линейного отклонения применяются если решается задача бокового отклонения ВС от заданной траектории движения.

В принципе, при маневрировании ВС возможно получение с борта ВС данных о векторе ускорения и построение траектории по более сложному закону. Это усложняет алгоритмы обработки сигналов на земле, и при обслуживании большого числа ВС автоматизированными системами УВД резко возрастают требования к вычислительной технике. Поэтому рекомендуется передавать на землю по требованию не значение вектора ускорения, а вычисленное на борту экстраполированное, на два интервала времени положение ВС.

Рассмотрим пример. ВС двигалось по маршруту прямолинейно до момента  $t_{-1}$ . В этот же момент произошла передача данных системой АЗН на землю о том что находился в точке  $A_{-1}$ . Аппаратура диспетчера строит линию экстраполяции. При экстраполяции полагают, что ВС будет продолжать движение в течении времени  $\Delta t$  до следующего сеанса связи со скоростью  $V_u$  из точки  $A_{-1}$  прямолинейно. Поэтому система ожидает появления ВС в точке  $A_0$  с координатами (рис 2.2.):

$$A_0 = \Delta t * V_u + A_{-1} \quad (2.2.)$$

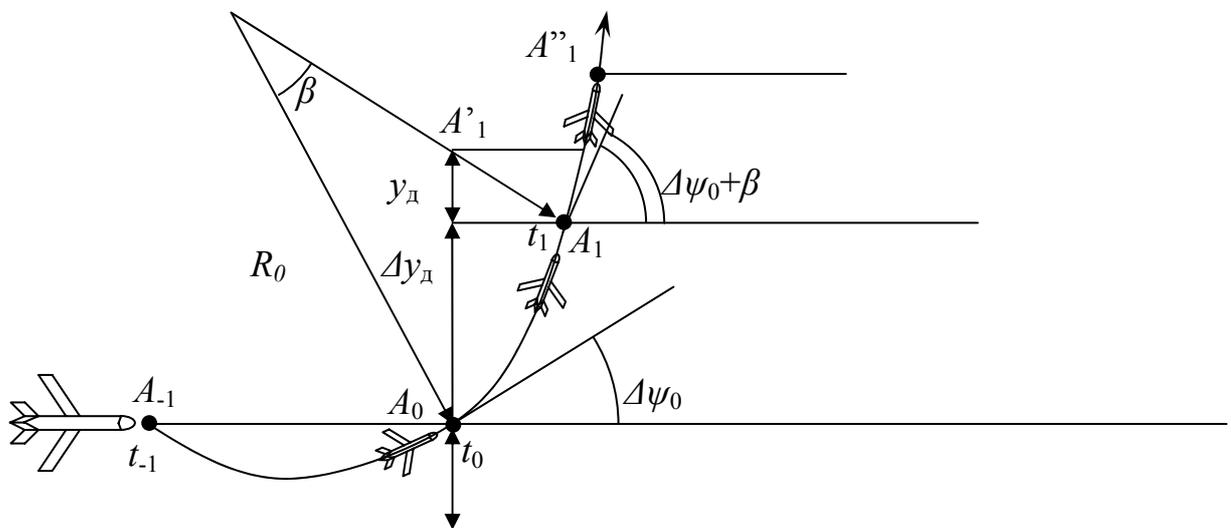


Рис 2.2. Маневрирование ВС

После момента  $t_{-1}$  ВС начало совершать маневр – горизонтальный вираж влево. Через время  $\Delta t$  система посылает на землю координаты ВС из точки  $A_0$ .

Появляется угол отклонения  $\Delta\psi_0$  оси ВС от линии экстраполяции в момент передачи сообщения характеризующий динамическую ошибку.

Для совершения виража ВС необходимо изменить свой угол крена  $\gamma$ , от которого зависит его крутизна. Причем минимальный радиус разворота, ограничивается углом крена:

$$R_0 = \left( \frac{V_u^2}{g} \right) * \tan(\gamma), \quad (2.3.)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения [ $=9,8$  м/с<sup>2</sup>];  $V_u$  – истинная воздушная скорость [м/с].

Боковое отклонение от линии экстраполяции составит:

$$\Delta y_\delta(\Delta t) = R_0[\cos \Delta \psi_0 - \cos(\Delta \psi_0 + \beta)] + U_{\max} * \Delta t \quad (2.4.)$$

где  $\Delta \psi_0$  – максимально возможный угол отклонения оси ВС от линии экстраполяции в момент передачи сообщения;  $\beta$  – максимальный угол, на который можно повернуть ВС за время  $\Delta t$ ;  $U_{\max}$  – максимальная скорость ветра (рис. 2.5.);  $\Delta t$  – время до момента начала передачи сообщения.

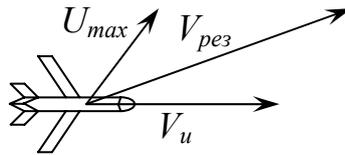


Рис. 2.5. Диаграмма векторов скоростей ВС.

Угол  $\beta$  находится из выражения :

$$\beta = \frac{V_u * \Delta t}{R_0} \quad (2.5.)$$

Значение времени  $\Delta t$  в системе АЗН получается следующим образом:

$$\Delta t = [\tau_1 + \tau_2 + \tau_3] + T \quad (2.6.)$$

где  $\tau_1$  – время распространения радиоволн в пространстве;  $\tau_2$  – анализ данных системой;  $\tau_3$  – разного рода помехи;  $T$  – период АЗН.

Период  $T$  выбирается исходя из ситуации, и колеблется от 300 сек. при полете по прямолинейному участку трассы без тенденции ее нарушения и до 5-7 сек. при полете в особых условиях или при полетах требующих специального контроля.

В результате мы можем получить суммарную погрешность системы:

$$\Delta y_\Sigma = \Delta y_u + R_0[\cos \Delta \psi_0 - \cos(\Delta \psi_0 + \beta)] + U_{\max} * \Delta t \quad (2.7.)$$

### Задание к экспериментальной части работы.

После выполнения домашнего задания и проработки теоретического материала можно приступить к работе с программным продуктом лабораторной работы №2. Следовать подсказкам на экране. Получить допуск к работе, ответив на контрольные вопросы в программе. Получить номер варианта и приступить к математическому исследованию, согласно полученному варианту. После получения результатов исследования отразить их в отчете согласно требованиям и представить их на защиту преподавателю.

### Задание к математической части работы.

Построить две системы графиков зависимостей суммарной погрешности  $\Delta y_{\Sigma}$  от значения времени  $\Delta t$ . Используя следующие условия:  
где  $\Delta t$  меняется от 0 до 90 с и от 90 до 300 с

- 1) Скорость ветра  $U_{max}=40-60$  м/с [50 м/с], значение крена  $\gamma = 0$ ;
- 2а) Скорость ветра  $U_{max} = 0$ ; воздушная скорость ВС  $V_u=250$  м/с; значение крена  $\gamma= 3^\circ$ ; угол отклонения  $\Delta\psi_0 = 0^\circ$ ;
- 2в) Скорость ветра  $U_{max} = 0$ ; воздушная скорость ВС  $V_u=250$  м/с; значение крена  $\gamma= 15^\circ$ ; угол отклонения  $\Delta\psi_0 = 0^\circ$ ;
- 2с) Скорость ветра  $U_{max} = 0$ ; воздушная скорость ВС  $V_u=250$  м/с; значение крена  $\gamma= 30^\circ$ ; угол отклонения  $\Delta\psi_0 = 0^\circ$ ;
- 3) Скорость ветра  $U_{max} = 0$ ; воздушная скорость ВС  $V_u=250$  м/с; значение крена  $\gamma= 30^\circ$ ; угол отклонения  $\Delta\psi_0 = 12^\circ$ ;
- 4а) Скорость ветра  $U_{max}=40-60$  м/с; воздушная скорость ВС  $V_u=250$  м/с; значение крена  $\gamma= 30^\circ$ ; угол отклонения  $\Delta\psi_0 = 12^\circ$ ;
- 4в) Скорость ветра  $U_{max}=40-60$  м/с; воздушная скорость ВС  $V_u=250$  м/с; значение крена  $\gamma= 30^\circ$ ; угол отклонения  $\Delta\psi_0 = 90^\circ$ .

При построении учесть совмещение графиков. Отдельно для временного отрезка 0–90 с и 90–300 с.

Произвести анализ полученных данных. На основании сделать выводы: какая из ситуаций требует наименьшего периода АЗН, а какая большего.

### Контрольные вопросы

1. Что такое автоматическое зависимое наблюдение?
2. Как расшифровывается аббревиатура ADS?
3. Какие режимы поддерживает система АЗН?
4. В каких районах и почему целесообразно использование систем АЗН?
5. Как реализована система выбора периода между сеансами связи АЗН?
6. Зачем при АЗН передают информацию о типе навигационного оборудования на ВС, о наличии резерва?
7. Изменяется ли точность или другие параметры при изменениях в движении ВС при АЗН?
8. Чем ограничивается дальность действия системы и её пропускная способность?

Примерный вариант отчёта по лабораторной работе №2

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Кафедра технической эксплуатации радиотехнического  
оборудования и связи

Отчет по лабораторной работе №2

«Исследование принципов работы и основных характеристик  
системы АЗН »

Выполнила: студентка группы РС5-1  
Котова Е.Е.

Москва – 2006

Цель работы: ознакомление, изучение работы и основных характеристик системы АЗН, анализ точностных показателей и их зависимость от различных параметров, проведение математического расчета погрешностей навигационной информации, возникающих в процессе эксплуатации.

Основные теоретические сведения.

Система АЗН предназначена для обеспечения:

-информацией диспетчеров УВД о воздушной обстановке получаемой от ВС;

-информацией экипажа о воздушной обстановке, получаемой от системы УВД или от других ВС, оснащенных данной системой.

Контроль полета ВС, осуществляемый на основе АЗН, основан на навигационных измерениях, получаемых на борту ВС с помощью спутниковой навигационной аппаратуры, данные с которой передаются на диспетчерский пункт по радиоканалу.

Радиус действия (дальность радиосвязи) зависит от мощности бортового передатчика и высоты полета (при использовании УКВ диапазона).

Точность систем АЗН зависит от точности навигационной системы (ошибки измерений  $\Delta y_i$ ), установленной на борту ВС, от которой система получает информацию и от динамической ошибки самой системы АЗН ( $\Delta y_D$ ).

Общая ошибка системы:  $\Delta y_i + \Delta y_D$

Принцип работы системы АЗН заключается в том, что информация о местоположении вместе с дополнительными данными с навигационных систем ВС автоматически, или по запросу с Земли, должна передаваться на Землю для использования службами воздушного движения через промежутки времени, длительность которых определяет состав передаваемой информации: характер ситуации в полете, степень срочности (приоритет).

Обработка информации и прогнозирование воздушной обстановки при применении независимого наблюдения возможна только при наличии автоматизированной системы УВД. При обработке информации выполняются операции построения траектории ВС и ее экстраполяции. Качество выполнения этих операций существенно влияет на состав и периодичность передаваемой информации.

Практически во всех АС(автоматизированная система) УВД применяют линейное сглаживание траекторий и линейную экстраполяцию, используя метод наименьших квадратов.

Экспериментальная часть:

$$\Delta y_u := 0.001$$

$$g := 9.8$$

$$1) U_{\max} := 40 \quad V_H := 0 \quad \Delta\Psi_0 := 0$$

$$\gamma := 0 \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta t := 0..90$$

$$\Delta t_1 := 90..300$$

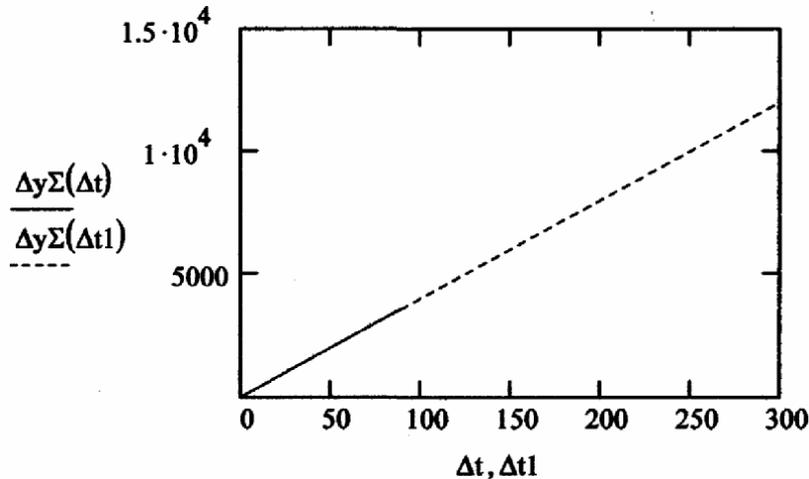
$$R_o = \left( \frac{V_H^2}{g} \right) \cdot \tan(\gamma) \quad R_o := 0$$

$$\beta(\Delta t) := \frac{V_H \cdot \Delta t}{R_o} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta y_{\Sigma}(\Delta t) := \Delta y_u + R_o \cdot (\cos(\Delta\Psi_0) - \cos(\Delta\Psi_0 + \beta(\Delta t))) + U_{\max} \cdot \Delta t$$

$$\beta(\Delta t_1) := \frac{V_H \cdot \Delta t_1}{R_o} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta y_{\Sigma}(\Delta t_1) := \Delta y_u + R_o \cdot (\cos(\Delta\Psi_0) - \cos(\Delta\Psi_0 + \beta(\Delta t_1))) + U_{\max} \cdot \Delta t_1$$



При значении угла крена  $\gamma = 0$  суммарная погрешность системы имеет линейный характер и зависит от точности навигационной системы  $\Delta y_u$  и от значения времени в системе АЗН  $\Delta t$ . Т.е с увеличением периода АЗН увеличивается суммарная погрешность системы. Следовательно необходимо уменьшать период АЗН.

2a)  $U_{\max} := 0$     $V_H := 250$     $\Delta\Psi_0 := 0$

$$\gamma := 3 \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta t := 0..90$$

$$\Delta t_1 := 90..300$$

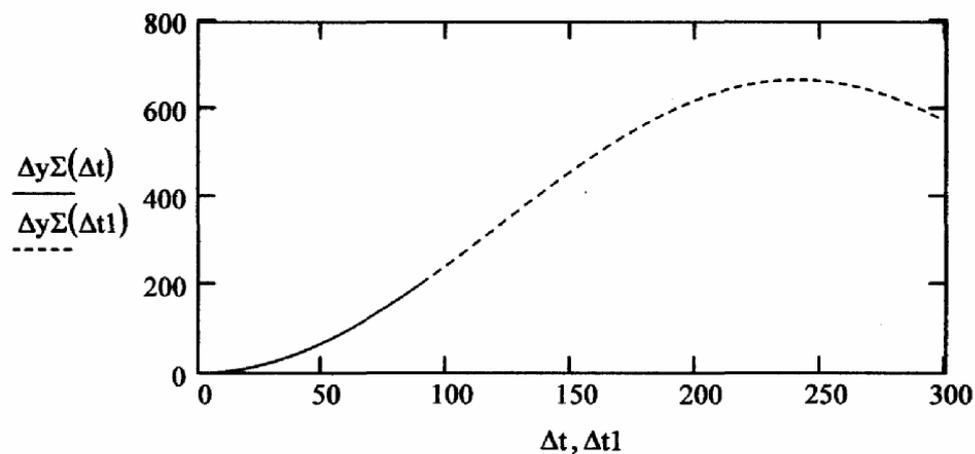
$$R_o := \left( \frac{V_H^2}{g} \right) \cdot \tan(\gamma) \quad R_o = 334.233$$

$$\beta(\Delta t) := \frac{V_H \cdot \Delta t}{R_o} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta y \Sigma(\Delta t) := \Delta y_u + R_o \cdot (\cos(\Delta\Psi_0) - \cos(\Delta\Psi_0 + \beta(\Delta t))) + U_{\max} \cdot \Delta t$$

$$\beta(\Delta t_1) := V_H \cdot \frac{\Delta t_1}{R_o} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta y \Sigma(\Delta t_1) := \Delta y_u + R_o \cdot (\cos(\Delta\Psi_0) - \cos(\Delta\Psi_0 + \beta(\Delta t_1))) + U_{\max} \cdot \Delta t_1$$



2b)  $U_{\max} := 0$     $V_H := 250$     $\Delta\Psi_0 := 0$

$$\gamma := 15 \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta t := 0..90$$

$$\Delta t_1 := 90..300$$

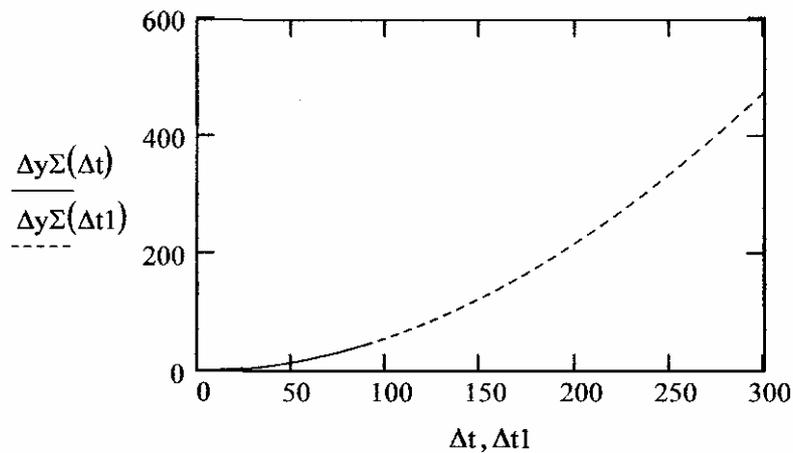
$$R_o := \left( \frac{V_H^2}{g} \right) \cdot \tan(\gamma) \quad R_o = 1.709 \times 10^3$$

$$\beta(\Delta t) := V_{II} \cdot \frac{\Delta t}{R_o} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta y \Sigma(\Delta t) := \Delta y_u + R_o \cdot (\cos(\Delta \Psi_0) - \cos(\Delta \Psi_0 + \beta(\Delta t))) + U_{max} \cdot \Delta t$$

$$\beta(\Delta t_1) := V_{II} \cdot \frac{\Delta t_1}{R_o} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta y \Sigma(\Delta t_1) := \Delta y_u + R_o \cdot (\cos(\Delta \Psi_0) - \cos(\Delta \Psi_0 + \beta(\Delta t_1))) + U_{max} \cdot \Delta t_1$$



$$2c) U_{max} := 0 \quad V_{II} := 250 \quad \Delta \Psi_0 := 0$$

$$\gamma := 30 \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta t := 0..90$$

$$\Delta t_1 := 90..300$$

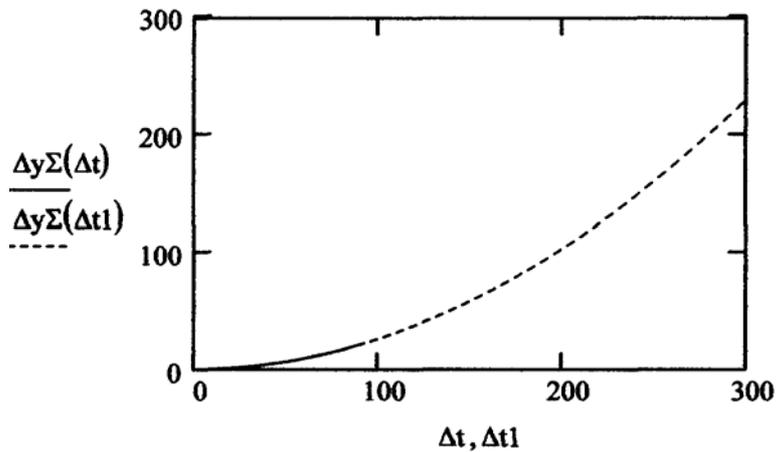
$$R_o := \left( \frac{V_{II}^2}{g} \right) \cdot \tan(\gamma) \quad R_o = 3.682 \times 10^3$$

$$\beta(\Delta t) := V_{II} \cdot \frac{\Delta t}{R_o} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta y \Sigma(\Delta t) := \Delta y_u + R_o \cdot (\cos(\Delta \Psi_0) - \cos(\Delta \Psi_0 + \beta(\Delta t))) + U_{max} \cdot \Delta t$$

$$\beta(\Delta t_1) := V_{II} \cdot \frac{\Delta t_1}{R_o} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta y \Sigma(\Delta t_1) := \Delta y_u + R_o \cdot (\cos(\Delta \Psi_0) - \cos(\Delta \Psi_0 + \beta(\Delta t_1))) + U_{max} \cdot \Delta t_1$$



В случае, когда скорость ветра  $U_{\max} = 0$  и при изменении угла крена  $\gamma$  суммарная погрешность системы имеет нелинейный характер. При этом видно, что с увеличением угла крена уменьшается суммарная погрешность системы, следовательно можно увеличивать период АЗН.

3)  $U_{\max} := 0$   $V_H := 250$

$$\gamma := 30 \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta t := 0..90$$

$$\Delta \Psi_0 := 12 \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta t_1 := 90..300$$

$$R_o := \left( \frac{V_H^2}{g} \right) \cdot \tan(\gamma)$$

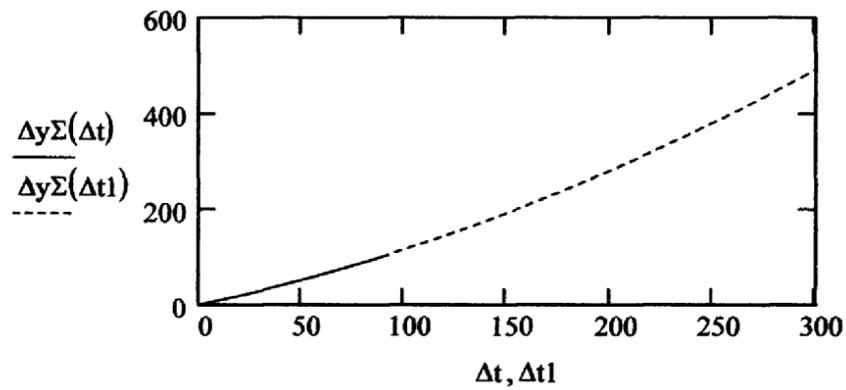
$$R_o = 3.682 \times 10^3$$

$$\beta(\Delta t) := V_H \cdot \frac{\Delta t}{R_o} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta y_{\Sigma}(\Delta t) := \Delta y_u + R_o \cdot (\cos(\Delta \Psi_0) - \cos(\Delta \Psi_0 + \beta(\Delta t))) + U_{\max} \cdot \Delta t$$

$$\beta(\Delta t_1) := V_H \cdot \frac{\Delta t_1}{R_o} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta y_{\Sigma}(\Delta t_1) := \Delta y_u + R_o \cdot (\cos(\Delta \Psi_0) - \cos(\Delta \Psi_0 + \beta(\Delta t_1))) + U_{\max} \cdot \Delta t_1$$



В случае, когда скорость ветра  $U_{\max} = 0$  и при значении угла крена  $\gamma = 30$ , и при угле отклонения  $\Delta\Psi_0 = 12$  мы видим, что увеличение угла отклонения влияет на суммарную погрешность системы, т.е. она увеличивается

$$4a) U_{\max} := 40 \quad V_H := 250$$

$$\gamma := 30 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \Delta t := 0..90$$

$$\Delta t1 := 90..300$$

$$\Delta\Psi_0 := 12 \cdot \frac{\pi}{180}$$

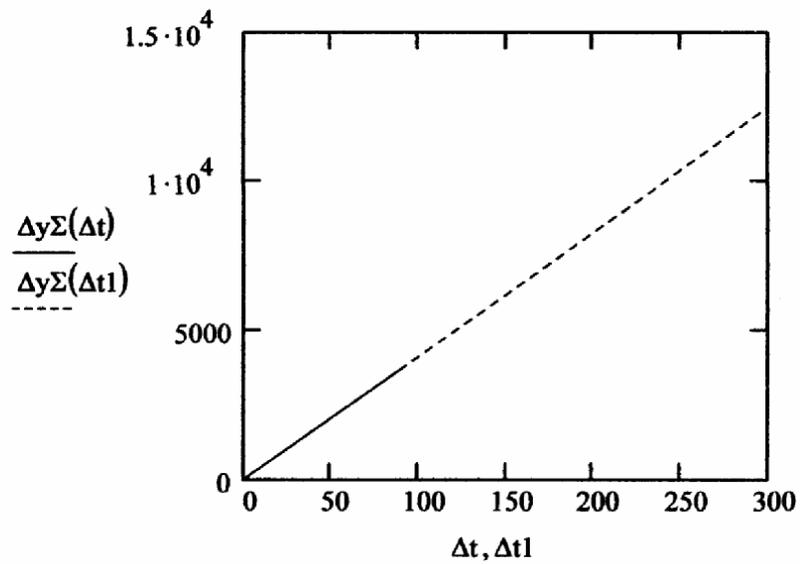
$$R_o := \left( \frac{V_H^2}{g} \right) \cdot \tan(\gamma) \quad R_o = 3.682 \times 10^3$$

$$\beta(\Delta t) := V_H \cdot \frac{\Delta t}{R_o} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta y_{\Sigma}(\Delta t) := \Delta y_u + R_o \cdot (\cos(\Delta\Psi_0) - \cos(\Delta\Psi_0 + \beta(\Delta t))) + U_{\max} \cdot \Delta t$$

$$\beta(\Delta t1) := V_H \cdot \frac{\Delta t1}{R_o} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta y_{\Sigma}(\Delta t1) := \Delta y_u + R_o \cdot (\cos(\Delta\Psi_0) - \cos(\Delta\Psi_0 + \beta(\Delta t1))) + U_{\max} \cdot \Delta t1$$



**4b)**  $U_{\max} := 60$     $V_H := 250$

$$\gamma := 30 \cdot \frac{\pi}{180} \qquad \Delta t := 0..90$$

$$\Delta t1 := 90..300$$

$$\Delta\Psi_0 := 90 \cdot \frac{\pi}{180}$$

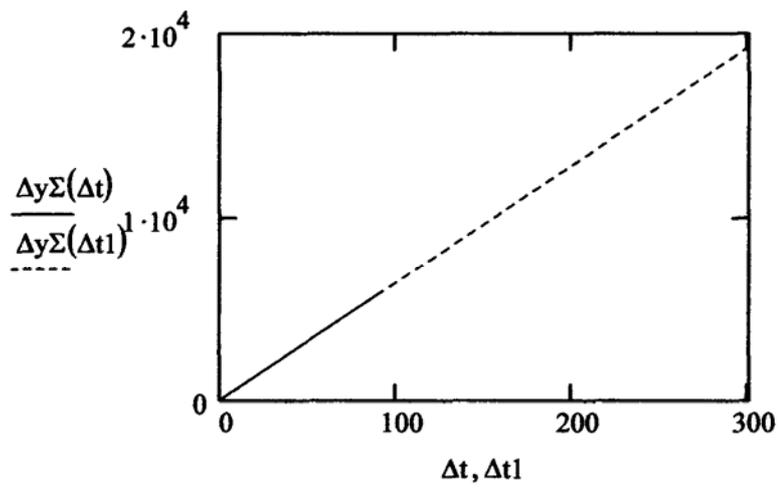
$$R_o := \left( \frac{V_H^2}{g} \right) \cdot \tan(\gamma) \qquad R_o = 3.682 \times 10^3$$

$$\beta(\Delta t) := V_H \cdot \frac{\Delta t}{R_o} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta y \Sigma(\Delta t) := \Delta y_u + R_o \cdot (\cos(\Delta\Psi_0) - \cos(\Delta\Psi_0 + \beta(\Delta t))) + U_{\max} \cdot \Delta t$$

$$\beta(\Delta t1) := V_H \cdot \frac{\Delta t1}{R_o} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta y \Sigma(\Delta t1) := \Delta y_u + R_o \cdot (\cos(\Delta\Psi_0) - \cos(\Delta\Psi_0 + \beta(\Delta t1))) + U_{\max} \cdot \Delta t1$$



В случае, когда скорость ветра  $U_{\max} = 60$  и при значении угла крена  $\gamma = 30^{\circ}$ , и при изменении угла отклонения  $\Delta\psi_0$  мы видим, что суммарная погрешность системы принципиально не изменяется.

