

Инерциальные навигационные системы.

Шевцова Е.В.

Навигация - метод определения коор-т и параметров функцией различных объектов и управление функцией объектов.

- что-то коор-та местонахождения и параметры функции:
- и-ти, с кот. функция объект в курсе траектории.

Методы навигации:

- сравнительный (траектория сравна заранее погрешностях жидкостных гирих с текущими данными сфероидами в марсе функция объекта
- корреляционный метод (астронавигация)
- метод силосной пути

Основан на измерении скорости по пути вектора скорости или ускорения объекта в некоторой СК и их интегрирование:

$$V = \int a dt \quad S = \int V dt = \int \int a dt$$

V - скорость объекта от-но Земли, t - время, a - ускор. объекта, S - пройденный путь

- помехи
- неавтарность

Инерциальные

основаны на измерении ускорения, проходов, заданных или определенных направлений осей инерциальных акселерометров.

$$\left. \begin{aligned} V &= \int a dt \\ S &= \int \int a dt^2 \end{aligned} \right\} \text{формулы численной пути}$$

не надо знать число заданных направлений осей чувствительности акселерометров, надо большая

- матричные инерциальные навиг. системы
- безматричные инерциальные навигационные системы

Недостаток:

накопление ошибок за время за год работы прибора (т.е. погрешности прибора) 1)

$$\tilde{a} = a + \delta a$$

Порешайте пирра: систематическая составляющая
коя меньше от запуска к запуску пирра,
т.е. мат. ожидание (средняя величина)
с ней можно работать, определить и количество
работ.

Случайная величина - меняется от запуска
к запуску, но каждый запуск остается
постоянной. Характеризуется средней квадратичной
отклонением порядка

Случайный процесс - меняется от запуска к
запуску и при каждом запуске изменяется
во времени.

Длина определяется коэф-том пропорциональности

$$\Delta S = \delta a \frac{t}{2}$$

Самый сложный технологический ИИС -

- нарастающее количество выходов из
радиусов ИИС с течением времени.
Постоянный диаметр для коромысла.

И ИИС решает 2 задачи:

① Задача орудия коэф-т пропорциональности
объекта и СК-ей

② Задача ориентации: угол курса, курс
1.2. и масса х₀ подвижным объектом, балансирующим

Географическая широта φ $[0 \div +90^\circ]$ в сторону северного
полюса $[0 \div -90^\circ]$ в сторону южного полюса

Геоцентрическая широта φ'

Астрономическая широта — угол между известной
линией

Модели формы Земли

Под **формой** Земли понимаем поверхность воды океана, которая занимает узкое канал, прорытое на суше.

В открытом океане она совпадает с поверхностью воды, не возмущенной волнами от приливов и ветра.

Форма этой поверхности является результатом суммарного действия сил тяжести Земли и центробежной силы, обусловленной вращением Земли вокруг своей оси.

Нормаль к спокойной поверхности океана совпадает с направлением результирующей сил тяжести Земли и центробежной силы, т.е. направлением силы тяжести —

— это направление наз. **истинной вертикалью**

Для определения формы ^{Земли} приняты термин — **геоид**

(в какой-то мере нормаль к его поверхности совпадает с направлением силы тяжести, т.е. результирующей сил тяжести и центробежной силы от вращающейся Земли).

Т.к. поверхность геоида сложная и неправильная, обусловленная распределением масс в земной коре и на пов-ти Земли, то пов-ть аппроксимируют поверхностью, образованной вращением эллипса вокруг его малой оси, совпадающей с осью вращения Земли. — **эллипсоид Клеро**

Этот эллипсоид будет определен, если задать его полуоси a и b или задать одну из полуосей a и эксцентриситет e , $e^2 = (a^2 - b^2) / a^2$

Ввиду малости d и e → эллипсоид Клеро считают сферой, поэтому есть другое название **земной сфероид**

Параметры эллипсоида (Распределение - Эллипсоид Ф.Н. Краковского)

$$a \quad 6378 \ 245 \text{ м}$$

$$b \quad 6356 \ 863 \text{ м}$$

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad \frac{1}{2983}$$

Рассмотрим координаты точек на земном сфероиде (рис. 3.1).

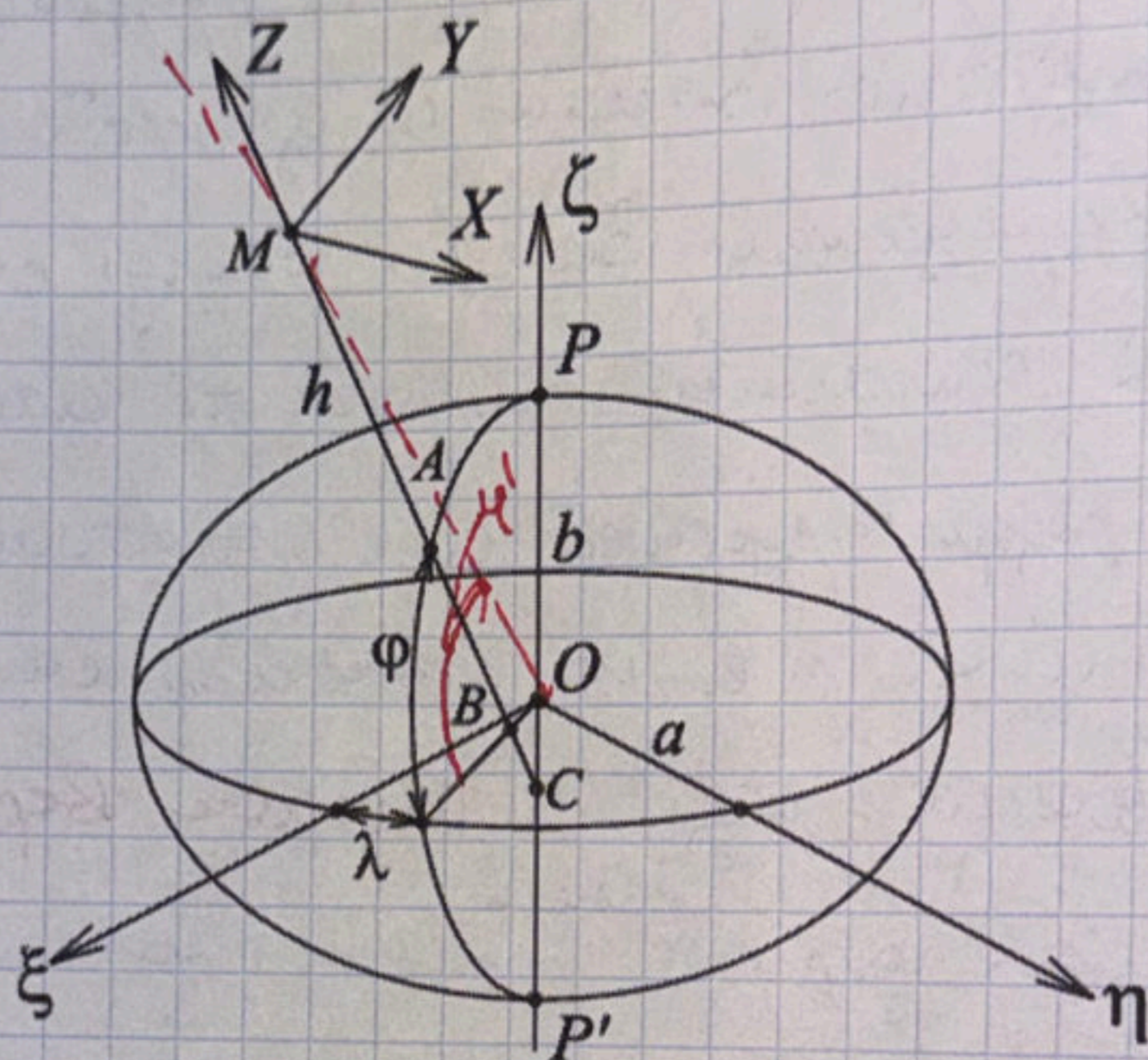


Рис. 3.1. Координаты точек на земном сфероиде

Точки P и P' пересечения малой оси со сфероидом называются полюсами Земли: тот из них, со стороны которого вращение Земли происходит против хода часовой стрелки, называют Северным полюсом, противоположный полюс — Южным.

Плоскость, проходящая через центр и перпендикулярная малой оси сфероиде, пересекает его по экватору. Экватор сфероиде представляет собой окружность радиуса a .

Плоскости, параллельные плоскости экватора, пересекают сфероид по малым кругам, называемым параллелями. Любая плоскость, проходящая через малую ось, пересекает сфероид по эллипсу с большой полуосью a и малой полуосью b .

Полуэллипсы, соединяющие полюсы, являются меридианами. Меридиан, проходящий через некоторую точку гринвичской обсерватории, называется главным (или нулевым) меридианом. Положение меридиана относительно главного меридиана определяется долготой λ (дугой экватора $Q_{гр}Q$). Долгота изменяется от 0 до 180° в западном и восточном направлениях. Иногда удобно измерять долготу в восточном направлении от 0 до 360°.

Положение точки на меридиане определяется широтой. Различают несколько широт.

Для дальнейшего описания свойств земного эллипсоида свяжем с ним правую ортогональную систему координат $O\xi\eta\zeta$. Начало этой системы координат поместим в центр Земли O , ось $O\zeta$ направим по малой оси земного эллипсоида в сторону Северного полюса. Оси $O\xi$ и $O\eta$ будут находиться в плоскости экватора. Чтобы окончательно определить эту систему координат, расположим ось $O\xi$ вдоль линии пересечения плоскости экватора с плоскостью главного меридиана.

Уравнение эллипсоида Клеро в выбранной системе координат имеет вид

$$\frac{\xi^2 + \eta^2}{a^2} + \frac{\zeta^2}{b^2} = 1.$$

Пусть точка M (см. рис. 3.1) — некоторая произвольно выбранная точка в системе координат $O\xi\eta\zeta$. Проведем через эту точку нормаль к поверхности эллипсоида. Она будет лежать в меридиональной плоскости, содержащей точку M , и пересечет эллипсоид в точке A , плоскость экватора в точке B , ось $O\zeta$ в точке C . Положение точки M в системе координат $O\xi\eta\zeta$ можно определить углом φ , образованным нормалью к поверхности эллипсоида с плоскостью экватора, который носит название географической (или геодезической) широты места, углом λ (географическая долгота) между плоскостями меридиана точки M и главного меридиана и отрезком нормали h от точки A до точки M (высота точки M над уровнем океана).

Геоцентрическая широта φ' определяется углом, который образует радиус-вектор \overline{OM} с плоскостью земного экватора. (иногда φ')

Астрономическая широта определяется углом между отвесной линией и плоскостью земного экватора. Очевидно, что непосредственно можно измерить только астрономическую широту. Однако практически с точностью до составляющей уклонения отвеса она совпадает с географической широтой.

Все широты изменяются в пределах $-90^\circ \dots +90^\circ$, широта считается положительной для точек, лежащих к северу от экватора.

Линии $\varphi = \text{const}$ (или $\varphi' = \text{const}$), являющиеся параллелями, и $\lambda = \text{const}$, являющиеся меридианами, образуют ортогональную координатную сетку на поверхности земного сфероида. Полюсы P и P' являются особыми точками координатной сетки. В полюсах теряет смысл понятие долготы, так как в них пересекаются все меридианы.

Свяжем с точкой M правую ортогональную систему координат $MXYZ$. Ось MZ направим вдоль положительной нормали к земному эллипсоиду. Ось MU расположим в меридиональной плоскости (плоскость местного горизонта), содержащей точку M , и направим в сторону северного полюса. В таком случае положение оси MX определяется однозначно: она лежит в той же плоскости, что и ось MU , и направлена на восток.

Радиусы кривизны R_λ и R_φ двух взаимно перпендикулярных главных нормальных сечений поверхности $h = \text{const}$, проходящей через оси MX и MU , определяются следующими выражениями:

$$R_\lambda = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} + h; \quad (3.1)$$

$$R_\varphi = \frac{a(1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^3}} + h. \quad (3.2)$$

Ввиду малости эксцентриситета земного эллипсоида формулы (3.1) и (3.2) можно упростить. Раскладывая правые части этих формул в биномиальный ряд Ньютона, получаем

$$R_\varphi = R_{\varphi_0} + h = a(1 - e^2)(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{-3/2} + h = a \left(1 - e^2 + \frac{3}{2} e^2 \sin^2 \varphi + \frac{h}{a} \right);$$

$$R_\lambda = a \left(1 + \frac{1}{2} e^2 \sin^2 \varphi + \frac{h}{a} \right);$$

или

$$\left(\frac{h}{a} \right); \quad (3.3)$$

$$(3.4)$$

В навигации используется более простая модель сфероида. Радиус сферы вычисляют из значений:
 1. одинакового объема с эллипсоидом
 2. одинакового среднего радиуса
 3. одинаковой площади с эллипсоидом
 При этом на малых расстояниях аппроксимация не так хороша

В навигации используют более простую и естественную фигуру Земли аппроксимируют сферой определенного радиуса.

Параллели и меридианы образуют сетку

Географическая СК

ц. м. в центре географической СК

-
-
-

Главные нормальные сегменты

$$R_{\varphi} R_{\psi} = \frac{a(1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^3}} + h$$

$$R_{\lambda} = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}} + h$$

разностями в бикосинусовой ряд Ньютона

* Вспомнить замисать формулу

$$R_{\varphi} = a \left(1 - e^2 + \frac{3}{2} e^2 \sin^2 \varphi + \frac{h}{a} \right)$$

вспомогательная поправка

$$R_{\lambda} = a \left(1 + \frac{1}{2} e^2 \sin^2 \varphi + \frac{h}{a} \right)$$

e^2 - малая величина, вот и раскрываемся в

Окружности д.м. величин.

Гравитационное поле Земли.

Поле силы тяжести, обусловленное тяготением Земли и центробежной силой, вызванной ее суточным вращением — потенциальное силовое поле, в котором скалярная потенциальная функция Π — является гравитационным потенциалом

$$\Pi = -\frac{GM}{r} \left[\frac{\Delta x}{m} \right] \text{ — потенциальная энергия единичной массы}$$

$$g = \frac{\partial \Pi}{\partial r} \text{ — ускор. свобод. падения}$$

Всякое материальное тело создает в окрестностях пространства гравитационное поле. Вектор напряженности этого поля или удельная сила, с кот. действует поле на материальную точку единичной массы, находящуюся в т. М пространства с коор.-ми ξ, η, ζ , определяется векторной формулой:

$$\vec{g}_r = - \int_V \gamma \cdot \frac{dm_1}{r'^3} \cdot \vec{r}' \quad (9)$$

\vec{r}' — радиус-вектор, идущий из притягивающей т. М₁ тела с координатами ξ_1, η_1, ζ_1 и элемента массы dm в т. М,

r' — модуль этого вектора ($r' = \sqrt{(\xi_a - \xi_1)^2 + (\eta_a - \eta_1)^2 + (\zeta_a - \zeta_1)^2}$)

γ — гравитационная постоянная

притягиваемые точки

D — область интегрирования, совпадающая с объемом притягивающего тела

N7 Гравит. поле Земли. Ускорение силы тяжести

1.2 Гравитационное поле Земли

Всякое материальное тело создает в окружающем пространстве гравитационное поле. Вектор напряженности этого поля или удельная сила, с которой действует поле на материальную точку единичной массы, находящуюся в точке M пространства с координатами ξ, η, ζ , определяется векторной формулой:

$$\vec{g}_r = - \int_D \gamma \cdot \frac{dm_1}{r'^3} \cdot \vec{r}'$$

— ускорение силы тяжести (удел. ускор.) (9)

где \vec{r}' — радиус-вектор, идущий из притягивающей точки M_1 тела с координатами ξ_1, η_1, ζ_1 и элементом массы dm в точку M ,

$$r' = \sqrt{(\xi_a - \xi_1)^2 + (\eta_a - \eta_1)^2 + (\zeta_a - \zeta_1)^2}$$

γ — гравитационная постоянная,

D — область интегрирования, совпадающая с объемом притягивающего тела.

В скалярной форме имеем три неравенства:

$$g_{\xi_a} = - \int_D \gamma \cdot \frac{\xi_a - \xi_1}{r'^3} dm_1, \quad g_{\eta_a} = - \int_D \gamma \cdot \frac{\eta_a - \eta_1}{r'^3} dm_1, \quad g_{\zeta_a} = - \int_D \gamma \cdot \frac{\zeta_a - \zeta_1}{r'^3} dm_1,$$

которые определяют проекции вектора \vec{g}_r на оси координат ξ_a, η_a, ζ_a

Вектор \vec{g}_r имеет размерность ускорения, и его называют гравитационным ускорением, а также ускорением силы притяжения или тяготения.

Сила притяжения, действующая на материальную точку массы m , определяется формулой:

$$\vec{G}_r = m \cdot \vec{g}_r.$$

Сила притяжения и гравитационное ускорение имеют одинаковое направление.

Гравитационное поле является потенциальным полем с силовой функцией $\Pi' = \int_D \gamma \cdot \frac{dm_1}{r'}$. Производная силовой функции в заданном направлении равняется проекции гравитационного ускорения на данное направление:

$$g_{r_s} = \frac{\partial \Pi'}{\partial s} \quad (10)$$

Силовую функцию Π в теории фигуры Земли и гравиметрии с точностью до знака называют гравитационным потенциалом или потенциалом силы притяжения. Гравитационный потенциал зависит от распределения масс внутри притягивающего тела, его конфигурации и положения в выбранной системе координат.

Если перейти от декартовых координат ξ_a, η_a, ζ_a к сферическим координатам r, φ', λ_a , то можно записать (согласно рисунку 2):

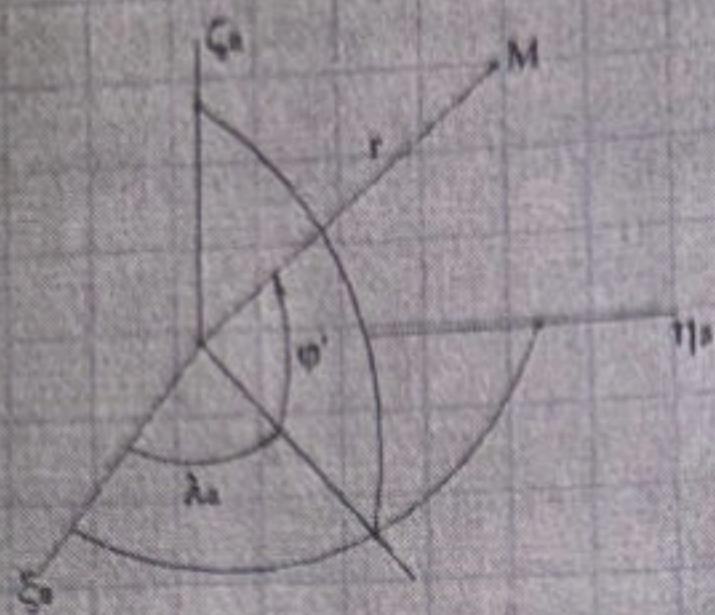


Рисунок 2 - К пояснению связи прямоугольных и криволинейных координат

$$\xi_a = r \cos \varphi' \cos \lambda_a, \quad \eta_a = r \cos \varphi' \sin \lambda_a, \quad \zeta_a = r \sin \varphi', \quad (11)$$

где λ_a определяет положение текущей плоскости меридиана, проходящей через точку M относительно координатной плоскости $O\xi_a\eta_a$, то гравитационный потенциал Земли запишется в виде:

$$\Pi' = \frac{K}{r} + \frac{\mu}{2} \cdot \frac{K \cdot a^2}{r^3} \cdot (1 - 3 \cdot \sin^2 \varphi'), \quad (12)$$

где $K = \gamma \cdot m_1$ - гравитационный параметр притягивающего тела, равный $K = 398\,546 \frac{\text{м}^3}{\text{с}^2}$

μ - безразмерный коэффициент, характеризующий распределение масс внутри Земли, примерно равен $\frac{\alpha}{3}$. Таким образом, μ есть величина того же порядка малости, что и коэффициент сжатия α , среднее значение $\mu = 0.00109$.

Гравитационное поле, определяемое потенциалом (12), имеет осевую симметрию. Первое слагаемое правой части выражения для потенциала гравитационного поля можно трактовать как потенциал центрального гравитационного поля. Это поле может вызывать любой шар массы m_1 с радиальным распределением плотности и с центром, совпадающим с центром

потенциал центрального гравитационного поля от фиктивной массы, равной массе сплюснутости земного сфероида

Земли. Радиус этого шара должен быть меньше r , то есть расстояния притягиваемой точки M от центра Земли. Второе слагаемое с малым множителем μ определяет малое отклонение гравитационного поля от центрального, обусловленное сплюснутостью земного сфероида.

По гравитационному потенциалу можно определить выражение для проекции ускорения силы тяготения \vec{G}_r . Удобно определить радиальную g_r и трансверсальную $g_{\varphi'}$ составляющие \vec{G}_r , для чего определим частные производные от потенциала по соответствующим направлениям $ds = dr$ и $ds = r \cdot d\varphi'$.

Тогда будем иметь:

$$g_{r_r} = \frac{\partial \Pi'}{\partial r} = -\frac{K}{r^2} \cdot \left[1 + \frac{3 \cdot \mu}{2} \cdot \left(\frac{a}{r}\right)^2 \cdot (1 - 3 \cdot \sin^2 \varphi') \right] \quad (13)$$

$$g_{r_{\varphi'}} = \frac{\partial \Pi'}{\partial \varphi'} = -\frac{K}{r^2} \cdot \frac{3 \cdot \mu}{2} \cdot \left(\frac{a}{r}\right)^2 \cdot \sin 2\varphi' \quad (14)$$

Для данных выражений следует, что вектор \vec{G}_r лежит в плоскости меридиана точки M , причем радиальная составляющая g_r направлена к центру Земли, а трансверсальная составляющая $g_{\varphi'}$ перпендикулярна g_r и направлена к плоскости экватора (на это указывает знак минус).

радиальная составляющая \vec{G}_r

трансверсальная составляющая \vec{G}_r

8. Поле силы тяжести. Ускорение силы тяжести

1.3 Поле силы тяжести.

Все тела в данной точке Земли падают с одинаковыми ускорениями относительно ее поверхности. Это ускорение свободного падения — g . Вследствие суточного вращения Земли ускорение g будет обусловлено векторной суммой двух сил: гравитационной силой Земли \vec{G}_r и центробежной силой $F_{ц.б.}$.

$$g = \vec{G}_r + F_{ц.б.}$$

Сила тяжести определяется как равнодействующая сил тяготения и центробежной силы от вращения Земли. Центробежная сила в точке M с геоцентрической широтой φ' направлена вдоль радиуса параллели, равного $r \cdot \cos \varphi'$, где r — радиус-вектор точки M .

Потенциал Π'' поля центробежных сил определяется выражением:

$$\Pi'' = \frac{U^2 \cdot r^2 \cdot \cos^2 \varphi'}{2} \quad (15)$$

Введем безразмерную величину $q = \frac{U^2 \cdot a^2}{\kappa} = \frac{U^2 \cdot a}{\frac{\kappa}{a^2}}$, равную $q = \frac{1}{288,356} = 0,003468$.

Эта величина определяет отношение центробежного ускорения $U^2 \cdot a$ в точке, лежащей на экваторе Земли, к величине $\frac{\kappa}{a^2}$, которую можно трактовать как ускорение силы тяготения от центральной части поля тяготения Земли на экваторе.

С учетом введенной величины выражение для потенциала Π'' запишется в виде:

$$\Pi'' = \frac{q}{2} \cdot \frac{\kappa \cdot r^2 \cdot \cos^2 \varphi'}{a^3} \quad (16)$$

Поле силы тяжести является потенциальным полем: его потенциал Π определяется суммой потенциалов Π' и Π'' :

$$\Pi = \frac{\kappa}{r} + \frac{\mu}{2} \cdot \frac{\kappa \cdot a^2}{r^3} \cdot (1 - 3 \cdot \sin^2 \varphi') + \frac{q}{2} \cdot \frac{\kappa \cdot r^2}{a^3} \cdot \cos^2 \varphi' \quad (17)$$

Радиальная g_r и трансверсальная $g_{\varphi'}$ составляющие ускорения силы тяжести получаются дифференцированием Π по соответствующим направлениям:

$$g_r = \frac{\partial \Pi}{\partial r} = -\frac{\kappa}{r^2} \cdot \left[1 + \frac{3 \cdot \mu}{2} \cdot \left(\frac{a}{r} \right)^2 \cdot (1 - 3 \cdot \sin^2 \varphi') - g \cdot \left(\frac{r}{a} \right)^3 \cdot \cos^2 \varphi' \right] \quad (18)$$

$$g_{\varphi'} = \frac{\partial n}{r \cdot \partial \varphi'} = -\frac{\kappa}{r^2} \cdot \left[\frac{3-\mu}{2} \cdot \left(\frac{a}{r}\right)^2 + \frac{q}{2} \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^3 \right] \cdot \sin 2 \cdot \varphi' \quad (19)$$

1.4 Ускорение силы тяжести и тяготения

Определим ускорение сил тяжести и тяготения на высоте h над поверхностью Земли (на поверхности h -эллипсоидов). (Семейство h -эллипсоидов вращения – семейство концентрических шаров, центры которых совмещены с центром Земли, радиусы этих шаров $a+h$, где a – большая полуось земного сфероида, h – переменный параметр, который определяет возвышение точек шара. Данные эллипсоиды являются подобными, то есть имеют одинаковый коэффициент сжатия α , и одинаковый относительный эксцентриситет $e_h^2 = e^2$.) Пусть $r = (a+h) \cdot (1 - \alpha \cdot \sin^2 \varphi')$, а множитель $\frac{\kappa}{r^2}$ разложим в биномиальный ряд Ньютона и представим в виде:

$$\frac{\kappa}{r^2} = \frac{\kappa}{(a+h)^2} \cdot (1 - \alpha \cdot \sin^2 \varphi')^{-2} \approx \frac{\kappa}{(a+h)^2} \cdot (1 + 2 \cdot \alpha \cdot \sin^2 \varphi').$$

Вводя в рассмотрение безразмерный коэффициент $\beta = \frac{g_p - g_e}{g_e}$, определяющий относительный избыток силы тяжести на полюсах по отношению к экватору, выражения для радиальной и трансверсальной составляющих ускорения силы тяжести можно привести к виду:

$$g_r = -g_{e0} \cdot \frac{a^2}{(a+h)^2} \cdot (1 + \beta \cdot \sin^2 \varphi'), \quad (20)$$

$$g_{\varphi'} = -g_{e0} \cdot \alpha \cdot \sin 2 \cdot \varphi' \cdot \frac{a^2}{(a+h)^2}. \quad (21)$$

где g_{e0} – ускорение силы тяжести на экваторе Земного сфероида, $g_{e0} = 978,049 \frac{cm}{s^2}$.

Абсолютную величину ускорения силы тяжести g можно определить следующим образом:

$$g = \sqrt{g_r^2 + g_{\varphi'}^2} = g_r \cdot \left(1 + \frac{g_{\varphi'}^2}{g_r^2}\right)^{\frac{1}{2}} \approx g_r \cdot \left(1 + \frac{\alpha^2}{2} \cdot \sin^2 \varphi'\right)$$

С принятой точностью численные значения g и g_r совпадают. Поэтому, можно записать:

$$g = \frac{g_{e0} a^2}{(a+h)^2} \cdot (1 + \beta \cdot \sin^2 \varphi'), \quad (22)$$

которое определяет при $h = const$ изменение g на высоте h .

Аналогичные рассуждения можно провести также относительно ускорения силы тяготения. Опуская промежуточные выкладки, запишем формулы для определения ускорения g_T силы тяготения в окончательном виде:

$$g_T = \frac{g_{T0} a^2}{(a+h)^2} \cdot (1 + \beta' \cdot \sin^2 \varphi') \quad (23)$$

где $\beta' = \frac{g_{Tp} - g_{Te}}{g_{Te}}$ – безразмерный коэффициент, определяющий относительный избыток силы тяжести на полюсах по отношению к экватору. Значение гравитационного ускорения на экваторе Земного сфероида равно $g_{T0} = 981,438 \frac{cm}{s^2}$.

аналогичной форме массы при направлении

$$g_{\xi a} = - \int_0^{\infty} \gamma \frac{\xi_a - \xi_1}{r^3} dm_1; \quad g_{\eta a} = - \int_0^{\infty} \gamma \frac{\eta_a - \eta_1}{r^3} dm_1; \quad g_{\xi a} = - \int_0^{\infty} \gamma \frac{\xi_a - \xi_1}{r^3} dm_1$$

которые определяют проекции вектора \vec{g}_r на оси коор-т ξ_a, η_a, ξ_a

\vec{g}_r - гравитационное ускорение (ускорение силы притяжения, тяжести)

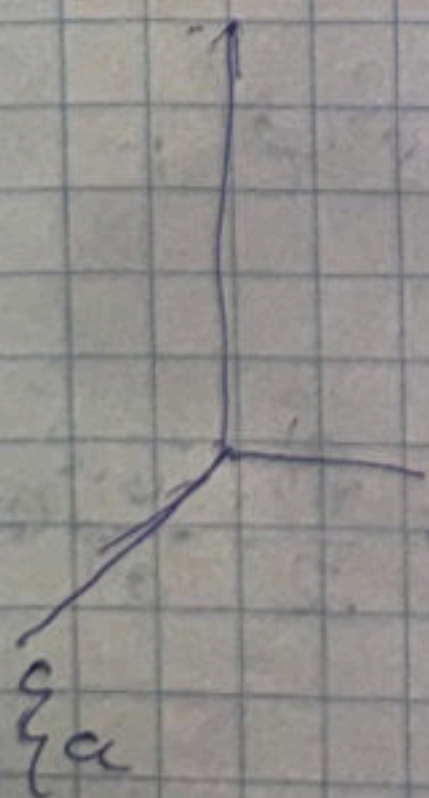
$\vec{G}_r = m \cdot \vec{g}_r$ - сила притяжения, действ. на мат. точку массы m

Гравитационное поле является потенциальным полем

с силовой ф-ей $\Pi' = \int_0^{\infty} \gamma \frac{dm_1}{r^2}$

(10) $g_{rs} = \frac{\partial \Pi'}{\partial s}$ - производная силовой ф-ии в заданном направлении равняется проекции гравитационного ускорения на данное направление

Силовую ф-ию Π в теории



ξ - абсолютная высота

η - центральная широта

$$\Pi' = \frac{K}{r} + \frac{M}{2} \frac{Ka^2}{r^3} (1 - 3\sin^2\varphi') \quad (12)$$

$$g_{r\varphi'} = \frac{\partial \Pi'}{\partial \varphi'} = -\frac{K}{r^2} \frac{3}{2}$$

$$\Pi'' = \frac{u^2 r^2 \cos^2 \varphi'}{2}$$

$$g = \frac{u^2 a^3}{K}$$

u - скорость в центре
a - расстояние от центра

$$\Pi = \frac{K}{r} + \frac{M}{2} \frac{Ka^2}{r^3} (1 - 3\sin^2\varphi') + \frac{g}{2} \frac{Kr^2}{a^3} \cos^2\varphi'$$

$$g_{rr} = \frac{\partial \Pi}{\partial r} = -\frac{K}{r^2} + \frac{3M}{2} \frac{Ka^2}{r^4} (1 - 3\sin^2\varphi') + \frac{2g}{2} \frac{K}{a^3} \cos^2\varphi' r$$

$$g_{r\varphi'} = \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi'} = \frac{3M}{2} \frac{Ka^2}{r^4} (-3 \sin\varphi' \cos\varphi') + \frac{2g}{2} \frac{Kr^2}{a^3} \cos\varphi' \sin\varphi'$$

$$g = \sqrt{g_{rr}^2 + g_{r\varphi'}^2}$$

$$\frac{k}{r^2} = \frac{k}{(a+h)^2} (1 - 2\sin^2 \varphi') \approx \frac{k}{(a+h)^2} (1 + 2\alpha \sin^2 \varphi')$$

$$g = \sqrt{g_r^2 + g_{\varphi'}^2} = \frac{g_0 a^2}{(a+h)^2} (1 + \beta \sin^2 \varphi')$$

$$\beta = \frac{g_p - g_0}{g_0}$$

окажется формула для известной ускорения.

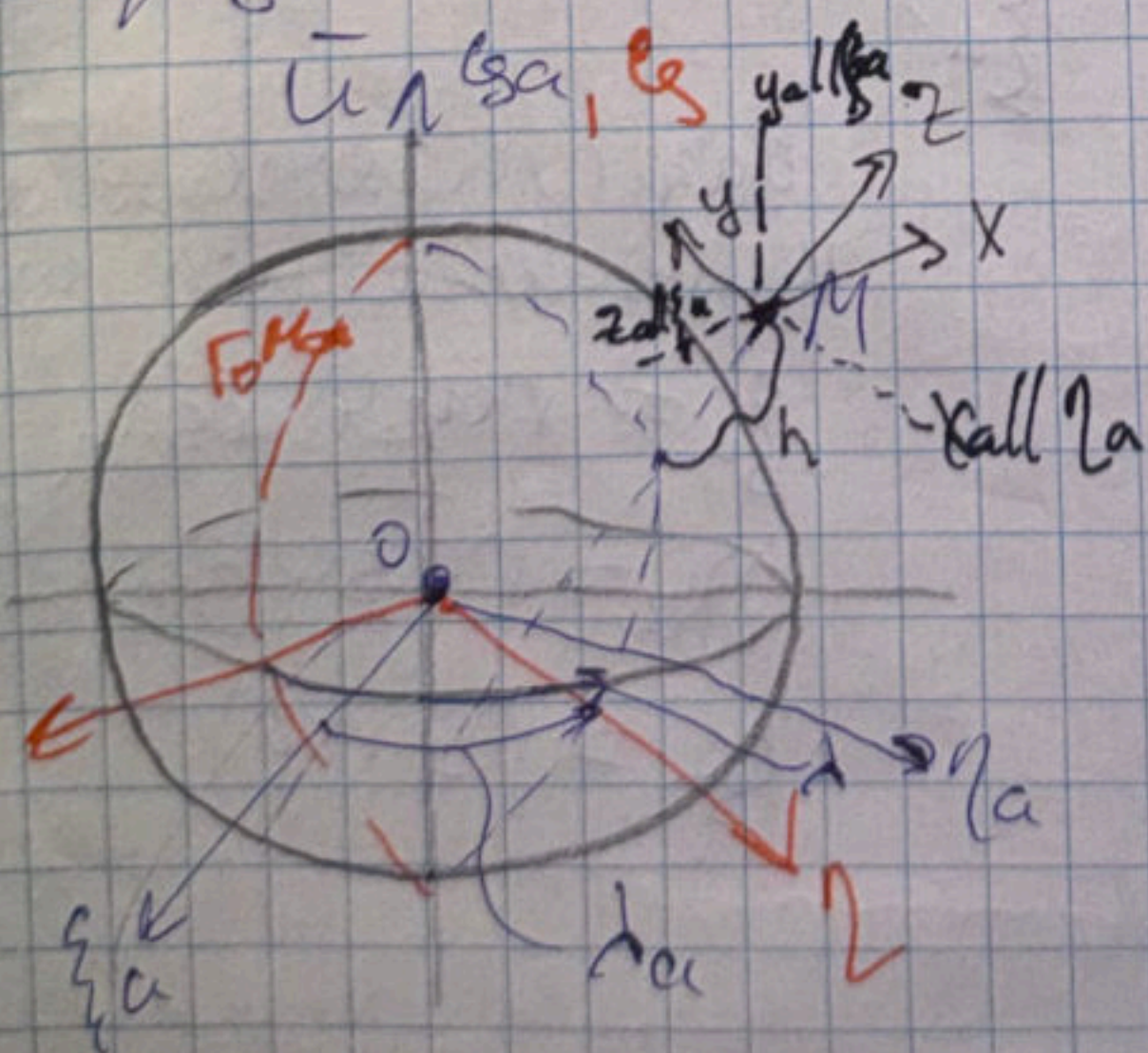
21.02.25

Системы координат

Геоцентрические СК:

Начало находится в центре эллипсоида вращения

Меридианальная СК:



Начало в т. центре эллипсоида вращения по т. в первом меридианном сечении Земли

e_a - совпадает с осью Ox , и совпадает с вектором углового вращения Земли.

e_a и e_s лежат в плоскости экватора и являются параллельными меридианальной бароцентрической СК

$e_a, e_s, e_z = 0$ e_a - по линии меридиана экватора и по т. Ox , e_s - по линии меридиана экватора и по т. Oy , e_z - по т. Oz

Экваториальная - траектория движения Земли (Эллипсоид)

Бароцентр - центр масс планеты

ω и Ω не совпадают, если движение неравномерное

3.1.

2.4

Оси будут направлены на центральную звезду

и будут между собой неизменными.

Принято начало широт. ск.

а ξ_a, η_a, ζ_a не принимает участия во вращении Земли. То есть Земля поворачивается от ξ_a, η_a, ζ_a

Формулы вращения:

связь между ускорением и определяемой скоростью и пройденным путем (

где \vec{a} — вект. ускорения в СК ξ_a, η_a, ζ_a

$$V = \int a dt, S = \int \int a dt$$

— пройден на оси широт. ск

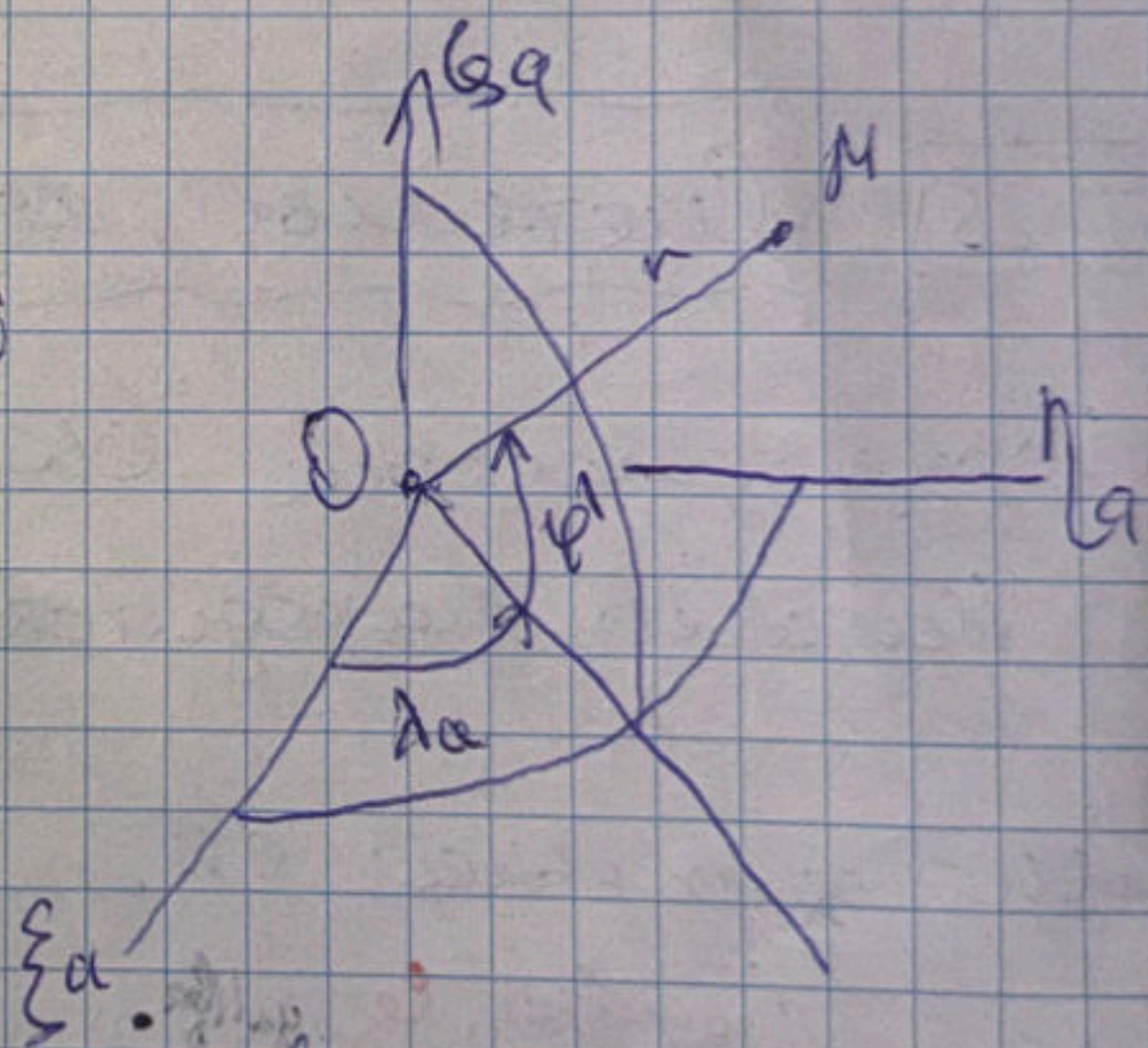
$$\begin{cases} \dot{\xi}_a = V \xi_a \\ \dot{\eta}_a = V \eta_a \\ \dot{\zeta}_a = V \zeta_a \end{cases} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{формулы симметрии}$$

λ_a — абсолютная высота φ'

$$\dot{\lambda}_a = \omega + \dot{\lambda}$$

φ'

φ



для прямоугольных и криволинейных координат

$$\xi_a = r \cos \varphi' \cos \lambda_a$$

$$\eta_a = r \cos \varphi' \sin \lambda_a$$

$$\zeta_a = r \sin \varphi'$$

$$\omega_{x\eta} = -\frac{V_y}{R_x} \cos \epsilon + \omega_x \cos \epsilon + \omega_y \sin \epsilon$$

$$\omega_{y\eta} = U \cos \varphi \cos \epsilon + \frac{V_x}{R_x} \cos \epsilon$$

$$\omega_{x\eta} = \omega_{xm} \cos \epsilon + \omega_y \sin \epsilon$$

$$\omega_{y\eta} = -\omega_x \sin \epsilon + \omega_y \cos \epsilon$$

$$\omega_{z\eta} = U \sin \varphi$$

$$\omega_{x\eta} = -\frac{V_y}{R_x} \cos \epsilon + \left(U \cos \varphi + \frac{V_x}{R_x} \right) \sin \epsilon$$

$$\omega_{y\eta} = \frac{V_y}{R_x} \sin \epsilon + \left(U \cos \varphi + \frac{V_x}{R_x} \right) \cos \epsilon$$

Если не считать боковой ^{направление ω_z , м.е.} $\omega_z = 0$,
 будет направление $\dot{\epsilon}$

то $\omega_{z\eta} = 0$

будет азимутальное направление СК

$$\dot{\epsilon} =$$

касательному ортогональному СК

обозначая базисные СК $Ox_m y_m z_m$

$$\omega_{xm} = -\frac{V_y}{R_x} \cos \epsilon + \left(\frac{V_x}{R_x} + U \cos \varphi \right) \sin \epsilon$$

$$\omega_{ym} = -\frac{V_y}{R_x} \sin \epsilon + \left(\frac{V_x}{R_x} + U \cos \varphi \right) \cos \epsilon$$

$$\omega_{zm} = 0$$

Связанная СК:

СК движущая с осью чувствительности перекосов и акселерометров.

(т.е. не нужно путать связанную СК с ЛАКе движущую с перекосом)

Дифференциальное уравнение широтности и азимута

В инерц. СК \vec{r} - радиус-вектор центра масс мат. точки

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{F} - \vec{G}$$

масса
мат. точки

$\vec{F}_{\text{акт}}$

\vec{G} - гравитационная сила

равнодействующая всех сил приложенных к точке

в широтной СК

\vec{r} - радиус-вектор
мат. точки

кот. движется

объект в движении

сила тяги, трения

(активные и пассивные силы, действующие на тело)

сила, действующая на тело

в инерц. СК $Z_{\text{инерц}}$

$$\Rightarrow m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{F}_{ext} + \vec{G}_r \quad \text{1. m}$$

равноускоренное ускорение

$$\vec{W} = \vec{a} + \vec{g}^T$$

равноускоренное ускорение

Акселерометр измеряет. Кинематическое ускорение (т.е. это ускорение, вот именно быстрое. Тогда если бы гравитация была поле все ~~равноускоренно~~ то жесть)

$$\vec{a} = \vec{W} - \vec{g}^T$$

Основное урав. Инерции НАЗУГАЦ, ИИ

\vec{W} - а.д.с. ускор
 \vec{g}^T - гравитационное ускор.

Задача: Как представить это уравнение в инерциальной СК - в гравитационной и неинерциальной СК.

Формула Бора

урав. СК-то к инерции от-но инерции

$$\left. \frac{d\vec{r}}{dt} \right|_a \equiv \left. \frac{d\vec{r}}{dt} \right|_m + \vec{\omega}_m \times \vec{r}$$

(а.д.с. произвольна вектор = \sum состоит. гравит. этого вектора и векторного произведения гравитационного СК на этот вектор)

$$\vec{V} = \vec{V}_m + \vec{\omega}_m \times \vec{r}$$

а.д.с. от-но инерции

$$\vec{\omega}_m \times \vec{V} = \begin{pmatrix} i & j & k \\ \omega_{m1} & \omega_{m2} & \omega_{m3} \\ v_{1s} & v_{2s} & v_{3s} \end{pmatrix} = i(\omega_{m2} v_{3s} - \omega_{m3} v_{2s}) - j(\omega_{m1} v_{3s} - \omega_{m3} v_{1s}) + k(\omega_{m1} v_{2s} - \omega_{m2} v_{1s})$$

$$\begin{pmatrix} V_{\xi a} \\ V_{\eta a} \\ V_{\zeta a} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{\xi m} \\ V_{\eta m} \\ V_{\zeta m} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \omega_{m\eta} r_{\xi} - \omega_{m\xi} r_{\eta} \\ -\omega_{m\xi} r_{\zeta} + \omega_{m\zeta} r_{\xi} \\ \omega_{m\zeta} r_{\eta} - \omega_{m\eta} r_{\zeta} \end{pmatrix}$$

$$\vec{W} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\vec{r}}{dt} \Big|_m + \vec{\omega}_m \times \vec{r} \right) + m_m \times \vec{v} \quad \text{③}$$

$$\vec{W} = \frac{d\vec{v}}{dt} \Big|_a = \frac{d\vec{v}_m}{dt} \Big|_m + \vec{\omega}_m \times \vec{v}$$

$$\begin{aligned}
 \text{③} \quad & \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} + \frac{d\vec{\omega}_m}{dt} \times \vec{r} + \vec{\omega}_m \times \frac{d\vec{r}}{dt} + \vec{\omega}_m \times (\vec{v}_m + \vec{\omega}_m \times \vec{r}) = \\
 & = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} + \frac{d\vec{\omega}_m}{dt} \times \vec{r} + \vec{\omega}_m \times \frac{d\vec{r}}{dt} + \vec{\omega}_m \times \vec{v}_m + \vec{\omega}_m \times (\vec{\omega}_m \times \vec{r}) =
 \end{aligned}$$

a - uropy, cK
m - uropy

$$\vec{W} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \Big|_a = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \Big|_m + \underbrace{\frac{d(\vec{\omega}_m \times \vec{v})}{dt}}_{\text{yeponeue kopueceue}} + \frac{d\vec{\omega}_m}{dt} \times \vec{r} + \vec{\omega}_m \times (\vec{\omega}_m \times \vec{r})$$

(*)

4.5. nepene. yft-ue za
cnet bpaueuea uenuey. cK

Пример (*) для вращающейся с Землей
 инерциальной СК

$\xi\eta\zeta$ - СК движ. с Землей

$\omega_m = U$ $U_\xi = U_\eta = 0$; $U_\zeta = U = \text{const}$

$\frac{dV}{dt} \Big|_a = W = \frac{dV}{dt} \Big|_{\xi\eta\zeta} + 2U \times V + \underbrace{U \times (U \times V)}_{\text{гиротермический эффект Земли}} + \dots$

от-но инерциальной СК $a = \frac{d^2r}{dt^2} \Big|_{\xi\eta\zeta} + 2U \times \frac{dr}{dt} \Big|_{\xi\eta\zeta} - g^r$
 Проекция кажущегося ускорения на ось
 коор-т Земли, но еще надо учесть g^r

Теперь рассмотрим на оси $\xi\eta\zeta$ СК
 от-но Земной СК

Средственная $\frac{dV}{dt} \Big|_{\xi\eta\zeta}$ на основании формулы Бюге

$\frac{dV}{dt} \Big|_{\xi\eta\zeta} = \frac{dV}{dt} \Big|_m + \omega'_m \times V \Big|_{\xi\eta\zeta}$

если рассуждать
 инерциальной СК

$W = \frac{dV}{dt} \Big|_{\xi\eta\zeta} + (2U + \omega'_m) \times V \Big|_{\xi\eta\zeta} + U \times (U \times V)$

$\omega'_m = \omega_m - U$ - углов. СК-то вращает СК по отношению к СК движ. с Землей

$W = \frac{dV}{dt} \Big|_{\xi\eta\zeta} + (U + \omega'_m) \times V \Big|_{\xi\eta\zeta} + U \times (U \times V)$

$a = W - g^r$

$$g = g^r - U \times (U \times v)$$

наблюдатель

вращающееся тело относительно которого

$$a = W - g^r$$

$$a = \frac{dv}{dt} \Big|_{\{m\}} + (U + \omega_m) \times v - g$$

Пусть $\{m\}$ — это референтная система XYZ

$$a = \frac{dv}{dt} \Big|_{XYZ} + (U + \omega_{XYZ}) \times v - g$$

$$U \times v_{XYZ} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 0 & U \cos \varphi & U \sin \varphi \\ v_x & v_y & v_z \end{vmatrix} = i(U \cos \varphi v_z - U \sin \varphi v_y) - j(-U \sin \varphi v_x) + k(U \cos \varphi v_x)$$

$$\omega_{XYZ} \times v_{XYZ} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \omega_x & \omega_y & \omega_z \\ v_x & v_y & v_z \end{vmatrix} = i(\omega_y v_z - v_y \omega_z) - j(\omega_x v_z - \omega_z v_x) + k(\omega_x v_y - \omega_y v_x)$$

$$a_x = i v_x + (\omega_y + U \cos \varphi) v_z - (\omega_z + U \sin \varphi) v_y$$

$$a_y = i v_y + (\omega_z + U \sin \varphi) v_x - \omega_x v_z$$

$$a_z = i v_z + \omega_x v_y - (\omega_y + U \cos \varphi) v_x$$

Теорема Макса Шюера

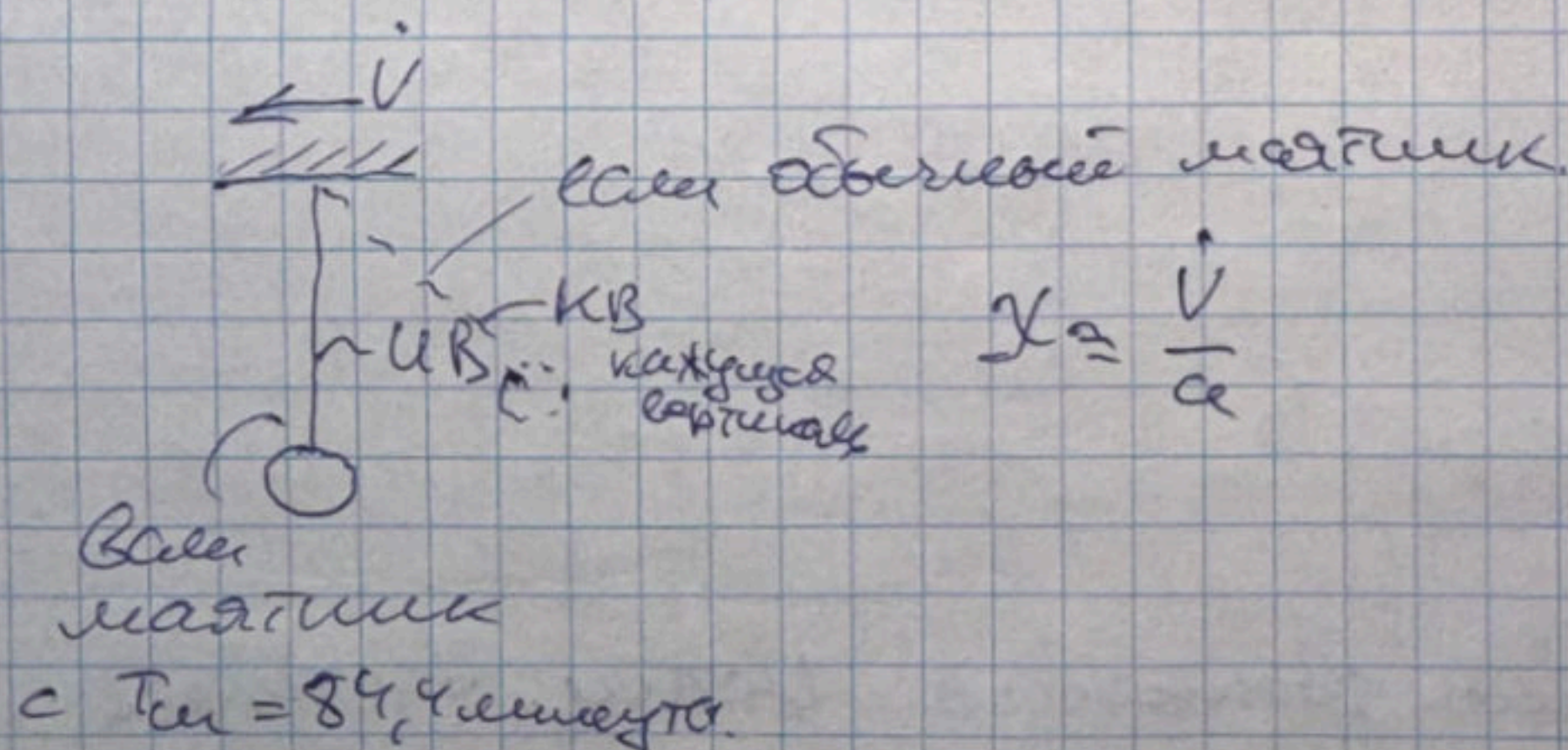
26.02.25

Математический или физический маятник
 диагональный период колебаний
 84,4 минуты находится в положении
 равновесия до конца движения,
 где при каких условиях (горизонтальность)
 тогда его масса \checkmark не вылетит из положения
 равновесия (т.е. можно говорить о
 невозмущающей массе)

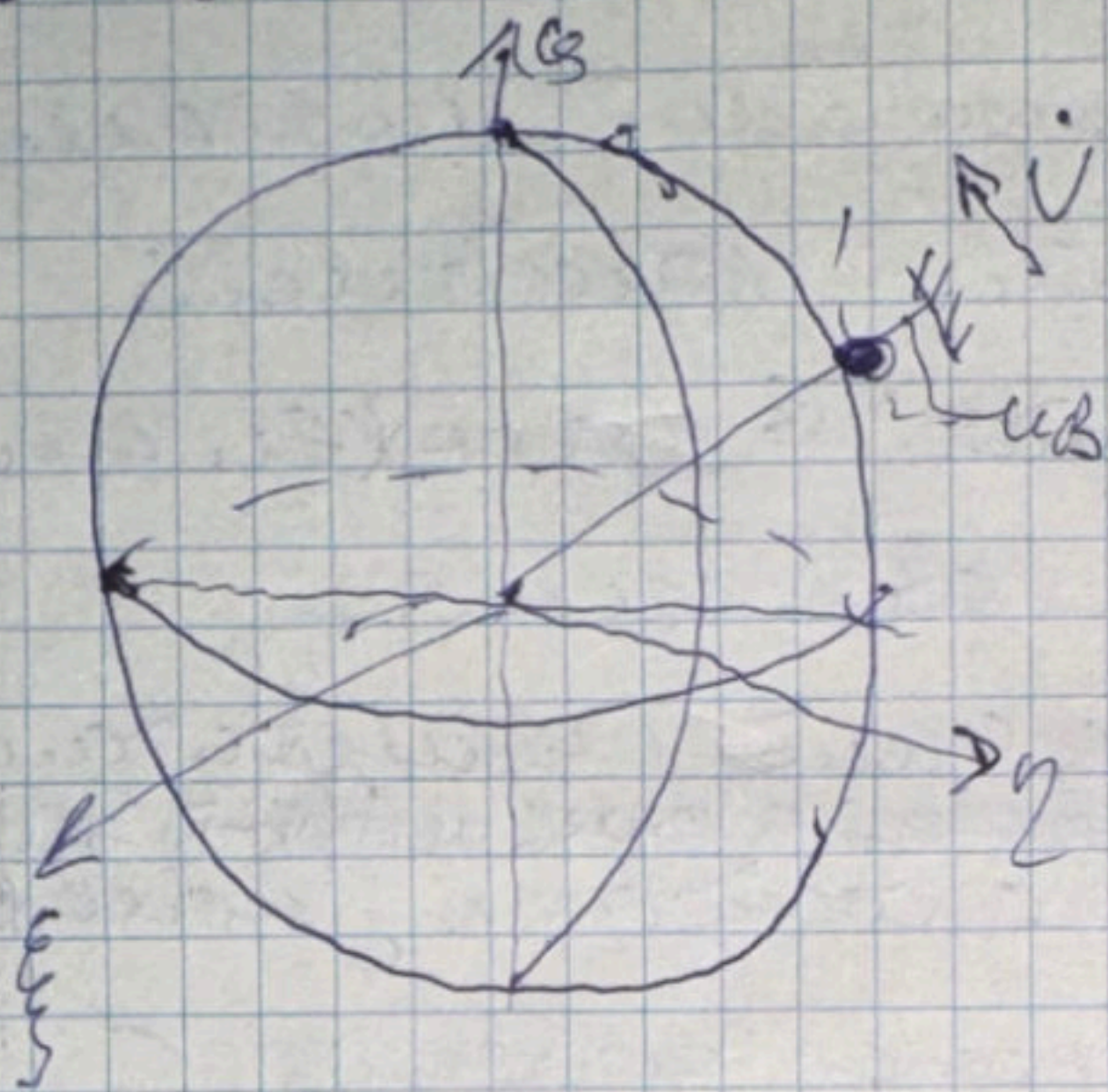
Есть ли убои-ти асимметрия

Мат. маятник - масса сосредоточена в одной точке
 Мера - расст. от точки подвеса до центра масс
 Физ. маятник - масса кот. распределяется по
 длине. мера расст. от точки подвеса до ц.м.

$$T_{\text{м}} = 84,4 \text{ минуты}$$



Пусть физическая масса ходит вдоль поверхности Земли по дуге большого круга вдоль меридиана



Прежде чем условно сказать о вращении Земли (по общему мнению это не поддается) Земля сфера - ее угловая скорость центра масс. Висит, кажется, прецессия шара

маятника строго вертикально.

Рассмотрим, что будет происходить при движении маятника $\dot{\varphi}$, маятник будет отклоняться против хода часовой стрелки

Диф. урав. углов поворота маятника

$$J \ddot{\varphi} = -m \dot{\varphi} l$$

маятник
маятник
отклонения
наблюдения

$$\ddot{\varphi} = -\frac{m \dot{\varphi} l}{J}$$

$\ddot{\varphi} = \frac{\dot{\varphi}}{R}$ - угловое ускорение истинно вертикали

против хода часовой стрелки

Шар маятника останется вертикальным только при условии: угловое ускорение

5.2. поворота вертикали от центра Земли

равно гравитации ускорения поворота маятника от центра поворота \Rightarrow

$$\frac{m\ddot{l}}{m} = \frac{\ddot{\varphi}}{R} \Rightarrow \frac{ml}{m} = \frac{l}{R}$$

Условие невозможности

для физической маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{y}{mg}} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{6371 \cdot 10^3}{9,8 \text{ м/с}^2}} = 844$$

период колебаний для физ. маятника

период колебаний для мат. маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Если $l = 0,5$; $\int_{\text{уг}} = \int = mv^2$?

Найти угол?

$$\text{уг} \frac{1}{R} = \frac{mv}{m}$$

Если маятник отклонился от мат. положения?

Что делать с тем?

Если маятник

$$\frac{1}{R} = \frac{mv}{m} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{mv}{mv^2} \Rightarrow l = \frac{v^2}{R} = \frac{0,5^2 \text{ м}^2}{6371 \cdot 10^3 \text{ м}} = 3,92 \cdot 10^{-8}$$

- физически нереализуемо

Вывод:

Система настроенная на резонанс
шара не раскрутит на вращательном

$$\ddot{\beta} + \frac{g}{R} \beta = 0 - \text{ДУ второго порядка}$$

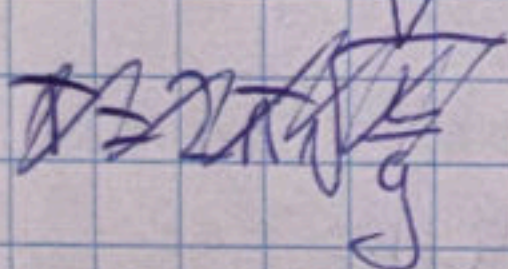
незат. колеб.

$$\omega^2 = \frac{g}{R} \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{R}}$$

$$\ddot{\beta} + \omega^2 \beta = 0$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} - \text{период таких колебаний}$$

84,4 миллисекунды



Моделировать такую
периодическую г-ов и с
и ось гиробертис
шарная сфера, неподвижная. Тр

Условие возмущения

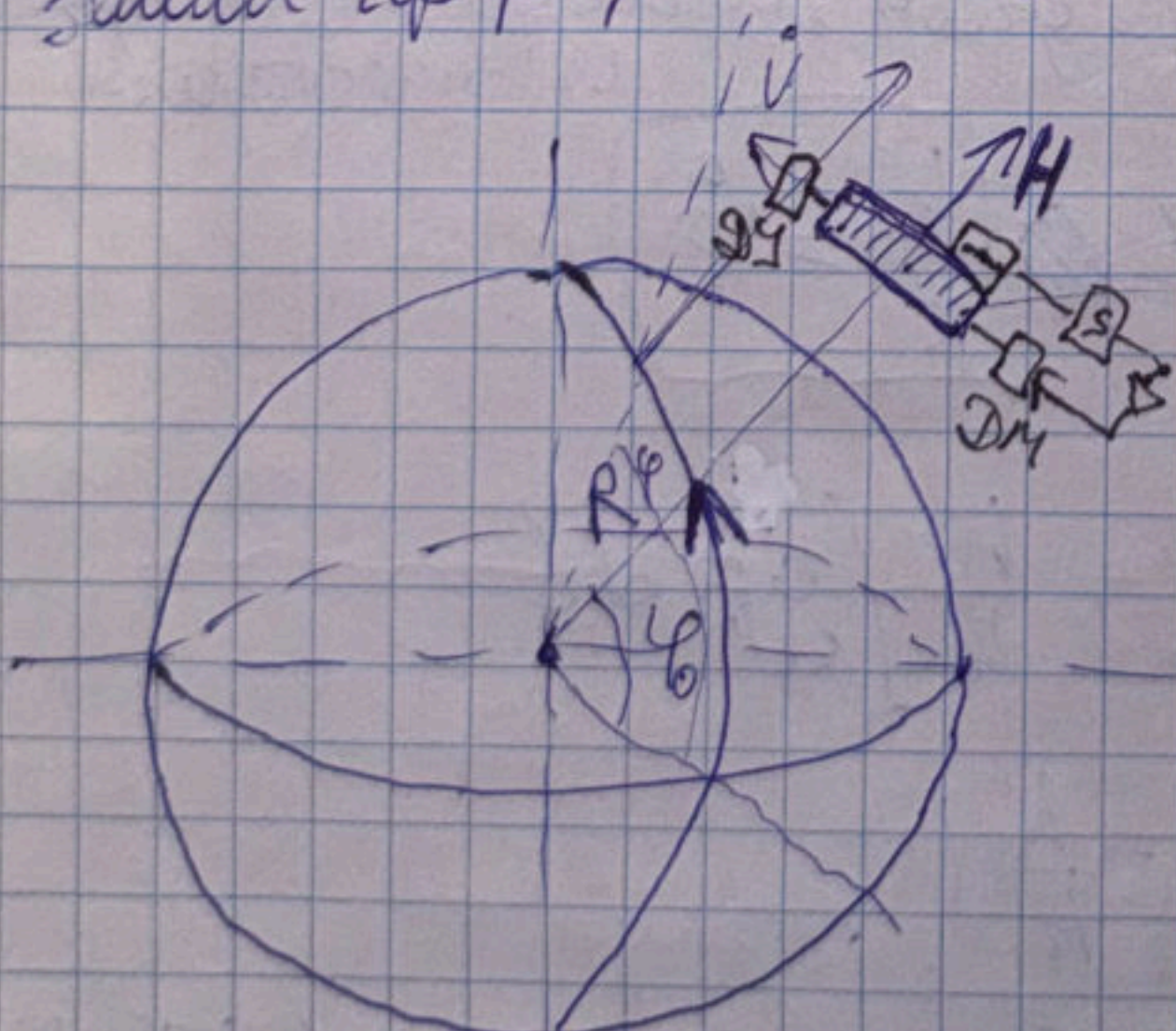
$$\frac{ml}{J} = \frac{1}{R} \quad (1)$$

Пусть маятник представляет
шарик $D=0,5\text{ м}$, $J_y = mr^2$,
 r - радиус шарика

$$J_x = J_y = mr^2 \Rightarrow$$

$$(1) \Rightarrow \frac{ml}{mr^2} = \frac{1}{R} \Rightarrow l = \frac{r^2}{R} =$$

$$= \frac{0,25^2 \text{ м}^2}{6371 \cdot 10^3 \text{ м}} = 9,8 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$



$$\dot{\alpha} = \frac{M D \omega}{H} - \text{скор-ть вращения}$$

$$\dot{\varphi} = \frac{V}{R} - \text{ск-ть поворота вертикали}$$

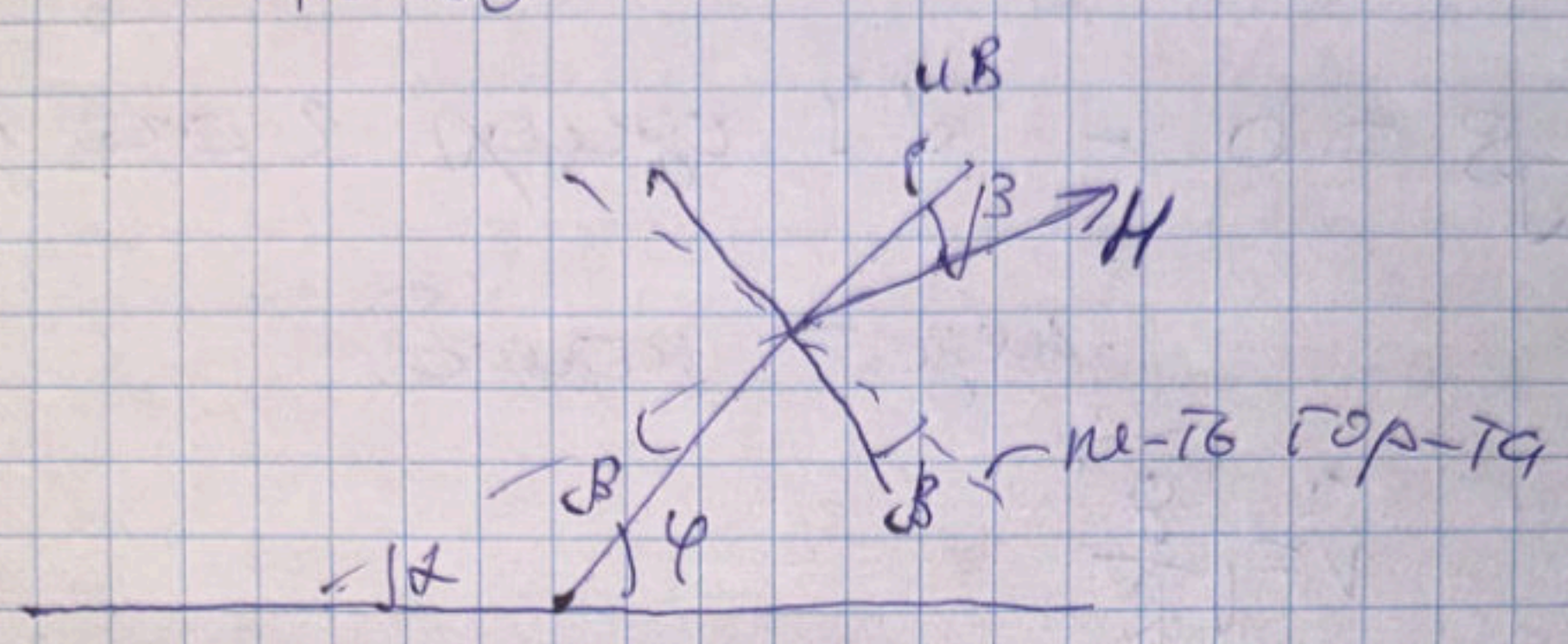
вертикаль

Условие ск-ти $\dot{\alpha}$ и $\dot{\varphi}$ равное друг другу:

$$\dot{\alpha} = \dot{\varphi} \Rightarrow M D \omega = \frac{M}{R} V$$

Углеродные лес. ск-ий
 Доминантный углерод и циркулятор
 лес. усаев.

$$\rightarrow M^{\text{DM}} = \frac{H}{R} \int_0^t \dot{V} dt$$



$a = W \cdot -g$ ускорение силы тяжести

$\dot{V} = g \sin \beta$ - ускорение кот. вылет амплитуды

$$\dot{V} + g\beta$$

$K = \frac{H}{R}$ - ^(невозможности) условие настройки на период Шупера

$$\textcircled{1} : \dot{\alpha} = \frac{K}{H} \int_0^t (\dot{V} + g\beta) dt$$

$$\alpha = \psi - \beta; \dot{\alpha} = \dot{\psi} - \dot{\beta}$$

$$\dot{\psi} - \dot{\beta} = \frac{K}{H} \int_0^t (\dot{V} + g\beta) dt \quad \left[\frac{V}{R} = \dot{\psi} \right]$$

α - угол между осью вращения и субстратом

$$\frac{V}{R} - \dot{\beta} = \frac{K}{H} V + \frac{K}{H} \int_0^t g\beta dt$$

$$\dot{\beta} + \frac{K}{H} \int_0^t g\beta dt = \frac{V}{R} - \frac{K}{H} V$$

$$\ddot{\beta} + \frac{g}{R} \beta = 0$$

$$\ddot{\beta} + \frac{V}{R} \beta = 0$$

обучается при настройке на период Шупера

Система будет совершать незатухающие колебания маятника с частотой Мюллера и периодом $T = 84 \text{ ч}$

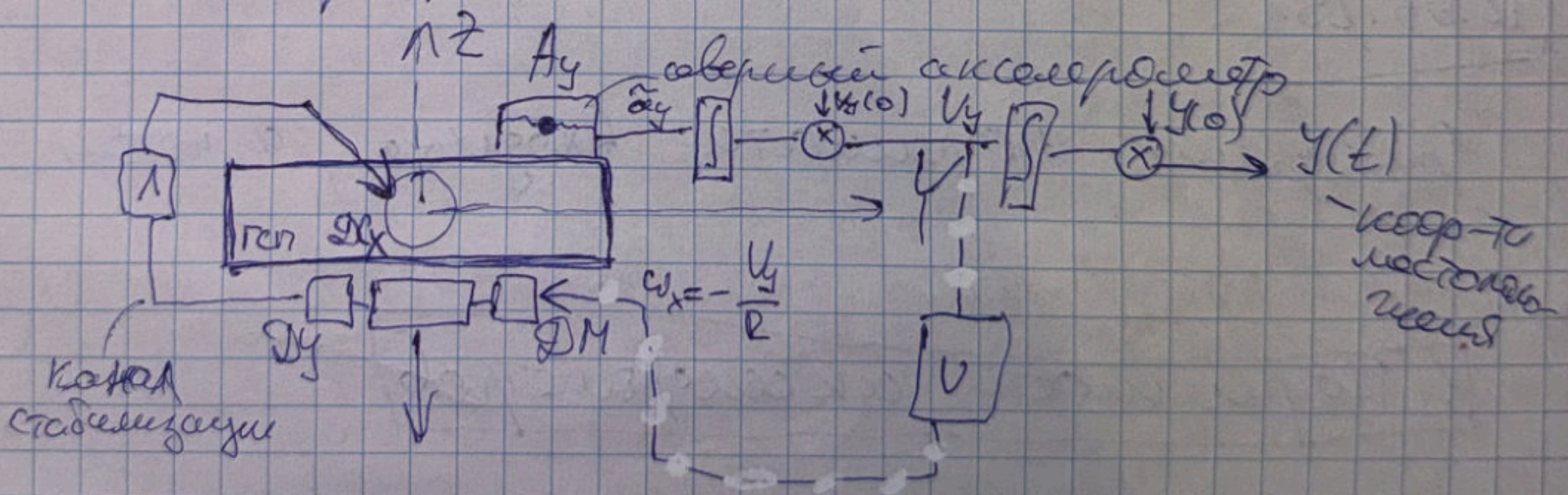
Задача

Одноканальная передаточная и обратная система

Земля - сфера, неподвижна.

Маятник плоский, а не сферический (для сферического маятника $\xi \approx \zeta$)
 Элементы Г-матрицы, акселерометр фиксирует углы

X Y Z - координатная СК



Передаточная система разомкнутого типа (маленькая)

система замкнутого типа - Миллеровского типа

$$\omega_x = -\frac{V_y}{R}$$

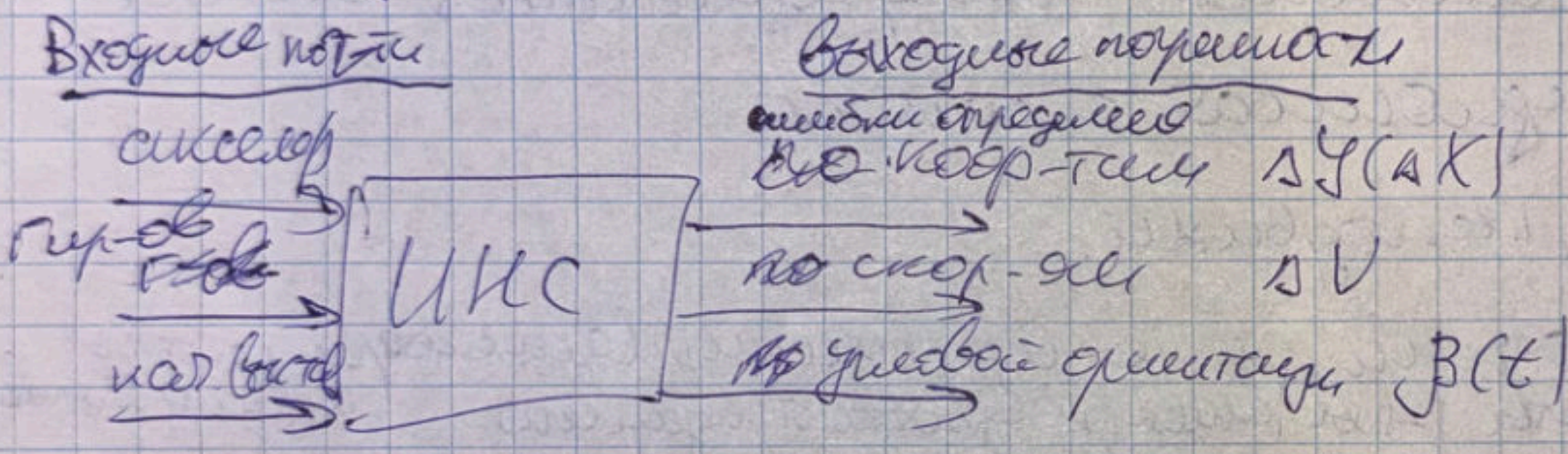
$$\omega_y = V \cos \varphi + \frac{V_x}{R}$$

$$\omega_z = V \sin \varphi + \frac{V_x}{R} \tan \varphi$$

Погрешности ширину исчисл. систем

- методические - величина погрешности осей для не рассматриваем (методы погрешностей пространственной метрики)
- инструментальные

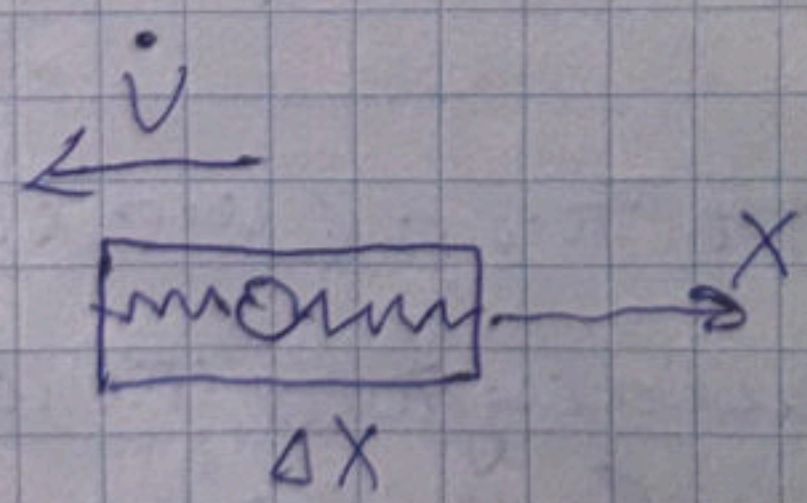
→ погрешности акселерометров, ги-ов, инерциальных датчиков, погрешности вычислительных устройств



12.03.25.

Определим погрешности входные, а потом

1. Погрешности акселерометров

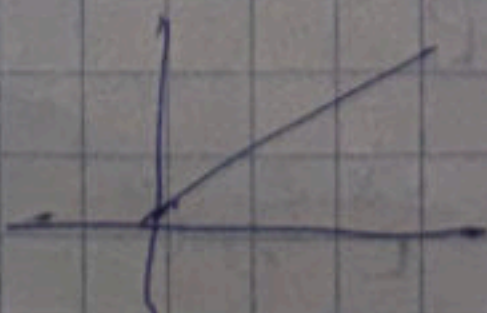


в идеальном приборе:

интегральная зависимость $a_{acc} = a_x$

фракционная зависимость $h_a = 1$ - масса РДР.

7.1.
6.5.



а на самом деле?

$\tilde{a}_x = f(a_x) + \delta a_x$ - номинальная зависимость

δa_x - изменение из-за инфляции

$f(a_x)$ - цена ф-ия, монотонно увеличивающаяся и удовлетворяющая условию $f(0) = 0$

$h_a = \frac{f(a_x)}{a_x}$ - масс. коэф.
значение ф-ии при нулевом ускорении
ускорение основания

$\tilde{a}_x = h_a a_x + \delta a_x$

$h_a = 1 + \delta h_a$ номинал-значение

δh_a - нестабильность масс. коэф.

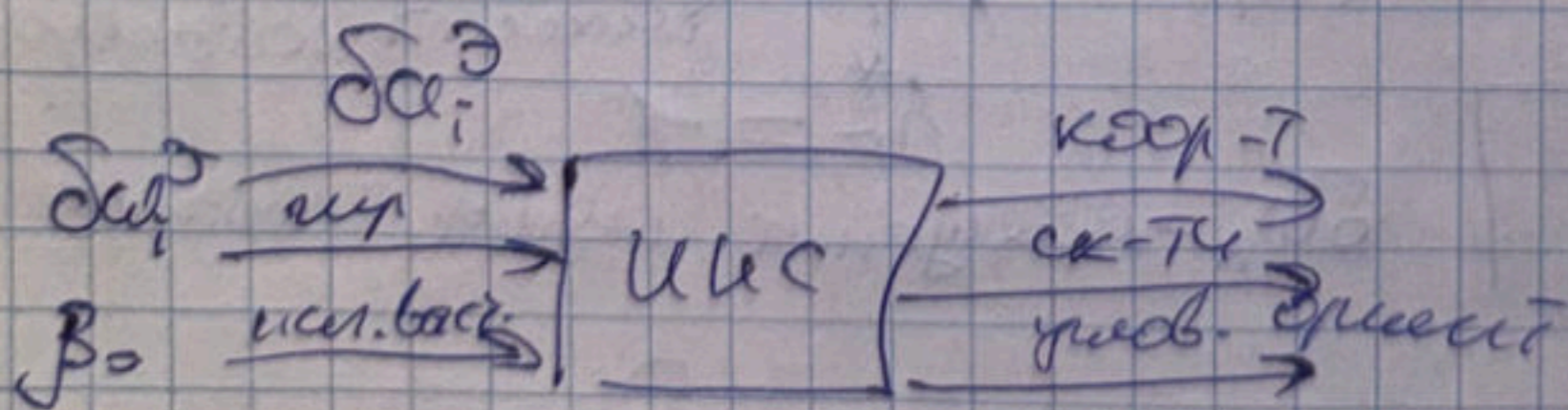
$\tilde{a}_x = h_a a_x + \delta a_x = (1 + \delta h_a) a_x + \delta a_x = a_x + \delta a_x + \delta h_a a_x$

разность между номинальным и реальным покупательная способность

$\tilde{a}_x - a_x = \delta a_x + \delta h_a a_x$ покупательная способность

$\delta a_i^{\partial} = \delta a_x + \delta h_a \cdot a_x$

Эквивалентное изменение из-за инфляции



2. Погрешности гироскопов:

Входная величина гироскопического измерителя ω_x преобразуется к полезности угловой скорости определяется соотношением:

$$\tilde{\omega}_x = h_r \cdot \omega_x$$

h_r - масш. коэффициент

ω_x - входная углов. ск-ть.

Мет. модель ДГА

Уравнение погрешности

мет. модель погрешности на выходе
потому варьируемая

Вариация - малое отклонение от исходных ~~величин~~ величин (по тем же правилам, что и дифференциал, т.е. дифференциал)

вариация $\tilde{\omega}_x \rightarrow \Delta \omega_x$ \rightarrow выходная погрешность

вариация $h_r \omega_x \rightarrow \delta h_r \omega_x + \delta \omega_x \cdot h_r^*$

$$\Delta \omega_x = \delta h_r \omega_x + \delta \omega_x h_r^*$$

h_r^* - идеальная массш. коэффициент
 $h_r^* = 1$

$$\delta \omega_x = \delta h_r \omega_x + \delta \omega_x$$

$\delta \omega_x$ - элемент нуля гироскопа

эквивалентной дрейфа гироскопа

3. Ошибка малой вставки

от ув-ти гиро-в и аксел-в по географ. коор-т.

Невозможно вставить идеально приборную и базовую СК (пересчитана)

Ошибка взаимной вставки приборной СК и базовой

Ошибка нар. вставки β_0

Выходные потребности.

$\beta(t)$ - ошибка горизонтирования (погрешности горизонтирования)

$I = X, Y$: $\Delta V_i = \tilde{V}_i - V_i$ - ошибка по скорости
погрешности ориентации коор-т местоположения

$$\Delta X (\Delta Y) = \tilde{X} (\tilde{Y}) - X (Y)$$

$$\Delta \varphi (\Delta \lambda) = \tilde{\varphi} (\tilde{\lambda}) - \varphi (\lambda)$$

$$\Delta X = \Delta d \cdot R \cos \varphi$$

$$\Delta Y = \Delta \varphi \cdot R$$

перевод из декартовых в угловые
- через длины и углы коор-т



Поставим входные пог-ти и выходы.

Ошибка ИКС разомакутого

короткого
система разового изме-
ления времени
макс-10 минут
метроном

XYZ - географ СК (воспринимается плоскостн.)

$\tilde{x}\tilde{y}\tilde{z}$ - расчетная СК (воспринимается в пространстве по положению акселерометра)

- ошибка изм. выставки

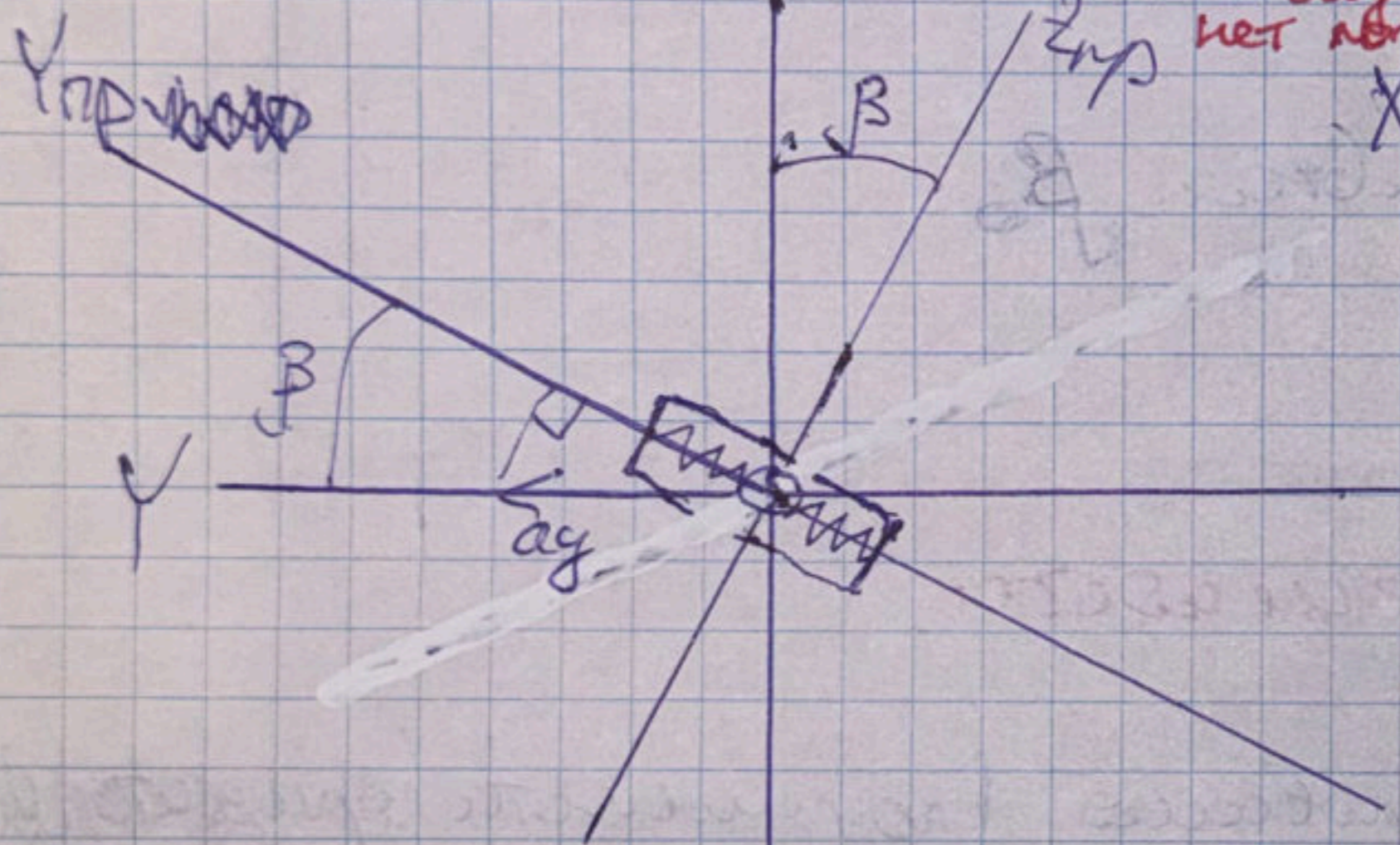
$$\beta(t) = \beta_0 + \delta\omega_x^{\ominus} t$$

ошибка горизонтальной z

зависимый
ошибка greeks проекции

как видно в системе координатного типа нет зависимости от акселерометра;

X_{пр}Y_{пр}Z_{пр} - географ СК
средство построения метрической



Намновать
ссылку разомакутого
типа
сп. б. ч.

показание
акселерометра Vg

$$\tilde{a}_y = a_y \cos \beta + g \sin \beta + \delta a_y^{\ominus}$$

идеталим β макс;

$$\tilde{a}_y = a_y + g \beta + \delta a_y^{\ominus}$$

$$\tilde{a}_y - a_y = \Delta a_y = g \beta + \delta a_y^{\ominus} \quad \text{- ошибка измерения ускорения}$$

$$\Delta V_y = \int (g \beta + \delta a_y^{\ominus}) dt = \int (g \beta_0 + g \delta \omega_x^{\ominus} t + \delta a_y^{\ominus}) dt \quad \text{⊖}$$

Пусть $\delta \omega_x^{\ominus} = \text{const}$, $\delta a_y^{\ominus} = \text{const}$

$$\text{⊖} \quad g \beta_0 t + g \delta \omega_x^{\ominus} \frac{t^2}{2} + \delta a_y^{\ominus} t \quad \text{- ошибка по скорости}$$

7.5.
$$\Delta Y = \int (g \beta_0 t + g \delta \omega_x^{\ominus} \frac{t^2}{2} + \delta a_y^{\ominus} t) dt = g \beta_0 \frac{t^2}{2} + g \delta \omega_x^{\ominus} \frac{t^3}{6} + \delta a_y^{\ominus} \frac{t^2}{2}$$

Ошибки по коор-те и скорости растут
 очень быстро с увеличением времени.
 Больше всего ошибку дает перекоса,
 поэтому время работы 5-10 минут

УНС замкнутого

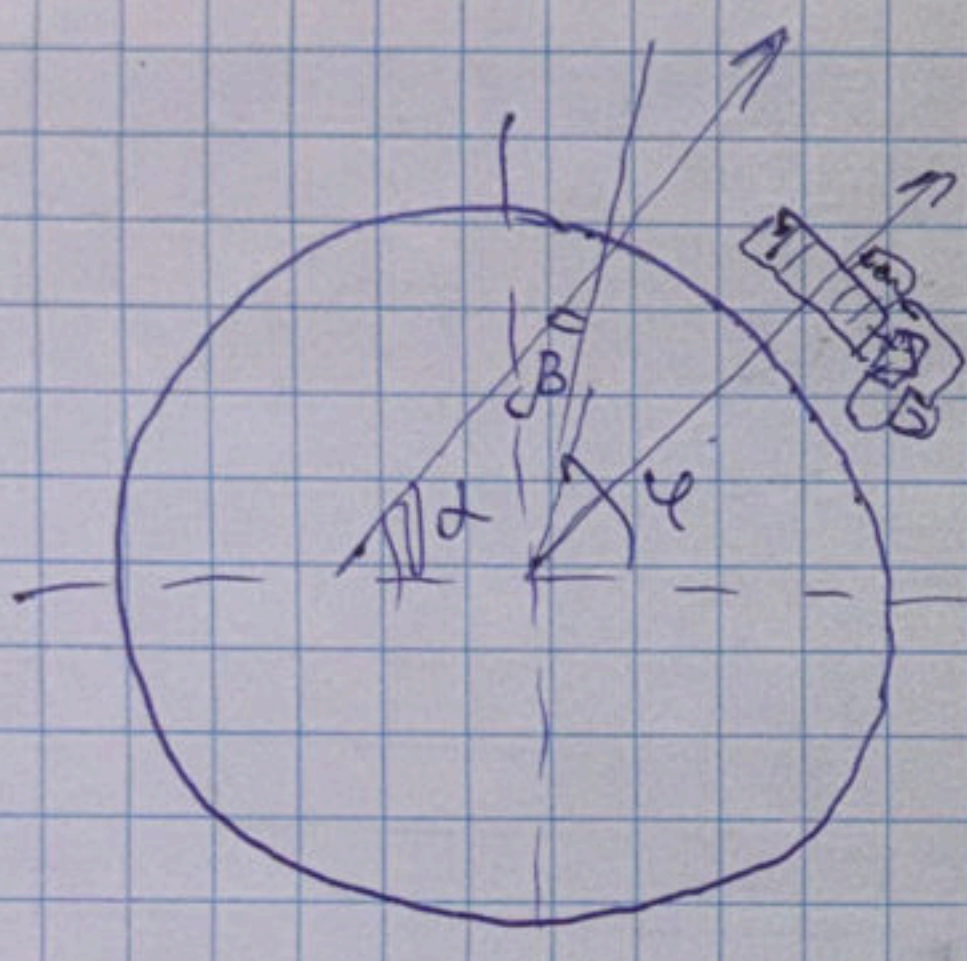
уменьшение угла разворота матрицы

$$\omega_{упр} = \omega_{упр} + \delta\omega_x^B = \dot{\alpha} = \dot{\psi} - \dot{\beta}$$

$$\omega_{упр} = \dot{\alpha}$$

 $\frac{1}{H}$ процесс г-на от момента ДМ

$\delta\omega_x^B$ - дрейф
 (из-за разл. темп. элементов)
 неравномерности



Нарисовать
 схему
 замкнутого
 УНС
 стр. 8.4

$$\omega_{упр} = \dot{\alpha}$$

$$\dot{\alpha} = \dot{\psi} - \dot{\beta}$$

$$\dot{\alpha} = \dot{\psi} - \dot{\beta}$$

$$\dot{\alpha} + \delta\omega_x^B = \dot{\psi} - \dot{\beta}$$

$$\dot{\beta} = \dot{\psi} - \dot{\alpha} - \delta\omega_x^B = \dot{\psi} - \dot{\alpha} - \delta\omega_x^B \quad (AAA)$$

$$\omega_{упр} = \dot{\alpha} = \frac{K}{H} \int_0^t \ddot{\alpha} dt = \frac{K}{H} \int_0^t (a_y + g\beta + \delta\omega_x^B) dt$$

$$\dot{\beta} = \frac{V}{R} - \frac{K}{H} V - \frac{K}{H} g \int_0^t \beta dt - \frac{K}{H} \int_0^t \delta\omega_x^B dt - \delta\omega_x^B$$

$$K = \frac{H}{R}$$

$$\ddot{\beta} = \frac{V}{R} - \frac{1}{R} V - \frac{1}{R} g \int_0^t \beta dt - \frac{1}{R} \int_0^t \delta a_y^{\vec{a}} dt - \delta \omega_x^{\vec{a}}$$

$$\ddot{\beta} + \nu^2 \int_0^t \beta dt = -\frac{1}{R} \int_0^t \delta a_y^{\vec{a}} dt - \delta \omega_x^{\vec{a}}$$

интегрирование уравнения сводится к решению задачи Коши в зависимости от начальных условий поведения вала и его поперечности. Записываем эту одномерную ЛКС замкнутой.

12.03.25

Рассмотрим частные случаи:

1. Число n и акселерация угловая

$$\delta a_y^{\vec{a}} = 0, \delta \omega_x^{\vec{a}} = 0, \beta_0 \neq 0$$

$$\ddot{\beta} + \nu^2 \int_0^t \beta dt = 0$$

Записываем передельный

$$x = \int \beta dt, \dot{x} = \beta, \ddot{x} = \dot{\beta}$$

$$\text{н.у. } \dot{x}(0) = \beta_0, \ddot{x}(0) = 0$$

$$\ddot{x} + \nu^2 x = 0 \text{ — незатухающая колеб.}$$

$$x = C_1 \cos \nu t + C_2 \sin \nu t$$

$$\dot{x} = -C_1 \sin \nu t \cdot \nu + C_2 \cos \nu t \cdot \nu$$

$$\dot{x}(0) = C_2 \nu = \beta_0 \Rightarrow C_2 = \frac{\beta_0}{\nu}$$

$$\ddot{x} = -C_1 \cos \nu t \nu^2 - C_2 \nu^2 \sin \nu t$$

$$\ddot{x}(0) = -C_1 \nu^2 = 0 \Rightarrow \nu \neq 0, \text{ т.к. это частота Угловой}$$

$$\Rightarrow C_1 = 0$$

$$x = \frac{\beta_0}{\nu} \sin \nu t$$

8.1.
7.7

$$\ddot{\beta} + \nu^2 \int_0^t \beta dt = -\frac{1}{R} \int_0^t \delta a_y^{\vec{a}} dt - \delta \omega_x^{\vec{a}}$$

$$\text{Пусть } \delta a_y^{\vec{a}} = \text{const}, \delta \omega_x^{\vec{a}} = \text{const}$$

Тогда

$$\ddot{\beta} + \nu^2 \int_0^t \beta dt = -\frac{\delta a_y^{\vec{a}}}{R} t - \delta \omega_x^{\vec{a}}$$

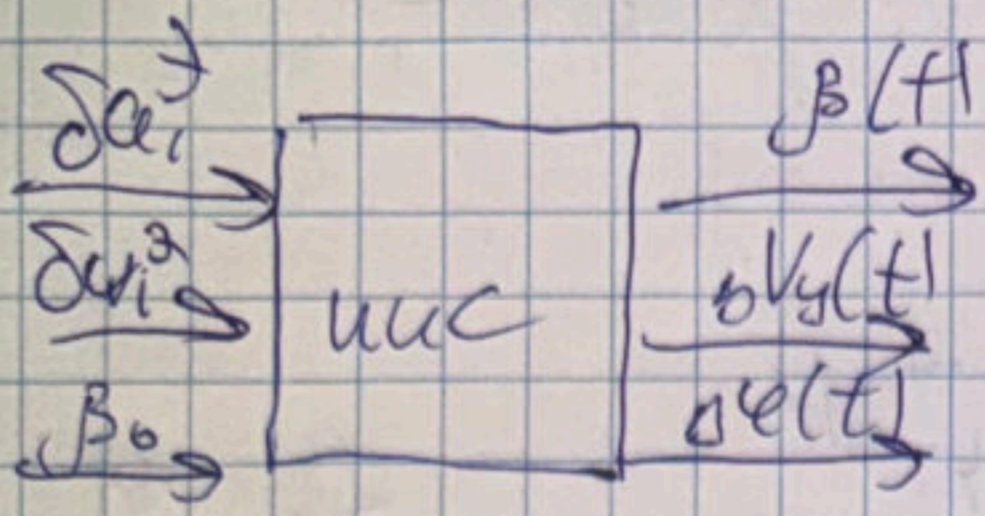
Воперат. реше:

$$s\beta(s) - \beta(0) + \nu^2 \frac{\beta(s)}{s} = -\frac{\delta a_y^{\vec{a}}}{R} \frac{1}{s^2} - \frac{\delta \omega_x^{\vec{a}}}{s}$$

$$\beta(s) \left(\frac{s^2 + \nu^2}{s} \right) = \beta(0) - \frac{\delta a_y^{\vec{a}}}{R} \frac{1}{s^2} - \frac{\delta \omega_x^{\vec{a}}}{s}$$

$$\beta(s) = \frac{\beta(0)s}{s^2 + \nu^2} - \frac{\delta a_y^{\vec{a}}}{R} \frac{1}{s(s^2 + \nu^2)} - \frac{\delta \omega_x^{\vec{a}}}{s^2 + \nu^2}$$

$$\beta(s) \doteq \beta(t) = \beta(0) \cos(\nu t) - \frac{\delta a_y^{\vec{a}}}{R} \left(\frac{t}{\nu^2} - \frac{\sin(\nu t)}{\nu} \right) - \frac{\delta \omega_x^{\vec{a}}}{\nu} \sin(\nu t)$$



$$\dot{x} = \beta_0 \cos \omega t = \beta(t) \Rightarrow \dot{\beta}(t) = -\beta_0 \omega \sin \omega t$$

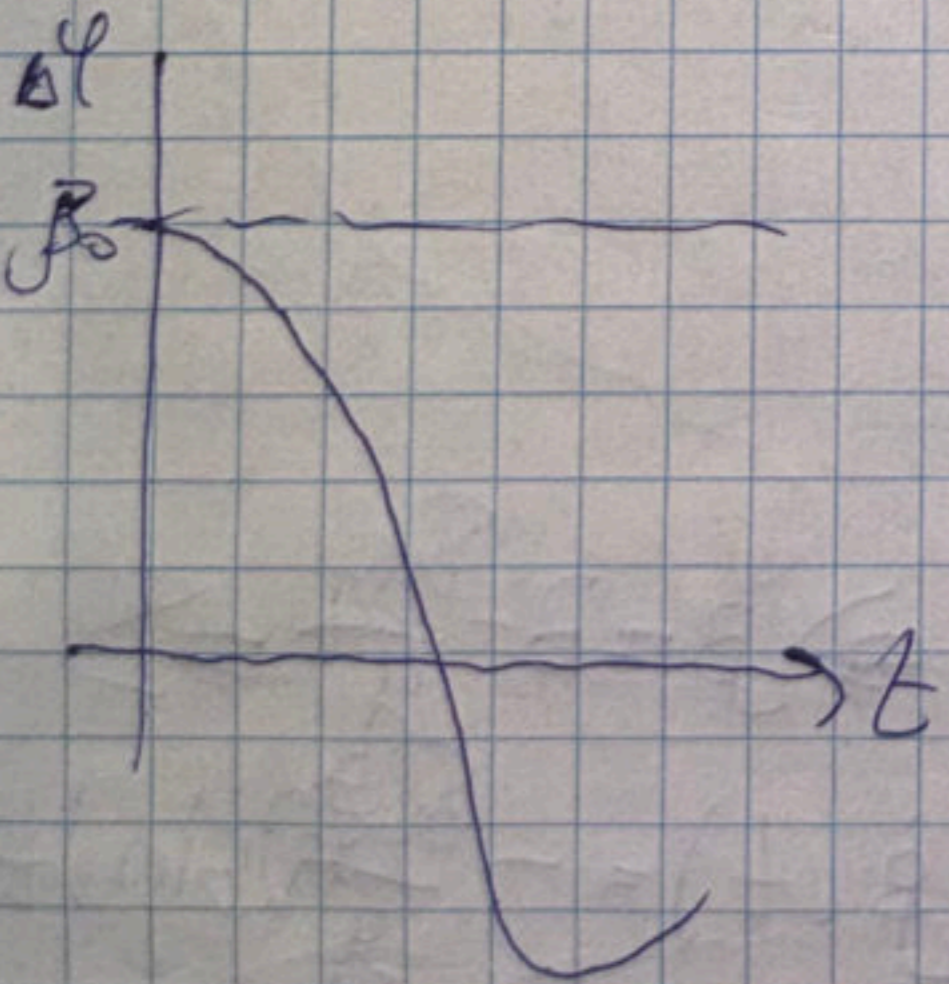
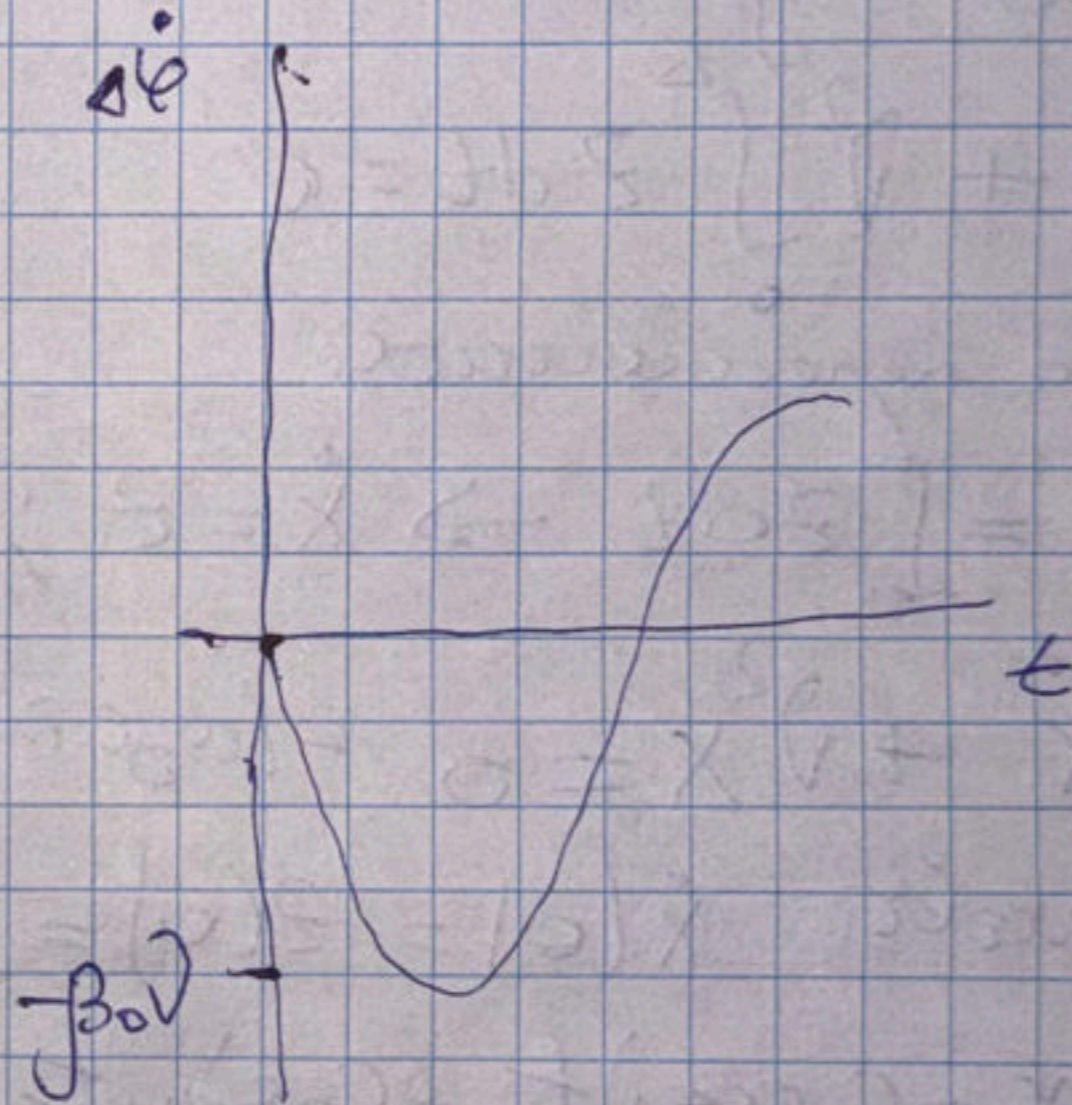
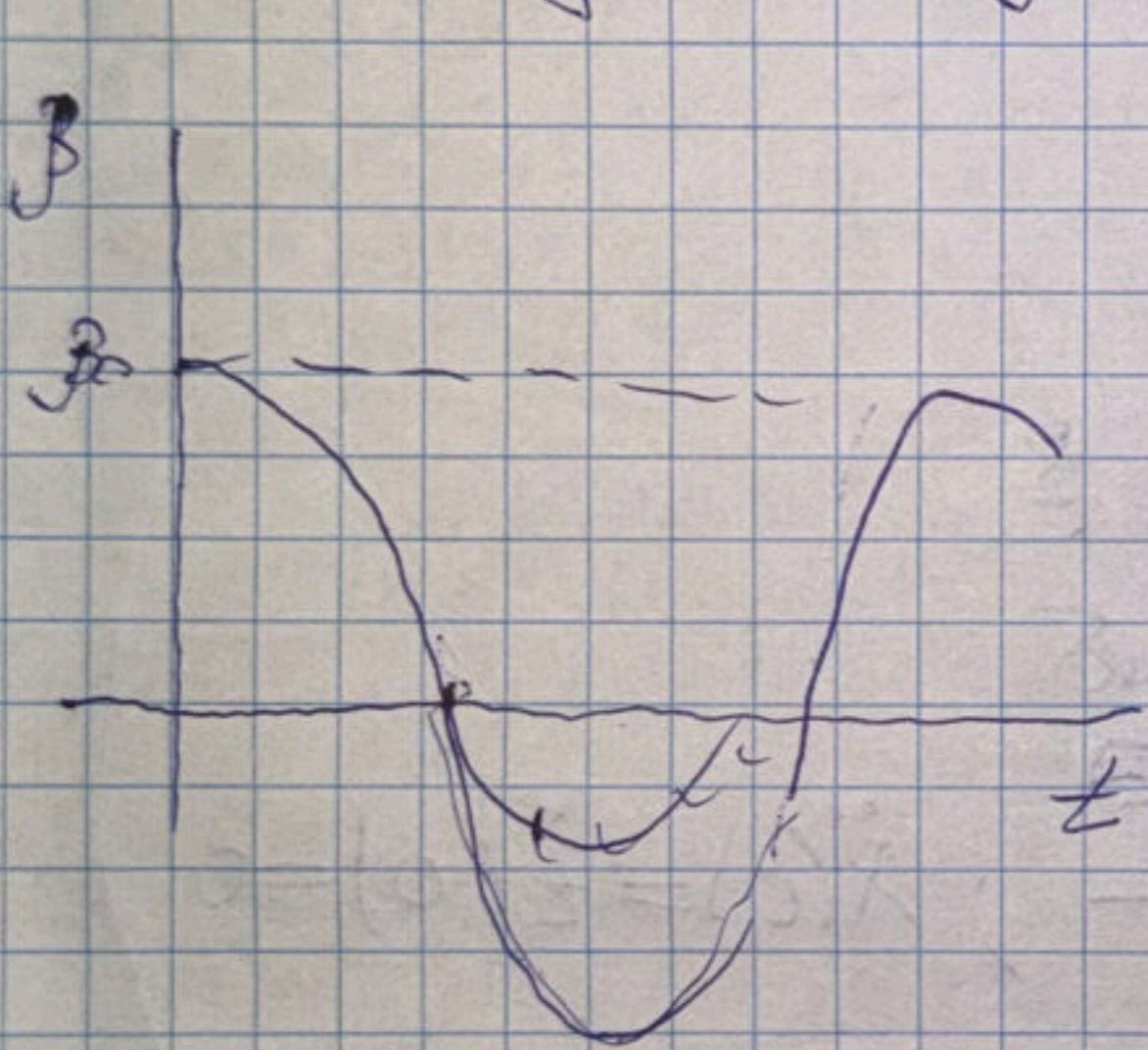
AAA
оп 26

$$\dot{\beta} = \Delta \dot{\varphi} - \delta \omega_x$$

ошибка опор. нулевой см-ты

$$\dot{\beta} = \Delta \dot{\varphi} = -\beta_0 \omega \sin \omega t \quad \text{— ошибка по скорости}$$

$$\Delta \varphi = \int \Delta \dot{\varphi} dt = \beta_0 \cos \omega t$$



только
Если есть ошибка параллельно — восстанови, а
приборы идеальные, то выходные погрешности УУС
не увеличатся с течением времени, а совершат
колебательные; какова была ошибка вход. равна
с частотой Шернера.

Угловая скорость вращения и угловой момент не зависят

2. $\delta a_y^z \neq 0, \delta \omega_x^z = 0, \beta_0 = 0$

$$\dot{\beta} + \nu^2 \int_0^t \beta dt = -\frac{1}{R} \int_0^t \delta a_y^z dt$$

$$\nu^2 = \frac{g}{R}$$

$$\dot{\beta} + \nu^2 \int_0^t \left(\beta + \frac{\delta a_y^z}{g} \right) dt = 0$$

где замена переменных

и у. $\dot{x}(0) = \dot{z}(0) = \frac{\delta a_y^z}{g}, \quad \ddot{x}(0) = \ddot{z}(0) = 0$

Замена переменных

$$z = \beta + \frac{\delta a_y^z}{g} \rightarrow \dot{z} = \dot{\beta}$$

$$\dot{z} + \nu^2 \int_0^t z dt = 0$$

Замена переменных

$$x = \int_0^t z dt \rightarrow \dot{x} = z; \quad \ddot{x} = \dot{z}$$

$$\ddot{x} + \nu^2 x = 0 \quad \text{— характеристическое}$$

Начальные условия $\dot{x}(0) = z(0) = \frac{\delta a_y^z}{g}; \quad \ddot{x}(0) = \dot{z}(0) = 0$

$$x = C_1 \cos \nu t + C_2 \sin \nu t$$

$$\dot{x} = -C_1 \sin \nu t \nu + C_2 \cos \nu t \nu$$

$$\dot{x}(0) = C_2 \nu = \frac{\delta a_y^z}{g} \Rightarrow C_2 = \frac{\delta a_y^z}{g \nu}$$

$$\ddot{x} = -C_1 \nu^2 \cos \nu t - C_2 \nu^2 \sin \nu t$$

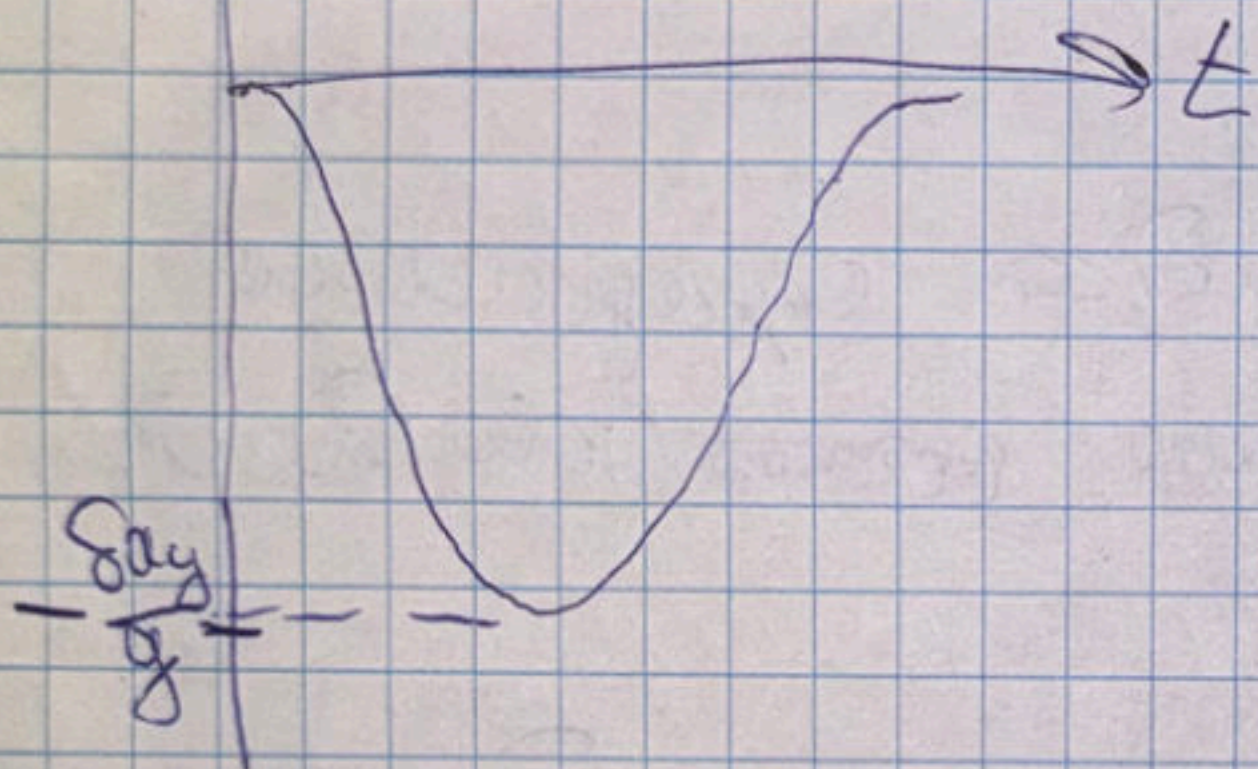
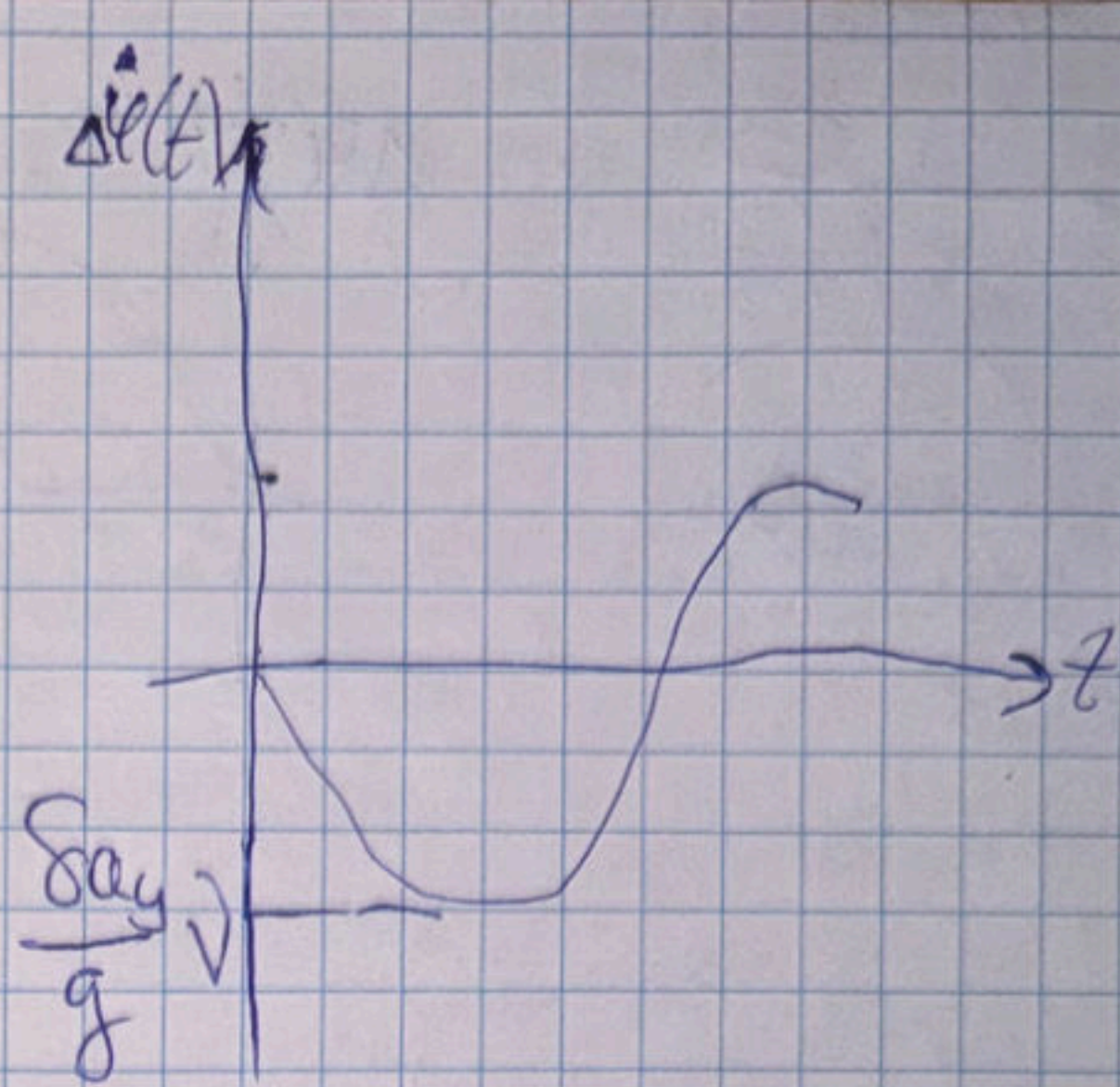
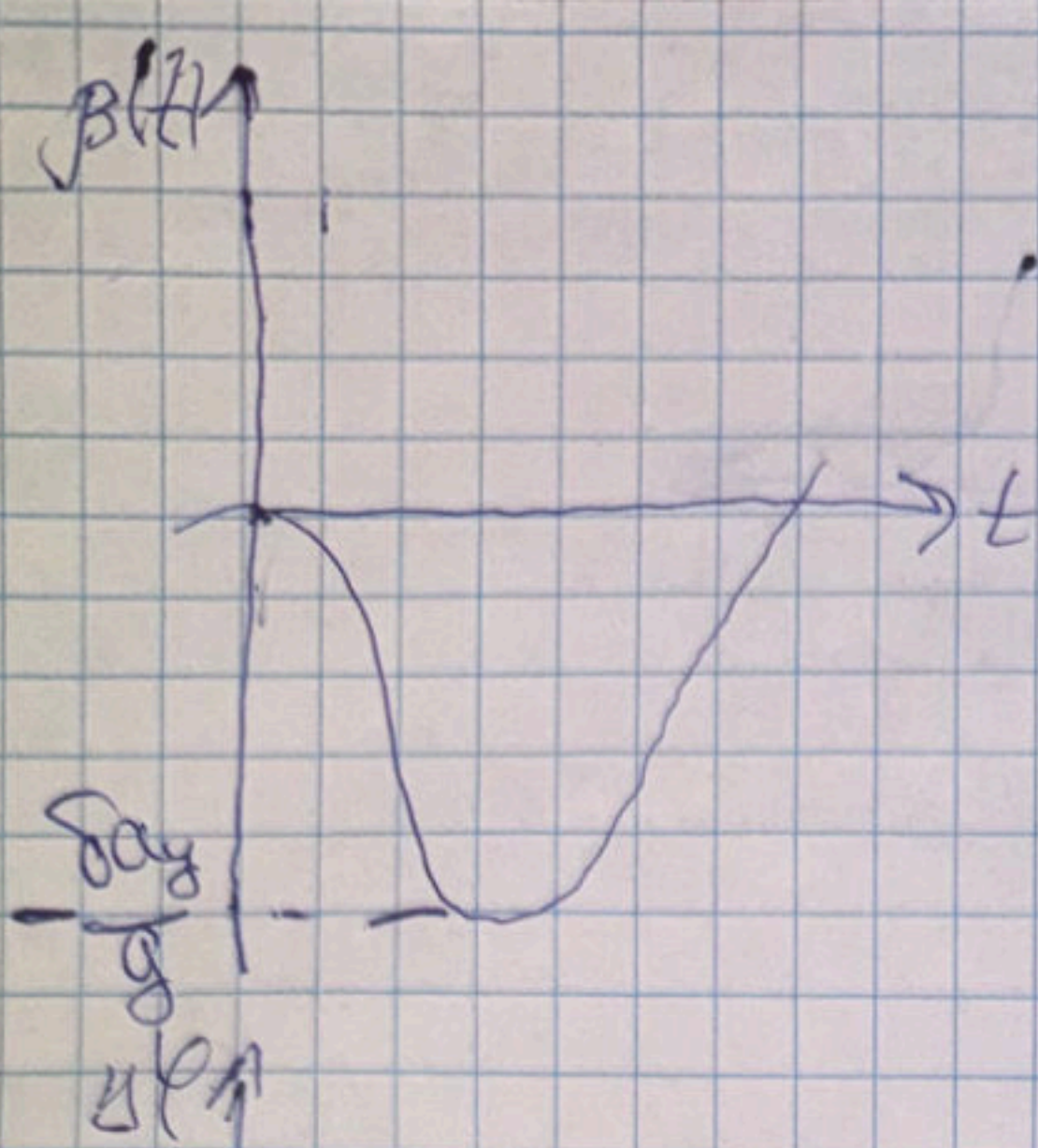
$$\ddot{x}(0) = -C_1 \nu^2 = 0 \Rightarrow C_1 = 0$$

$$x = \frac{\delta a_y^z}{g \nu} \sin \nu t \Rightarrow \dot{x} = \frac{\delta a_y^z}{g} \cos \nu t = z \Rightarrow \beta = z - \frac{\delta a_y^z}{g} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \beta(t) = -\frac{\delta a_y^z}{g} (1 - \cos \nu t); \quad \dot{\beta}(t) = -\frac{\delta a_y^z}{g} \nu \sin \nu t$$

$$\Rightarrow \Delta \psi = \dot{\beta} = -\frac{\delta a_y^z}{g} \nu \sin \nu t$$

$$\Delta \psi = -\frac{\delta a_y^z}{g} (1 - \cos \nu t)$$



Винетки не нарастают, а совершаются
узкие колеб. с частотой ω_x около
положения равновесия

3. $\delta a_y = 0$; $\delta \omega_x \neq 0$; $\beta_0 = 0$

Решаем операторным методом

$$\beta' + \nu^2 \int \beta dt = -\delta \omega_x$$

$$\left(p + \frac{\nu^2}{p} \right) \beta(p) = -\frac{1}{p} \delta \omega_x$$

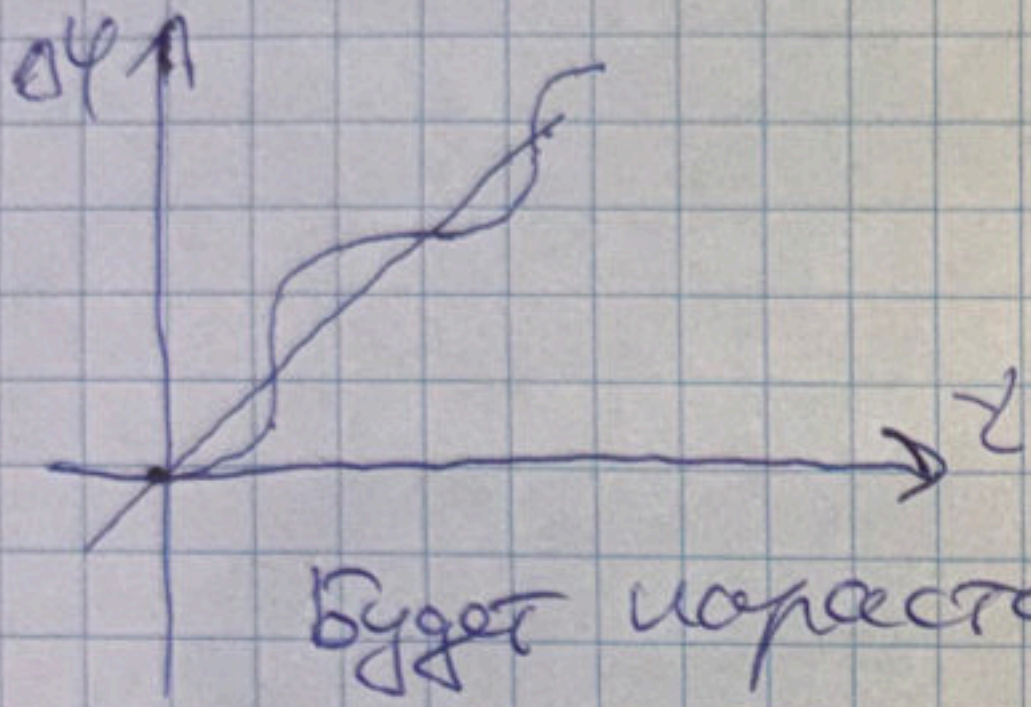
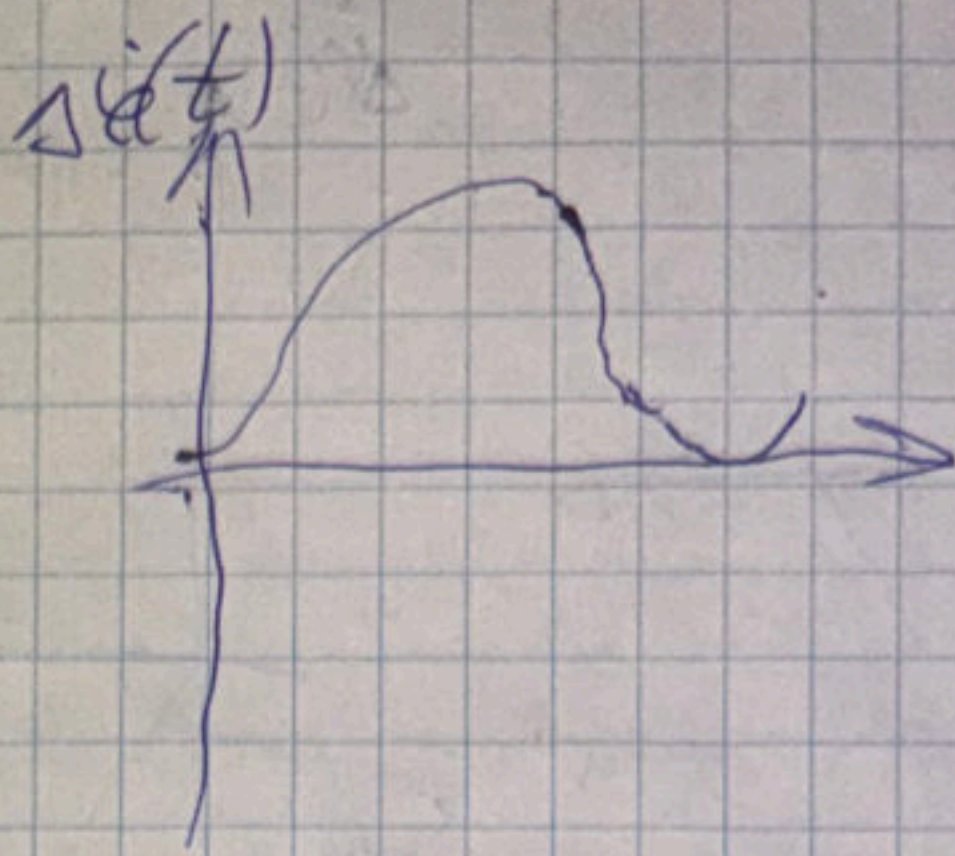
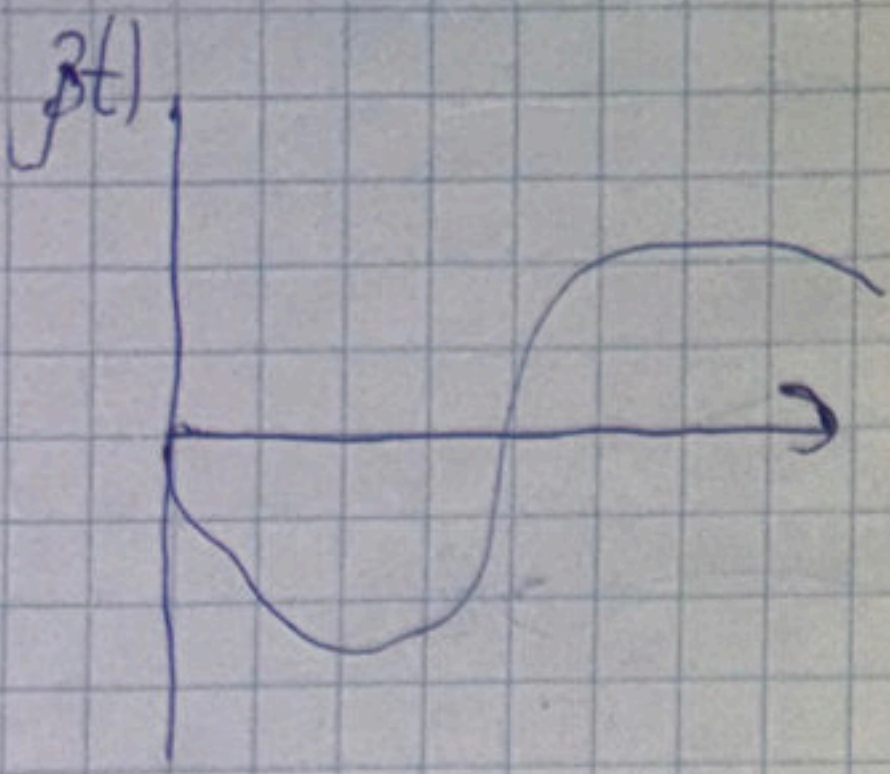
$$\beta(p) = -\frac{1}{p^2 + \nu^2} \delta \omega_x$$

$$\beta(t) = -\frac{\delta \omega_x}{\nu} \sin \nu t$$

$$\beta(t) = -\frac{\delta \omega_x}{\nu} \sin \nu t; \quad \beta(t) = -\delta \omega_x \cos \nu t$$

$$\Rightarrow \Delta \varphi = \beta + \delta \omega_x = \delta \omega_x (1 - \cos \nu t)$$

$$\Delta \varphi = \delta \omega_x \left(t - \frac{\sin \nu t}{\nu} \right)$$



Будет возрастать амплитуда определенных коор-т и стабилизируются остальные

Вывод

Если $\Gamma - \eta$ неограничен, то амплитуда растет и скорость

~~А вот амплитуда зависит от коор-т будет~~

$\delta \omega_{xt}^{\partial}$ - будет бегать

Потребности вертолета каюда



$\ddot{a}_2 = W + g$ - уравнение из уравнений идеального акселерометра в канальной форме

W - а.д.с. укор. ^{объекта} 2-ая производная

$$W = \dot{h}$$

$$\dot{h} = \ddot{a}_2 - g$$

Земля g

$$g^r = \frac{g_{r0} \cdot a^2}{(a+h)^2} (1 + \beta \sin^2 \varphi^r) \quad (\text{в})$$

~~Увеличение~~ сила тяжести, a - базисная высота,
 φ^r - геоцентрическая широта места
 β - безразмерный коэф. определяющий отклонение силы тяжести на полюсах по сравнению к экватору
 Разношии в динамическом рдг h и g

$$\beta = \frac{g_p - g_e}{g_e}$$

$$\approx g_{r0} \left(1 - 2 \frac{h}{R}\right)$$

равит. ускор. на экваторе

$$\ddot{h} = \tilde{a}_z - g^r = \tilde{a}_z - g_{r0} + 2v^2 h$$

Гра-ца погрешности:

интегр вариации

Вариация $\tilde{a}_z \rightarrow \Delta \tilde{a}_z$

Вариация $g_{r0} \rightarrow 0$

Вариация $2v^2 h \rightarrow 2v^2 \Delta h$

$$\Delta \ddot{h} - 2v^2 \Delta h = \Delta \tilde{a}_z$$

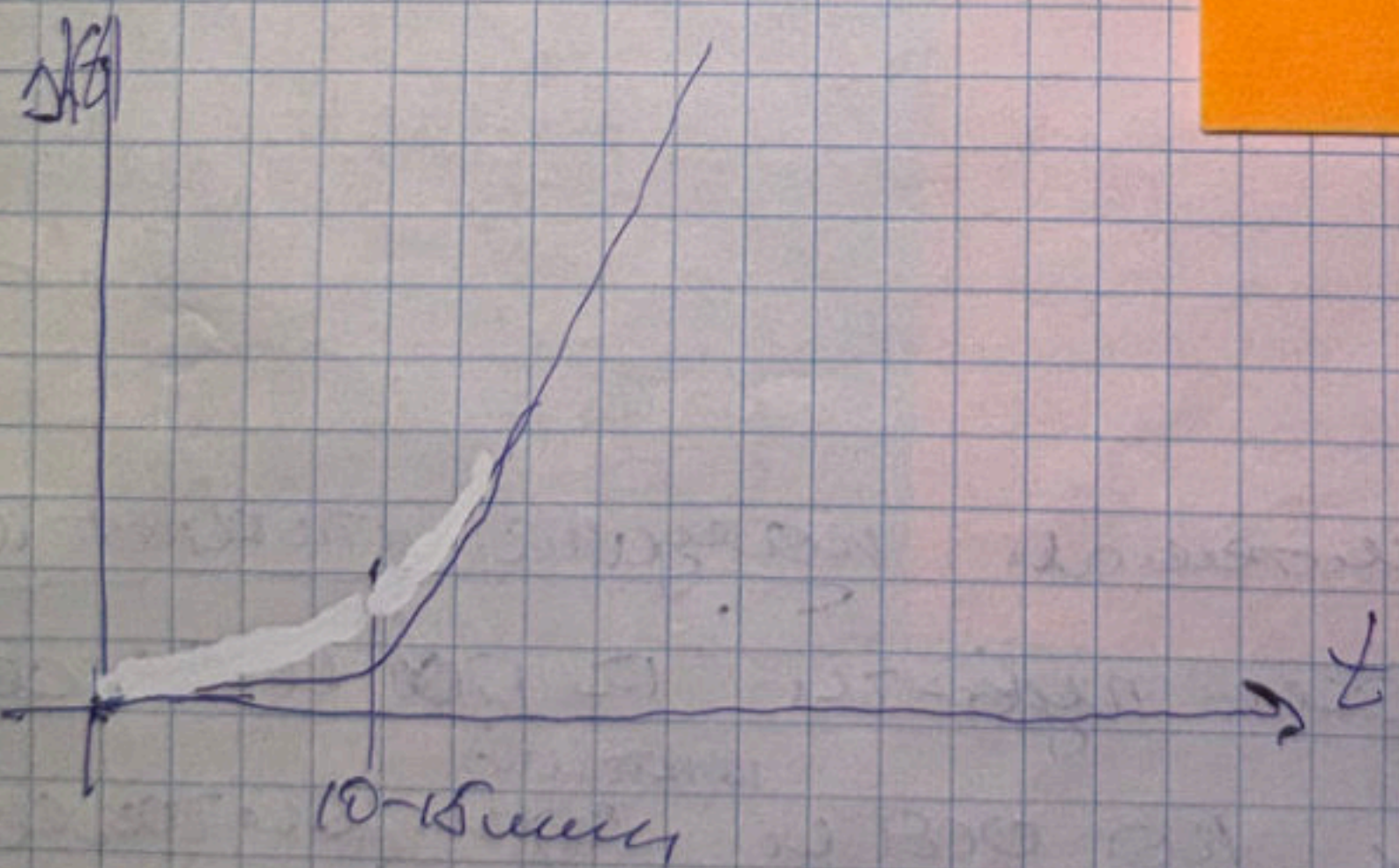
$$\Delta h = \frac{\Delta \tilde{a}_z}{2v^2} \text{ch } 2v t$$

$$\tilde{a}_z = a_z + \delta a_z$$

$$\frac{g_{r0} \cdot a^2}{(a+h)^2} = \frac{g_{r0}}{\left(1 + \frac{h}{a}\right)^2} =$$

$$= g_{r0} \left(1 + \frac{h}{a}\right)^{-2} \approx g_{r0} \left(1 - 2 \frac{h}{R}\right)$$

g_{r0} - равит. ускор на экваторе



$$\Rightarrow \Delta h(t) = \frac{\Delta \tilde{a}_z}{2v^2} t \text{ch } 2v t$$

Вертикальный канал не устойчивый,
 в алгоритмах работы не фиксируется
 т.е. высоту объекта измерять не можем

Алгоритмы ИНС

Используем 2 типа трехосевых (СК)

1. Ориент СК
2. Навигационная СК

Ориент СК

Оси по оси которой ориентируются оси гиротриггера Г-ПД и акселерометров

Навигационная СК

Такая СК в осях которой ^{получаем} ~~получаем~~ навигационные параметры (коор-ты) или стрелы вертикаль

29. Алгоритмы ИНС матричного типа

- Алгоритм ИНС

- Ориент СК

- Навигационная состав алгоритма

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Платформенные системы физическая платформа (Г-ПД и аксел-ометры)

- Рэйтингит.

- Азимит.

- Геодезия.

системы ИНС

- Рэйтингит

- Азимит

- Геодезия

К матр

наземного типа -

системы Г-ПД кот. оси гиротриггера Г-ПД и аксел-ометров

ориентированы по осям ^{каким} горизонтальной ^{плоскости} сопровождающего трехосевого

(оси гиротриггера аксел-ометров (Г-ПД) лежат в не-ти местной горизонтальной

9.1 Географическая навигационная базисная СК
8.7. Это для географических систем, выходящих канал информации

Системы аналитического типа

у кот. оси z -ти Γ -ов и осей-ов гради-ны, по осям меридианальной и экваториальной трехгранника,

реализуют неуправляемый мат-мод, т.е. акт. упроб ск-ть мат-мод Θ , либо компенсу-а ск-ть вр. Земли.

Система разрывного типа

Ав самая высокая мощность разрыв-а
Глобал. ск

Геометрич. типа

- у кот. оси z -ти Γ -ов по осям меридианальной СК, а осей z -ти осей-ов по осям горизонтальной экваториальной трехгранника

Здесь реализованы 2 матрицы
т.е. одна матрица

дуга

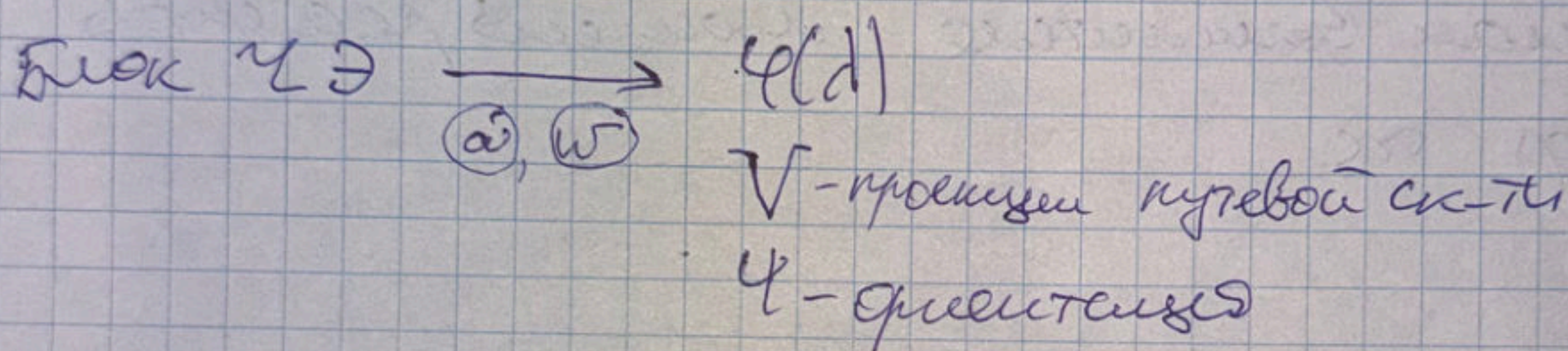
3
Конструкция сложная. Кинематика в пространстве

Занимается 1-2 типами

Алгоритмы ~~и~~ помещаем совокуп-ть
всех операций, чтобы из А перейти в В

ИИС Алгоритмы - об-то алгоритм-ик зависи-
 мостей, кот. позволяют по вхождению данных
 системы (показатели Γ -об, квал. выставка,
 квал. условия). Поз получить все навигацион-
 ные параметры. Алгоритмы работы ИИС
 отражаются спомощью блок схем -
 модельные структуры схем ~~и~~ ИИС

У нас есть на платформе:



Состав алгоритмов:

1. $V = f(a)$
2. $\psi(\lambda) = f(a)$
3. ω система уравнения $= f(V)$
4. Численный курс

!!! Алгоритмы - это упр-ие идеальной работы ИИС

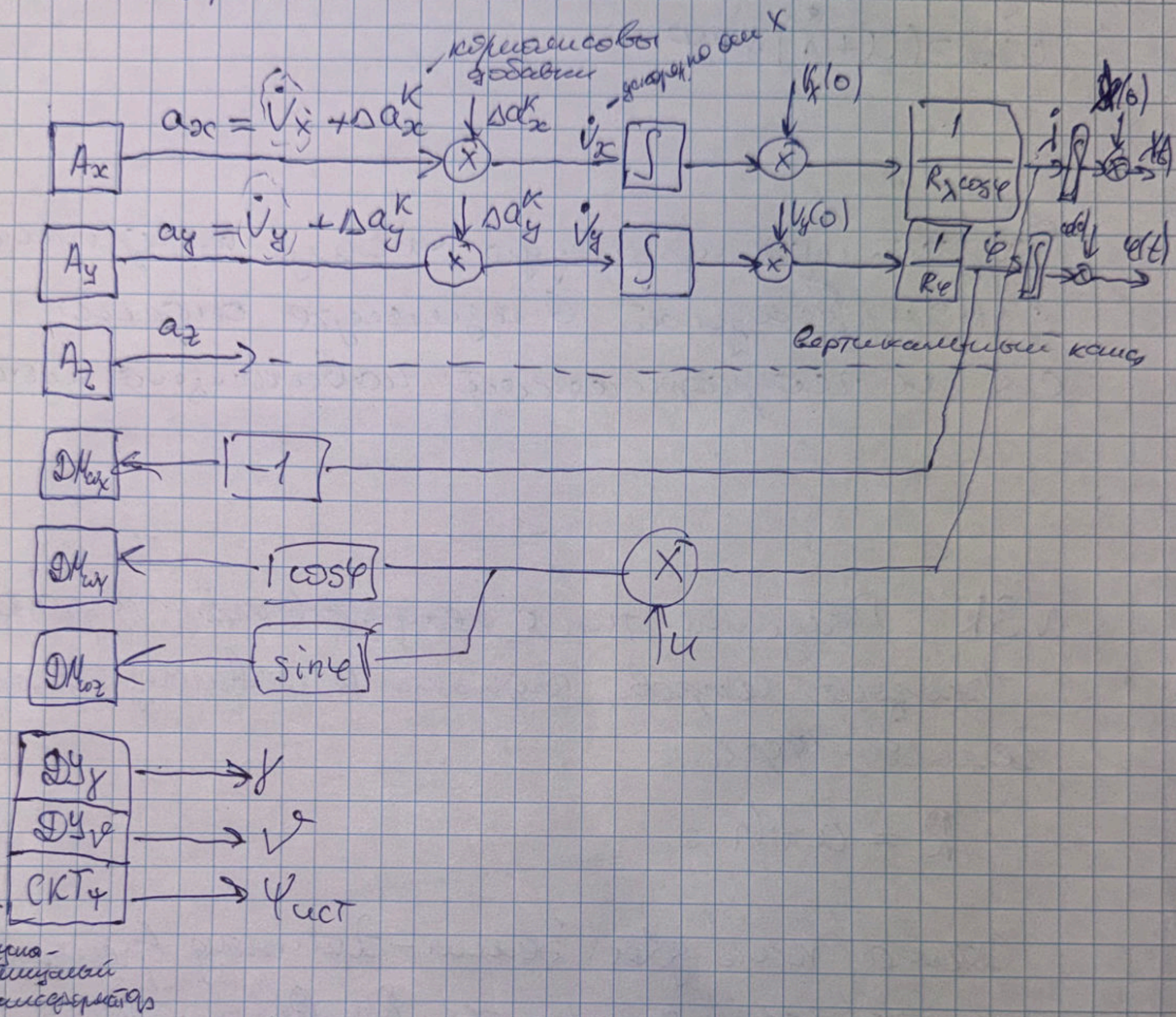
ИИС Полиномиального типа

с погреш. СК как ориент., так и
 навигационной

и.е. Алгоритмы совпадают с навигационной СК

БЛОК схема аналоговой ИМС

XYZ - регуляц. СК



СР. 4.7 это уравнение!

$$\begin{aligned} \ddot{a}_x &= \dot{v}_x + (\omega_y + u \cos \varphi) v_z - (\omega_z + u \sin \varphi) v_y \\ \ddot{a}_y &= \dot{v}_y + (\omega_z + u \sin \varphi) v_x - \omega_x v_z \\ \ddot{a}_z &= \dot{v}_z + \omega_x v_y - (\omega_y + u \cos \varphi) v_x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\varphi} &= \frac{v_y}{R_y} \\ \dot{\lambda} &= \frac{v_x}{R_x \cos \varphi} \end{aligned}$$

$$R_y = a \left(1 - e^2 + \frac{3}{2} e^2 \sin^2 \varphi + \frac{h}{a} \right)$$

$$R_x = a \left(1 + \frac{1}{2} e^2 \sin^2 \varphi + \frac{h}{a} \right)$$

$$\omega_x = -\dot{\varphi}$$

$$\omega_y = (\omega + \dot{\lambda}) \cos \varphi$$

$$\omega_z = (\omega + \dot{\lambda}) \sin \varphi$$

Поправить логическую схему алгоритма,
с производной в азимуте опорной
СК и географической независимой СК

N3R. Получил тип с ~~названием~~ в азим. географ.

тригоном. соотнош. азимута и азимут. тригонометрии

Земля - сфера

$$R = a \tan h$$

Схема как для Земли - Луны граница,
но только заменить R_d, R_p на R

Движение СК - Периодическая базисные СК

Наблюдения СК - неуправляемая СК

$\Theta X \Upsilon Z \Upsilon$

$$\omega_{x\pi} = -\frac{V_y}{R\lambda} \cos \epsilon + \left(\frac{V_x}{R\lambda} + U \cos \varphi \right) \sin \epsilon$$

$$\omega_{y\pi} = -\frac{V_x}{R\lambda} \sin \epsilon + \left(\frac{V_y}{R\lambda} + U \cos \varphi \right) \cos \epsilon$$

$$\omega_{z\pi} = U \sin \varphi$$

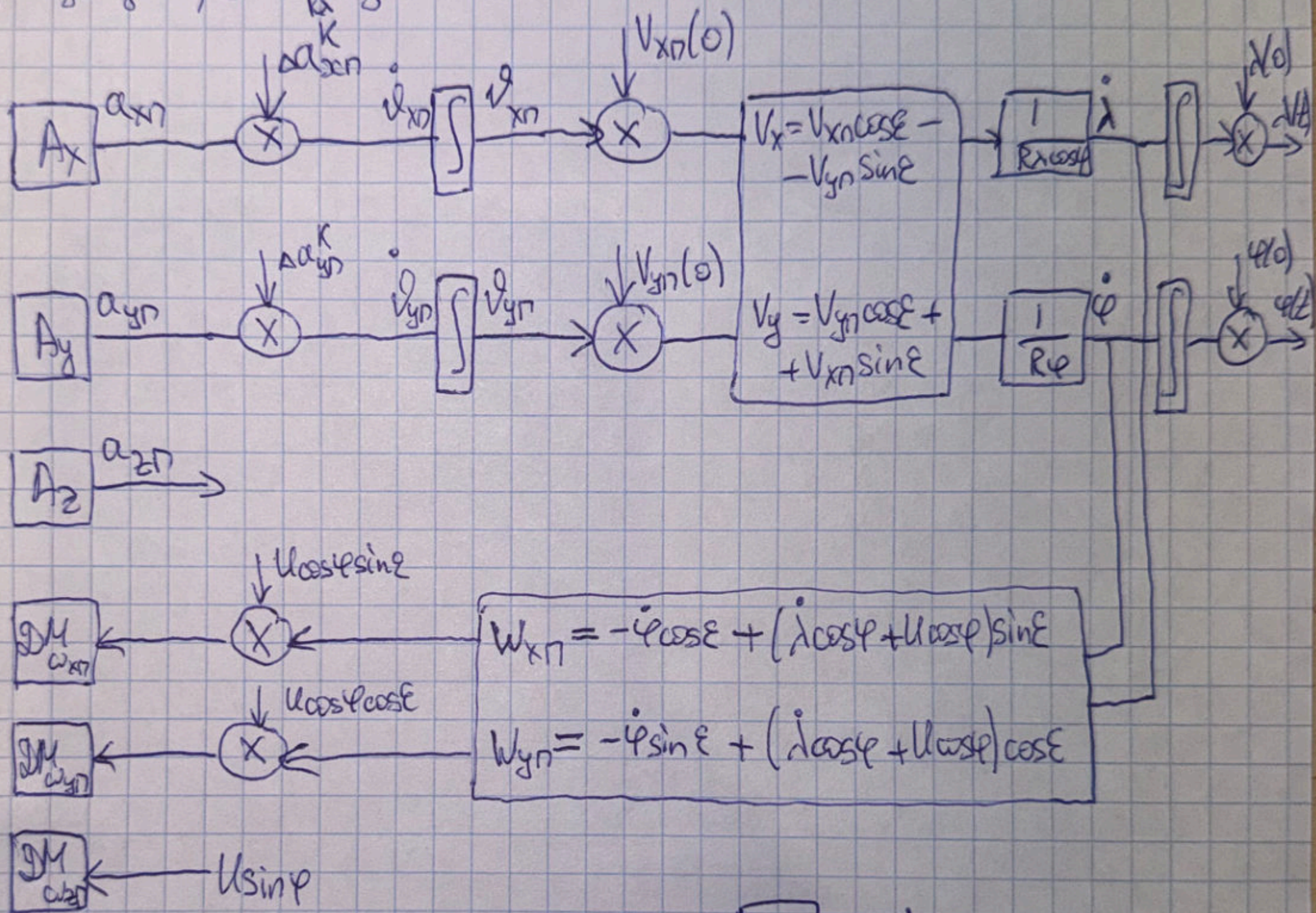
ϵ - азимут. угол; $\dot{\epsilon} = -\frac{V_x}{R\lambda} \operatorname{tg} \varphi$

$$V_x = V_{x\pi} \cos \epsilon - V_{y\pi} \sin \epsilon$$

$$V_y = V_{y\pi} \cos \epsilon + V_{x\pi} \sin \epsilon$$

$$\omega_{x\pi} = -\dot{\epsilon} \cos \epsilon + (\dot{\lambda} \cos \varphi + U \cos \varphi) \sin \epsilon$$

$$\omega_{y\pi} = -\dot{\epsilon} \sin \epsilon + (\dot{\lambda} \cos \varphi + U \cos \varphi) \cos \epsilon$$



Для азимутального - свободная

$$\dot{\epsilon} = -\frac{V_x}{R\lambda} \operatorname{tg} \varphi - U \sin \varphi$$

и нет на $\Delta \omega_{z\pi}$ сигнала

$$K_{x\pi} \rightarrow x$$

$$K_{y\pi} \rightarrow y$$

$$K_{\omega\pi} \rightarrow \psi' = \psi - \epsilon$$

Опорная СК - Произвольная базисные СК

Направляющие СК - Географическая СК

$$\omega_{x\eta} = -\frac{V_y}{R_y} \cos \varepsilon + \left(\frac{V_x}{R_x} + (\cos \varphi) \right) \sin \varepsilon$$

$$\omega_{y\eta} = -\frac{V_x}{R_x} \sin \varepsilon + \left(\frac{V_y}{R_y} + (\cos \varphi) \right) \cos \varepsilon$$

$$\omega_{z\eta} = \dot{\varepsilon} \sin \varepsilon$$

ε - азимутальный угол

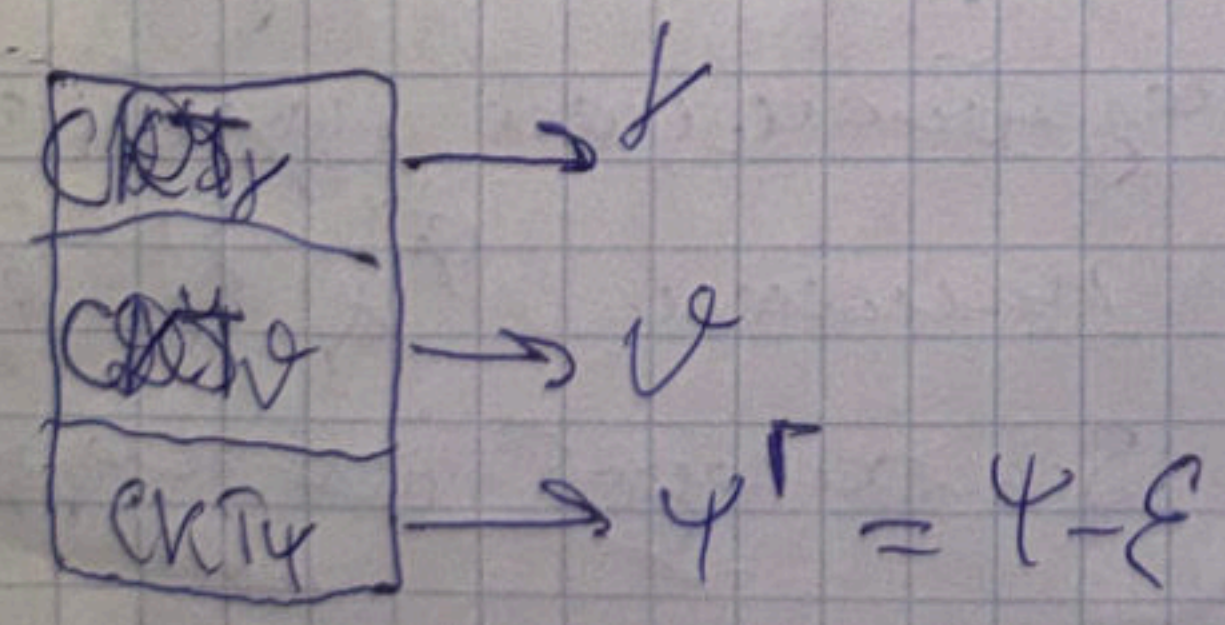
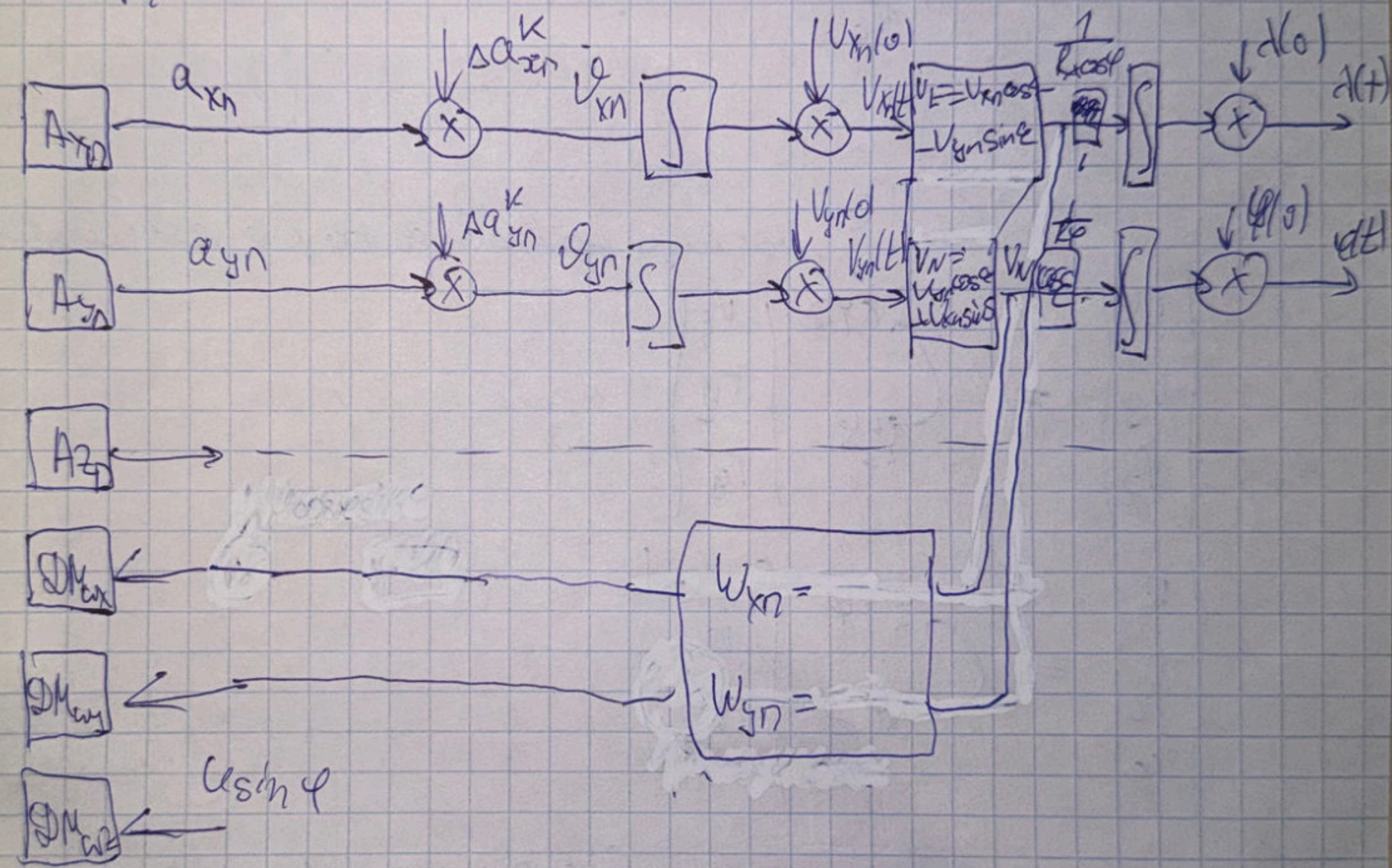
$$\dot{\varepsilon} = -\frac{V_x}{R_x} \operatorname{tg} \varphi$$

$$V_x = V_{x\eta} \cos \varepsilon - V_{y\eta} \sin \varepsilon$$

$$V_y = V_{y\eta} \cos \varepsilon + V_{x\eta} \sin \varepsilon$$

$$\omega_{x\eta} = -\dot{\varepsilon} \cos \varepsilon + (\dot{\lambda} \cos \varphi + (\cos \varepsilon) \dot{\varphi}) \sin \varepsilon$$

$$\omega_{y\eta} = -\dot{\varepsilon} \sin \varepsilon + (\dot{\lambda} \cos \varphi + (\cos \varepsilon) \dot{\varphi}) \cos \varepsilon$$



26.03.25

Преобразование системы координат

поворотами

Матрица направляющих косинусов

Пусть вектор \vec{r}

представим $\begin{pmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{pmatrix}$ на систему координат XYZ

и это представим как СК $\xi\eta\zeta$

$$\begin{pmatrix} v_\xi \\ v_\eta \\ v_\zeta \end{pmatrix}$$

матрица направляющих косинусов

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} XYZ \\ \xi\eta\zeta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_\xi \\ v_\eta \\ v_\zeta \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} v_\xi \\ v_\eta \\ v_\zeta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi\eta\zeta \\ XYZ \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix}$$

Рассмотрим матрицу направляющих косинусов Φ для перехода от XYZ к $\xi\eta\zeta$ независимые параметры при таком преобразовании принимаем $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ на координатах осуществляем 3 последовательных независимых поворота

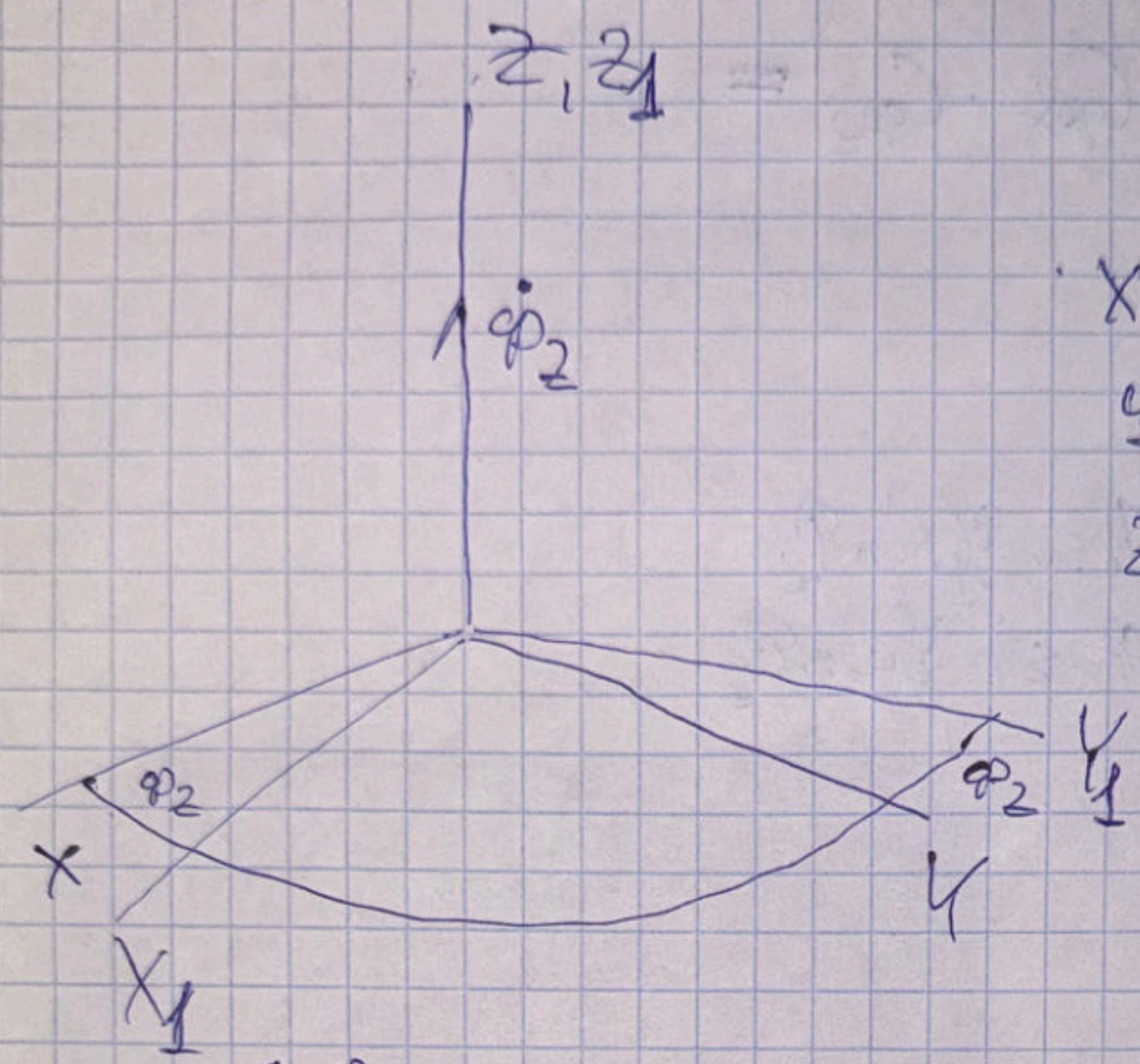
Возьмем последовательные повороты

$$XYZ \xrightarrow[\varphi_2]{\varphi_1} X_1 Y_1 Z_1 \xrightarrow[\varphi_3]{\varphi_2} X_2 Y_2 Z_2 \xrightarrow[\varphi_3]{\varphi_1} X_0 Y_0 Z_0$$

10.1.

9.7.

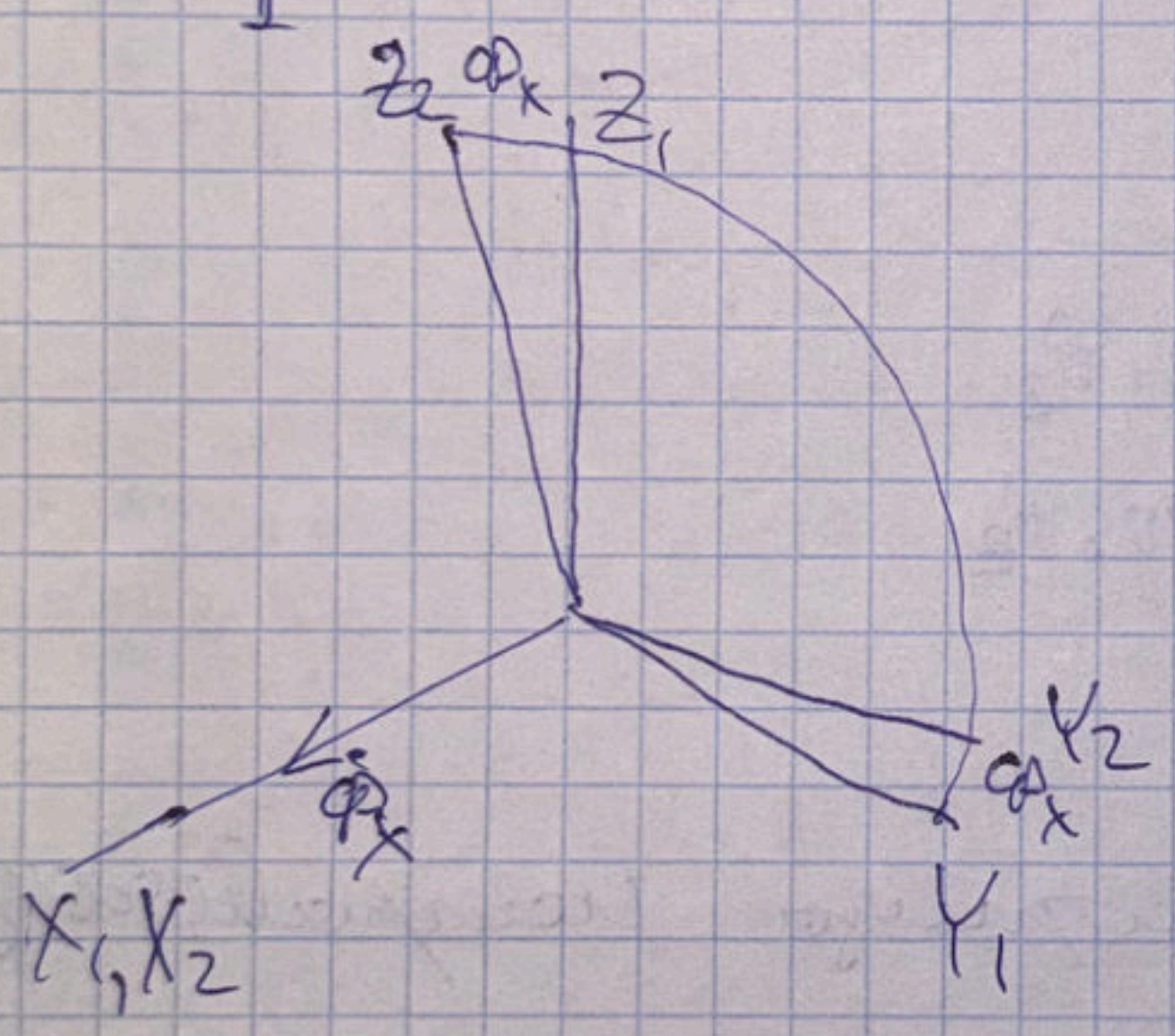
первый поворот вокруг вертикальной оси $\xi\eta\zeta$ на угол φ_2 . Возьмем XYZ



$$\begin{aligned}
 X_1 &= X \cos \varphi_2 + Y \sin \varphi_2 \\
 Y_1 &= -X \sin \varphi_2 + Y \cos \varphi_2 \\
 Z_1 &= Z
 \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_2 & \sin \varphi_2 & 0 \\ -\sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

матрица
поворота
вокруг
z-оси



$$\begin{aligned}
 X_2 &= X_1 \\
 Y_2 &= Y_1 \cos \varphi_x + Z_1 \sin \varphi_x \\
 Z_2 &= -Y_1 \sin \varphi_x + Z_1 \cos \varphi_x
 \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_x & \sin \varphi_x \\ 0 & -\sin \varphi_x & \cos \varphi_x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}$$

C φ_x

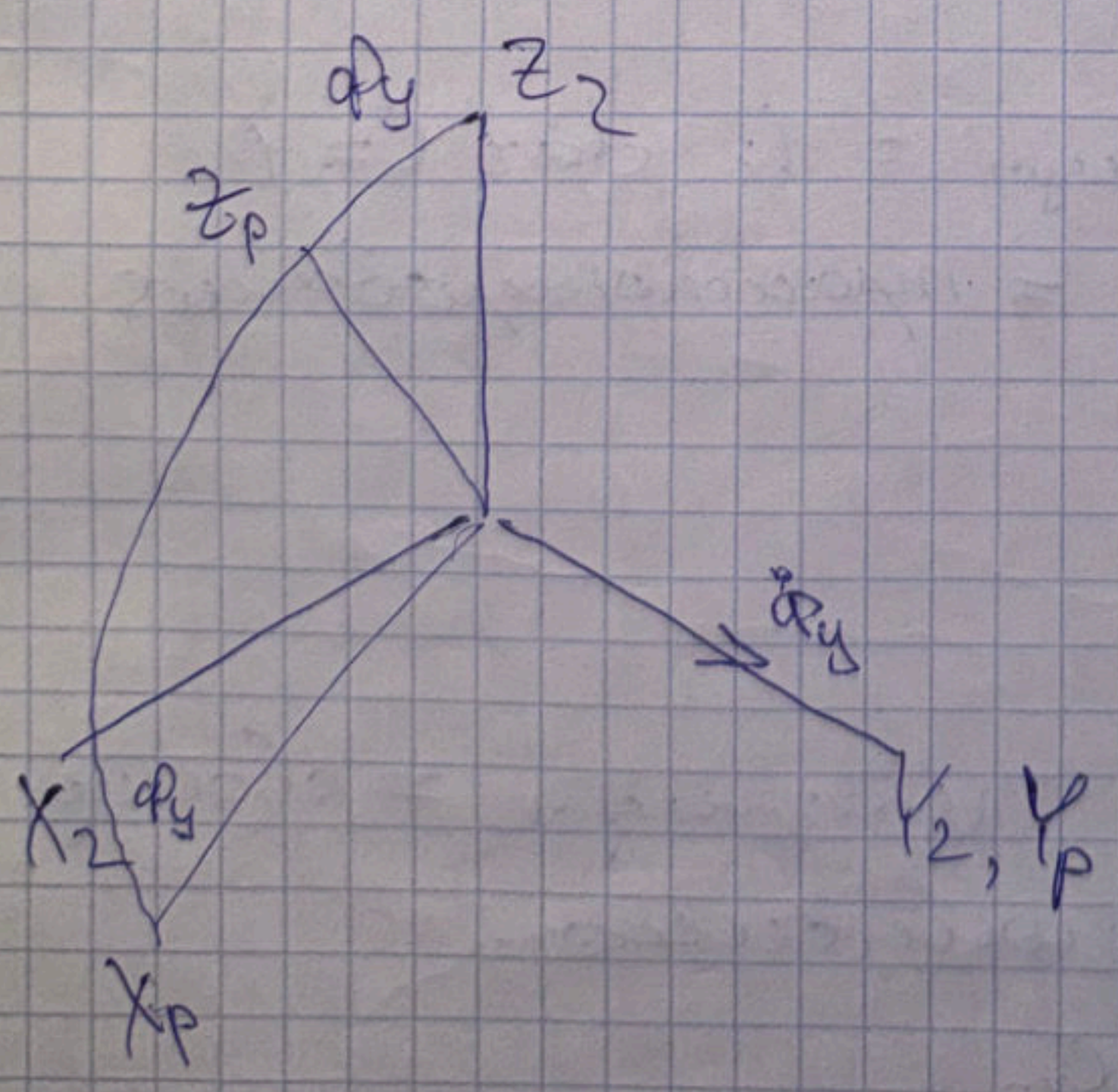
$$X_p = X_2 \cos \varphi_y - Z_2 \sin \varphi_y$$

$$Y_p = Y_2$$

$$Z_p = X_2 \sin \varphi_y + Z_2 \cos \varphi_y$$

$$\begin{pmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_y & 0 & -\sin \varphi_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varphi_y & 0 & \cos \varphi_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix}$$

C φ_y



Матрица перехода от $X^Y Z$ к $X^U Z_0$

$$C_{X^U Z_0}^{X^Y Z} = C_{\varphi_y} \cdot C_{\varphi_x} \cdot C_{\varphi_z} =$$

$$C_{\varphi} = \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{vmatrix}$$

$$c_{11} = \cos \varphi_y \cos \varphi_z - \sin \varphi_x \sin \varphi_y \sin \varphi_z$$

$$c_{12} = \cos \varphi_y \sin \varphi_z + \sin \varphi_x \sin \varphi_y \cos \varphi_z$$

$$c_{13} = -\cos \varphi_x \sin \varphi_y$$

$$c_{21} = -\cos \varphi_x \sin \varphi_z$$

$$c_{22} = \cos \varphi_x \cos \varphi_z$$

$$c_{23} = \sin \varphi_x$$

$$c_{31} = \sin \varphi_y \cos \varphi_z + \sin \varphi_x \cos \varphi_y \sin \varphi_z$$

$$c_{32} = \sin \varphi_y \sin \varphi_z - \sin \varphi_x \cos \varphi_y \cos \varphi_z$$

$$c_{33} = \cos \varphi_x \cos \varphi_y$$

Свойство матрицы направления
Косинусов.

1. Определитель матрицы = 1: $\det C = 1$

2. Обратная матрица = транспонированная

$$C^{-1} = C^T$$

$$C^{-1} = \frac{\tilde{C}}{\det C}$$

3. Каждый элемент матрицы = своему
алгебраическому дополнению

$$c_{11} = c_{22} \cdot c_{33} - c_{23} \cdot c_{32}$$

4. Каждому из 9 направляющих косинусов
 дается соот-во 6-ти взаимноперпендикулярных
 уравнений

$$C_{i1} \cdot C_{j1} + C_{i2} \cdot C_{j2} + C_{i3} \cdot C_{j3} = \begin{cases} 1, & \text{если } i=j \\ 0, & \text{если } i \neq j \end{cases}$$

$$C_{11}^2 + C_{12}^2 + C_{13}^2 = 1$$

$$C_{21}^2 + C_{22}^2 + C_{23}^2 = 1; \quad C_{31}^2 + C_{32}^2 + C_{33}^2 = 1$$

сумма квадратов строк или столбцов = 1

$$C_{11} \cdot C_{21} + C_{12} \cdot C_{22} + C_{13} \cdot C_{23} = 0$$

Матрица малого поворота

$XYZ \rightarrow X_p Y_p Z_p$ - осями декарта;

т.е. $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z \rightarrow 0 \Rightarrow \cos \varphi_i = 1, \sin \varphi_i = \varphi_i$

ΔC_{φ} - матрица малых углов

$$C_{11} = 1$$

$$C_{12} = \varphi_2$$

$$C_{13} = -\varphi_y$$

$$C_{21} = -\varphi_2$$

$$C_{22} = 1$$

$$C_{23} = \varphi_x$$

$$C_{31} = \varphi_y$$

$$C_{32} = -\varphi_x$$

$$C_{33} = 1$$

$$\Delta C_{\varphi} = \begin{pmatrix} 1 & \varphi_2 & -\varphi_y \\ -\varphi_2 & 1 & \varphi_x \\ \varphi_y & -\varphi_x & 1 \end{pmatrix} =$$

$$= E + \begin{pmatrix} 0 & \varphi_2 & -\varphi_y \\ -\varphi_2 & 0 & \varphi_x \\ \varphi_y & -\varphi_x & 0 \end{pmatrix}$$

единица
 косинусов малых углов
 матрица малых углов

Представление малых углов

$$\varphi_i = \omega_i \Delta t, \quad \Delta t \rightarrow 0$$

$$\Delta C_{op} = E + \begin{pmatrix} 0 & \omega_z & -\omega_y \\ -\omega_z & 0 & \omega_x \\ \omega_y & -\omega_x & 0 \end{pmatrix} \Delta t$$

Для того чтобы иметь ориентацию z-x СК, нужно знать условия СК-ти одной СК по отношению к другой

Кинематические уравнения Пуассона

Пусть есть вектор СК-ти a в СК V и знаем проекции этого вектора на оси инерц. СК XYZ (пусть XYZ географ. СК) $\begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix}$

Нам ^{нужно} интересен вектор a от-но инерц. СК $\begin{pmatrix} V_{\zeta a} \\ V_{\eta a} \\ V_{\xi a} \end{pmatrix}$ $\zeta a \eta a \xi a$ - инерц. СК

$$\begin{pmatrix} V_{\zeta a} \\ V_{\eta a} \\ V_{\xi a} \end{pmatrix} = C_a \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix}$$

Продифференцируем член правой матрицы C_a и получим слева на матрицу обратную C_a^{-1}

$$C_a^{-1} \begin{pmatrix} \dot{V}_{\zeta a} \\ \dot{V}_{\eta a} \\ \dot{V}_{\xi a} \end{pmatrix} = C_a^{-1} C_a \begin{pmatrix} \dot{V}_x \\ \dot{V}_y \\ \dot{V}_z \end{pmatrix} + C_a^{-1} \dot{C}_a \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix}$$

где таинка (x^*, y^*, v^*, z^*)

линия:

1. ~~Нужно~~ ^{нужно} ~~идти~~ ^{идти} ~~к~~ ^к ~~цели~~ ^{цели}

2. Наведение на цель:

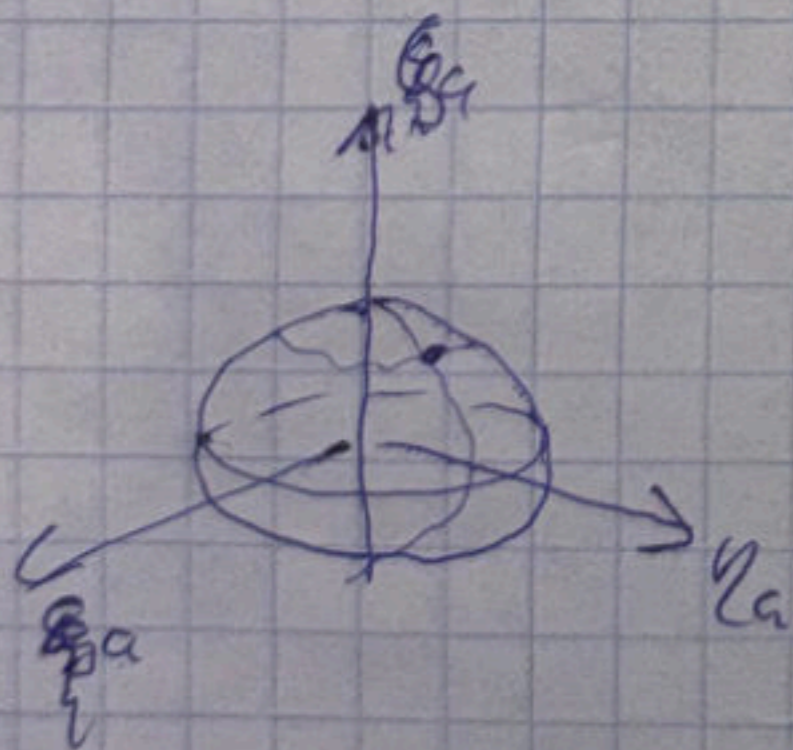
когда отсечка пути проложена в тот момент
времени, когда $\varphi^*(x^*, y^*, v^*, z^*)$
достигнет

На основе данных построить теорию φ -то

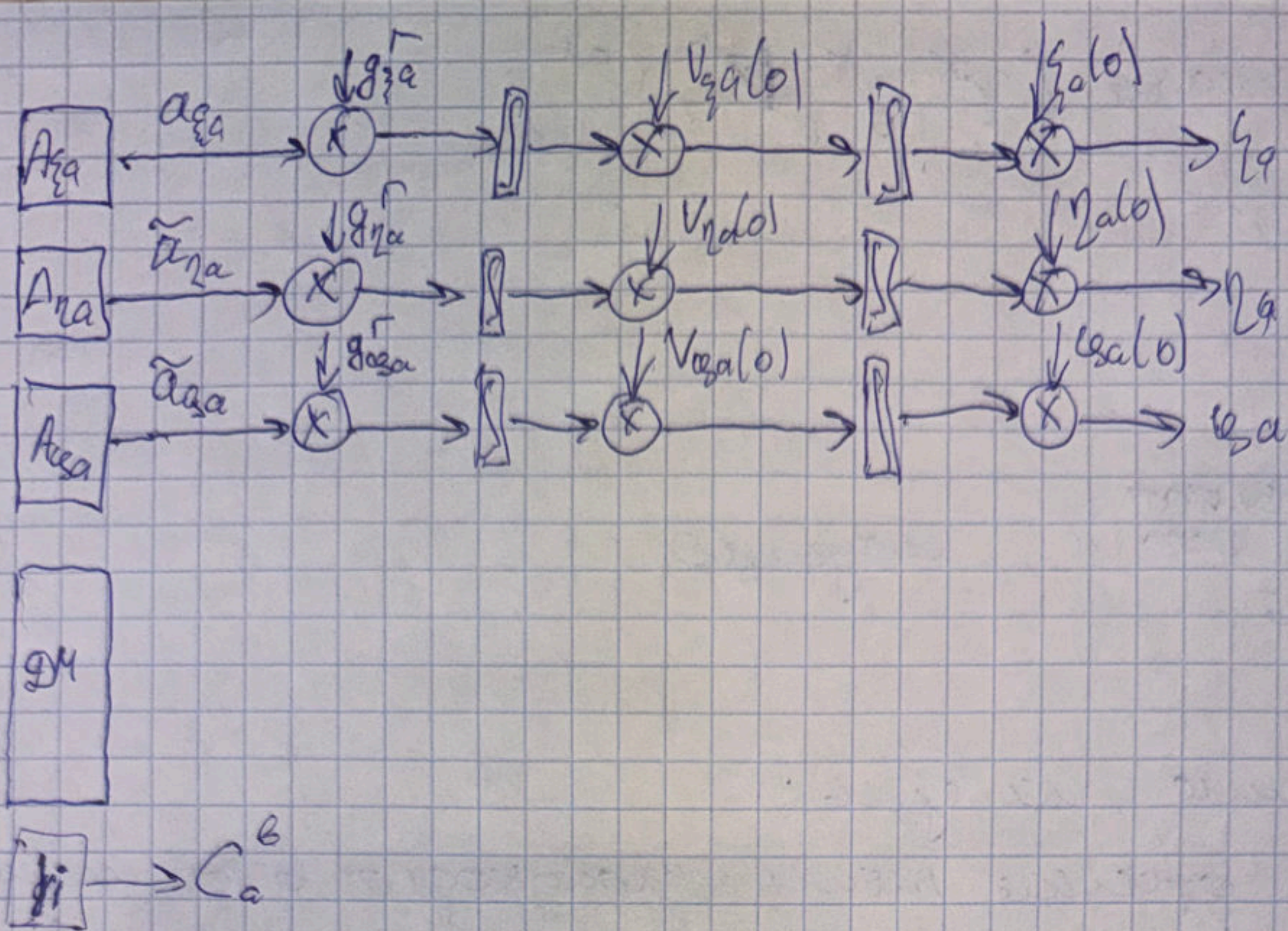
$$\varphi(x, y, v, z)$$

Вспомогательная построения алгоритмов:

1.



начало в т.к. старта. две оси лежат в
плоскости стрельбы и одна ось z -на
плоскости стрельбы и все оси будут //
через СК



Углы между вект. с. ЛА (строительные с.к) и между-с.к

Эквивалент и взаимная индукция между с.к.

$$\dot{V}_{za} = a_{za} + g_{za}^r$$

$$\dot{V}_{zb} = a_{zb} + g_{zb}^r$$

$$\dot{V}_{zc} = a_{zc} + g_{zc}^r$$

$$g_{za}^r = -g^r \frac{z_a}{r} + 3\mu g^r \frac{g_{ca}^r z_a}{r^3}$$

$$g_{zb}^r = -g^r \frac{z_b}{r} + 3\mu g^r \frac{z_a^2 z_b}{r^3}$$

$$g_{zc}^r = -g^r \frac{z_c}{r} - 3\mu g^r \frac{(z_a^2 + z_b^2) z_c}{r^3}$$

$$r = \sqrt{\xi_a^2 + \eta_a^2 + \zeta_a^2}; \quad g^{\Gamma'} = \frac{g_{\partial 0}^{\Gamma} a^2}{r^2} \left(1 - \beta' \frac{\zeta_a^2}{r^2} \right)$$

Вопрос определения углов:

иная углы между

линейными элементами определить углы ориентации.

Транс матрицу касательных:

Кривая 3 точек касательных и векторов
вокруг

$$X_0 Y_0 Z_0 \xrightarrow[\psi]{Z_0 Z_1} X_1 Y_1 Z_1 \xrightarrow[\vartheta]{X_1 X_2} X_2 Y_2 Z_2 \xrightarrow[\psi]{Y_2 Y} X_3 Y_3 Z_3$$

Элементы этой матрицы

$$C_{11} = \cos \psi \cos \vartheta + \sin \psi \sin \vartheta \sin \psi$$

$$C_{12} = -\cos \psi \sin \vartheta + \sin \psi \sin \vartheta \cos \psi$$

$$C_{13} = -\cos \vartheta \sin \psi$$

~~$$C_{21} = \cos \vartheta \sin \psi$$~~

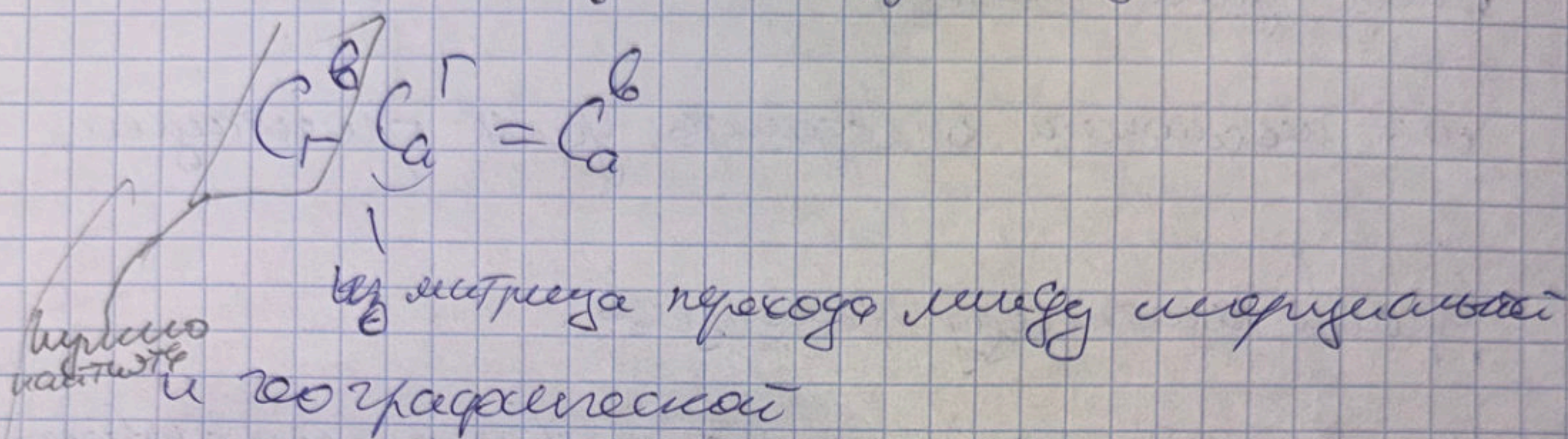
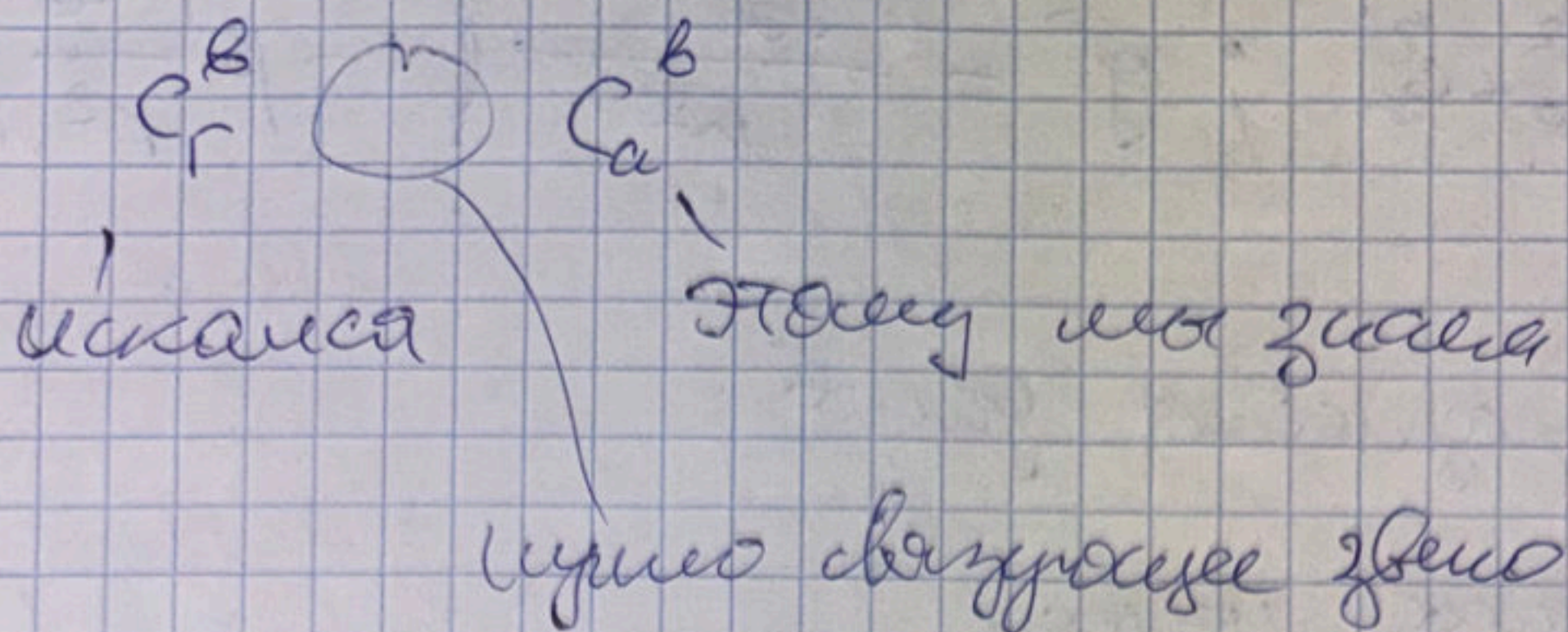
$$C_{22} = \cos \vartheta \cos \psi$$

$$C_{23} = \sin \vartheta$$

~~$$C_{31} = \sin \psi \cos \vartheta - \cos \psi \sin \vartheta \sin \psi$$~~

$$C_{32} = -\sin \psi \sin \vartheta - \cos \psi \sin \vartheta \cos \psi$$

$$C_{33} = \cos \psi \cos \vartheta$$



Лист 11.1. матрица C_a только её надо транспонировать

$$\xi_a = r' \cos \varphi \cos \alpha$$

$$\eta_a = r' \cos \varphi \sin \alpha$$

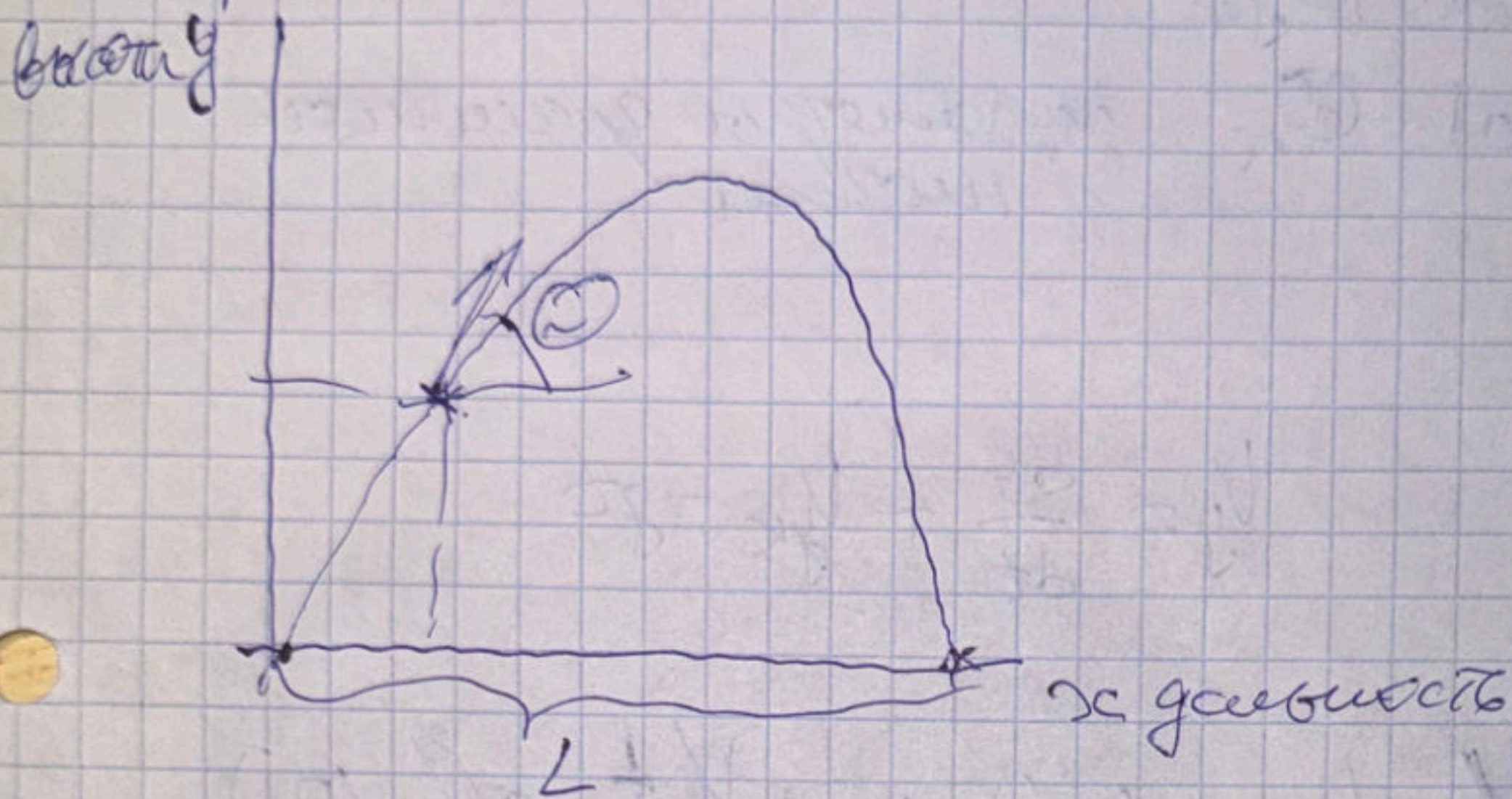
$$\zeta_a = r' \sin \varphi$$

$$r' = \sqrt{\xi_a^2 + \eta_a^2 + \zeta_a^2}$$

$$C_r^b C_a^b C_a^b T = C_a^b C_a^b T$$

ДЗ: опорная ширинуется СК
испол. Зеро СК

Управление дальностью баллистических ракет



Задача управления: обеспечить дальность ^{с мин. траекторией}
 в опред. момент времени ракета введется
 в т-ку пр-ва долина шесть ☺

наименее параболы график

$$\Delta L \rightarrow \min$$

Рассмотрим планку задану, где $Z_{зад}$ ^{назад}
 не вращая, ракет. поле $Z_{зад}$ — центрально
 поле

x_k, y_k, V_k, Θ_k — вращенной точка, где стояла
 там

x^*, y^*, V^*, Θ^* —

$$V_{y_k} = V \sin \Theta_k$$

$$V_{x_k} = V \cos \Theta_k$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = 0; \quad \frac{d^2y}{dt^2} = -g$$

Срещна в $t = \tau$ * - объект находится в $y = 0$

$$x_k(0) = x_k, \quad y_k(0) = y_k$$

$$v(0) = v_k, \quad \alpha(0) = \alpha_k \quad \text{параметры скорости}$$

и угла

Интервалы

$$v_x = \frac{dx}{dt} + v_{xk}$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} + v_{yk} - gt$$

$$x(t) = x_k + v_{xk}t \quad y(t) = y_k + v_{yk}t - \frac{gt^2}{2} \quad (2)$$

Когда $t = \tau, y(t) = 0 \rightarrow x(t) = L$

нужно найти время движения на наклонной плоскости

$$(2): gt^2 - 2v_{yk}t - 2y_k = 0$$

$$t_{1,2} = \frac{v_{yk} \pm \sqrt{v_{yk}^2 + 2gy_k}}{g}$$

$$t = \frac{v_{yk} + \sqrt{v_{yk}^2 + 2gy_k}}{g}$$

$$L = x_k + \frac{v_{xk}}{g} (v_{yk} + \sqrt{v_{yk}^2 + 2gy_k})$$

$$L = x(\tau) = x_k + \frac{v_k^2 \sin 2\alpha_k}{2g} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2gy_k}{v_k^2 \sin^2 \alpha_k}} \right)$$

Изменился бюджет оптимально на погрешности

$$\Delta X_k = X_k - X_k^*$$

$$\Delta y_k = y_k - y_k^* \dots$$

$$L = L \left(\underbrace{X_k^* + \Delta X_k}_{\text{погрешность}}, \underbrace{y_k^* + \Delta y_k}_{\text{погрешность}}, \underbrace{V_k^* + \Delta V_k}_{\text{погрешность}}, \underbrace{\Theta_k^* + \Delta \Theta_k}_{\text{погрешность}} \right)$$

ошибки

Необходимо, чтобы ошибки свести к нулю.

Разложим правую часть выражения в ряд Тейлора для функции многих переменных

Формула разложения функции.

$$L = L^* (X_k^*, y_k^*, V_k^*, \Theta_k^*) + \frac{\partial L}{\partial X_k} \Delta X_k + \frac{\partial L}{\partial y_k} \Delta y_k + \frac{\partial L}{\partial V_k} \Delta V_k + \frac{\partial L}{\partial \Theta_k} \Delta \Theta_k$$

Ф-я гомогенность состоит из 2 частей:

разветвля

+ некоторая ф-я зависящая от ошибок

т.е. ошибка определяется гомогенностью

$$\Delta L = \frac{\partial L}{\partial X_k} \Delta X_k + \frac{\partial L}{\partial y_k} \Delta y_k + \frac{\partial L}{\partial V_k} \Delta V_k + \frac{\partial L}{\partial \Theta_k} \Delta \Theta_k \quad \text{13.4}$$

$$K_V = \frac{2V_k \sin 2\theta_k}{g} - \frac{2y_k \operatorname{ctg} \theta_k}{V_k}$$

$$K_\theta = \frac{2V_k^2 \cos 2\theta_k}{g} - 2y_k \operatorname{ctg}^2 \theta_k$$

$\theta_k = 45^\circ$ наибольшая дальность

$$K_V = \frac{2V_k}{g} - \frac{2y_k}{V_k} \text{ — берет наибольшим вылет}$$

$$K_\theta = -2y_k$$

Возьмем скорость 1000 км/ч , $\theta_k = 45^\circ$

$$\Delta Q_k = 1, \Delta V_k = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}, y = 7 \text{ км}$$

$$K_V = \frac{2 \cdot 1}{10} - \frac{2 \cdot 7}{1}$$

$$K_\theta = -2 \cdot 7 = -14$$

$$\Delta L = L - L^*$$

$\Delta L = \varphi - \varphi^*$, φ — действительная дальность
или выражающаяся функцией

$$\Delta L = \varphi - \varphi^* = K_x \cdot X_k + K_y y_k + K_V V_k + K_\theta \theta_k - (K_x X_k^* + K_y y_k^* + K_V V_k^* + K_\theta \theta_k^*)$$

Максимум, когда $\Delta L \rightarrow 0$

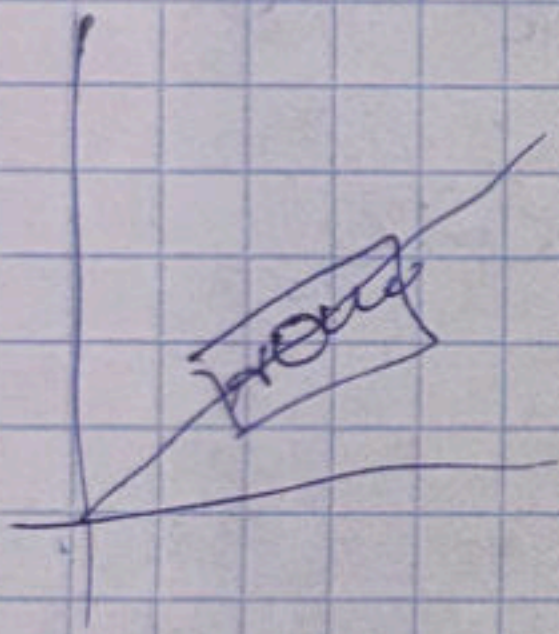
Задачи через системы:
 определение коор-т, скорости

и

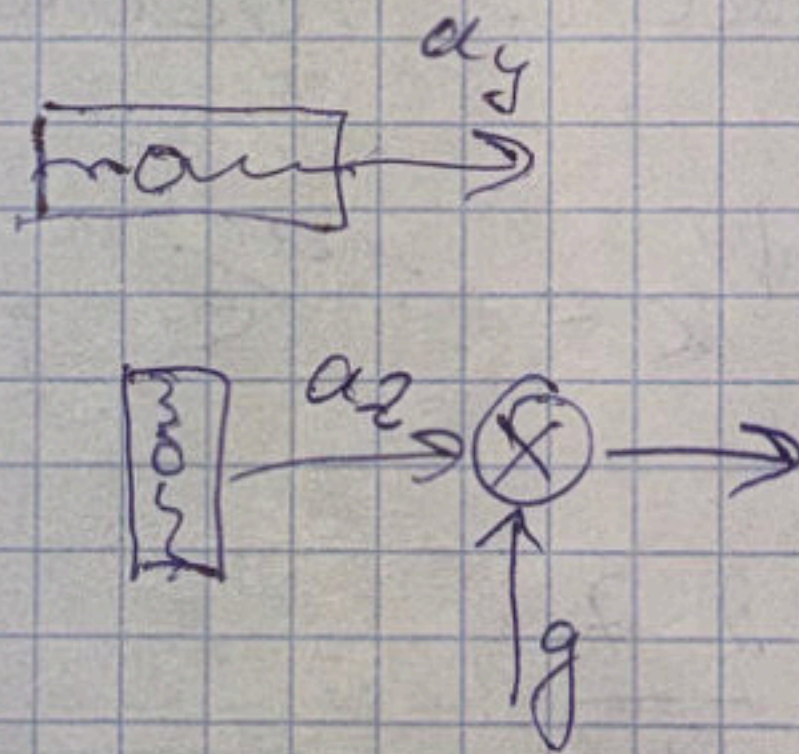
Варианты построения автоката
 управления гальваносты.

Типовые схемы автоката управление
 гальваносты α .

С фьюла вращено ортогональными
 акселерометрами



Один
 акселерометр
 по углам



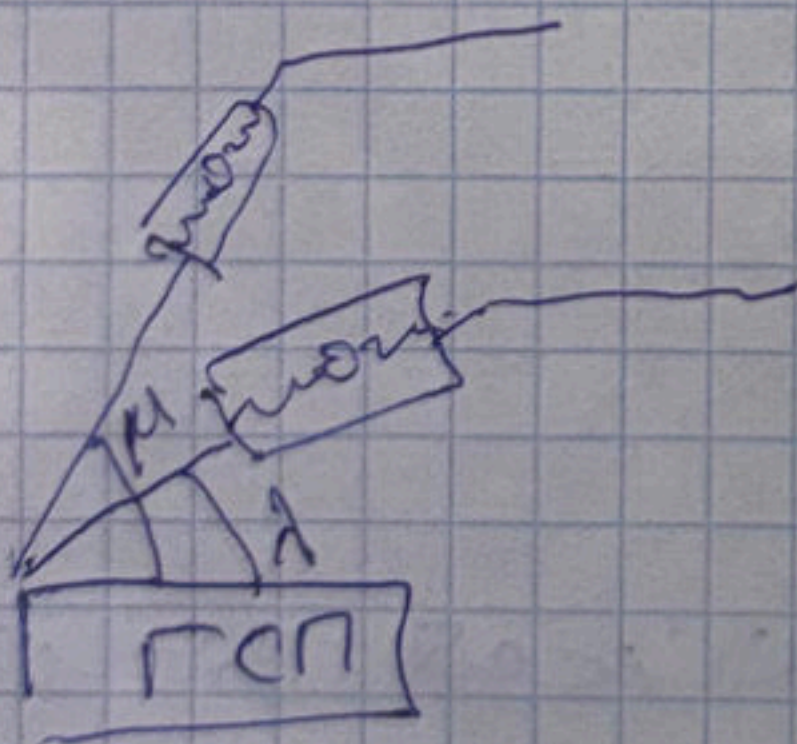
$$K_x =$$

$$K_y =$$

$$K_v$$

$$K_\theta$$

$\Delta \varphi$



два аксел-ра
 по разным углам

дир
 более простое
 устройство

Вставка штурманских навигационных систем

Работа ИКС начинается с подготовки:

1. Вставка

Потому в аэрополе положение ИКС ~~на~~

Приведение осей $Y_{ф-т}$ и $Y_{ф-в}$ и $X_{ф-т}$, т.е. осей $X_{ф-т}$ и $X_{ф-в}$ к базовой СК, - $X_{ф-в}$ - осью вставки

Вставка - это $Y_{ф-т}$ и $Y_{ф-в}$ и $X_{ф-т}$ ориентации ^(связи с СК) $Y_{ф-т}$ и $Y_{ф-в}$ относительно СК, $Y_{ф-т}$ и $Y_{ф-в}$ от $X_{ф-т}$ базовой СК (так называемая аналитическая вставка (или определяется матрица поворота осей))

или физическое совмещение осей систем $Y_{ф-т}$ и $Y_{ф-в}$ так называемая геометрическая вставка

При вставке, как правило, в качестве базовой СК использует географическую СК.

Построенные системы $Y_{ф-т}$ и $Y_{ф-в}$ вставляются в $Y_{ф-т}$

Азимутальная линия есть как азимутальная, так и радиальная.

Для ориентированной выставки необходимо
 вектора нематериальных размеров ориен-
 тированной прерогы в осях декартовой СК, когда
 их ориентация в базовой СК нам известна.
 (выставка на плоскости невозможна, тк ось z и z' коллинеарны)
 По условию разделим выставку на
передвижную осью z' , выставку на
подвижной осью z (автоматич.), автономная
 выставка без внешних сил, только излучение
 ЧЭ на материале, неавтономная (связь-
 зуются внешние источники информации)

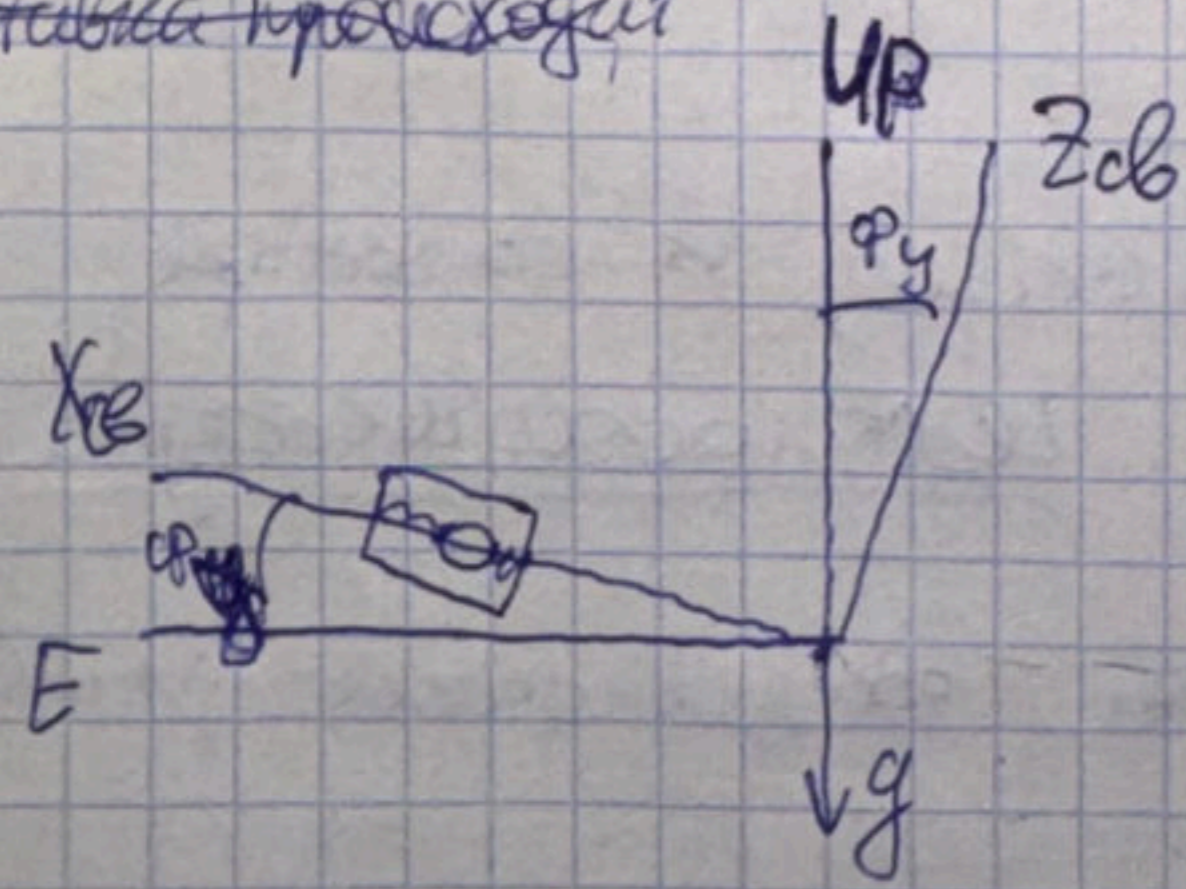
Будем рассматривать на перем. основе
 автономную.

Этапы выставки

1. горизонтальное
2. азимутальное ориентирование

Выставка в горизонте

Выставка происходит



оси. z и z' перпенд.
 $a = W - g$

$$\vec{a}_x = g \sin \varphi_y + \delta a_x = g \varphi_y + \delta a_x$$

эквивалентность
 δa_x и δa_y

14.2

Выставка происходит
 будет выставка блока φ_y и стает z и z'

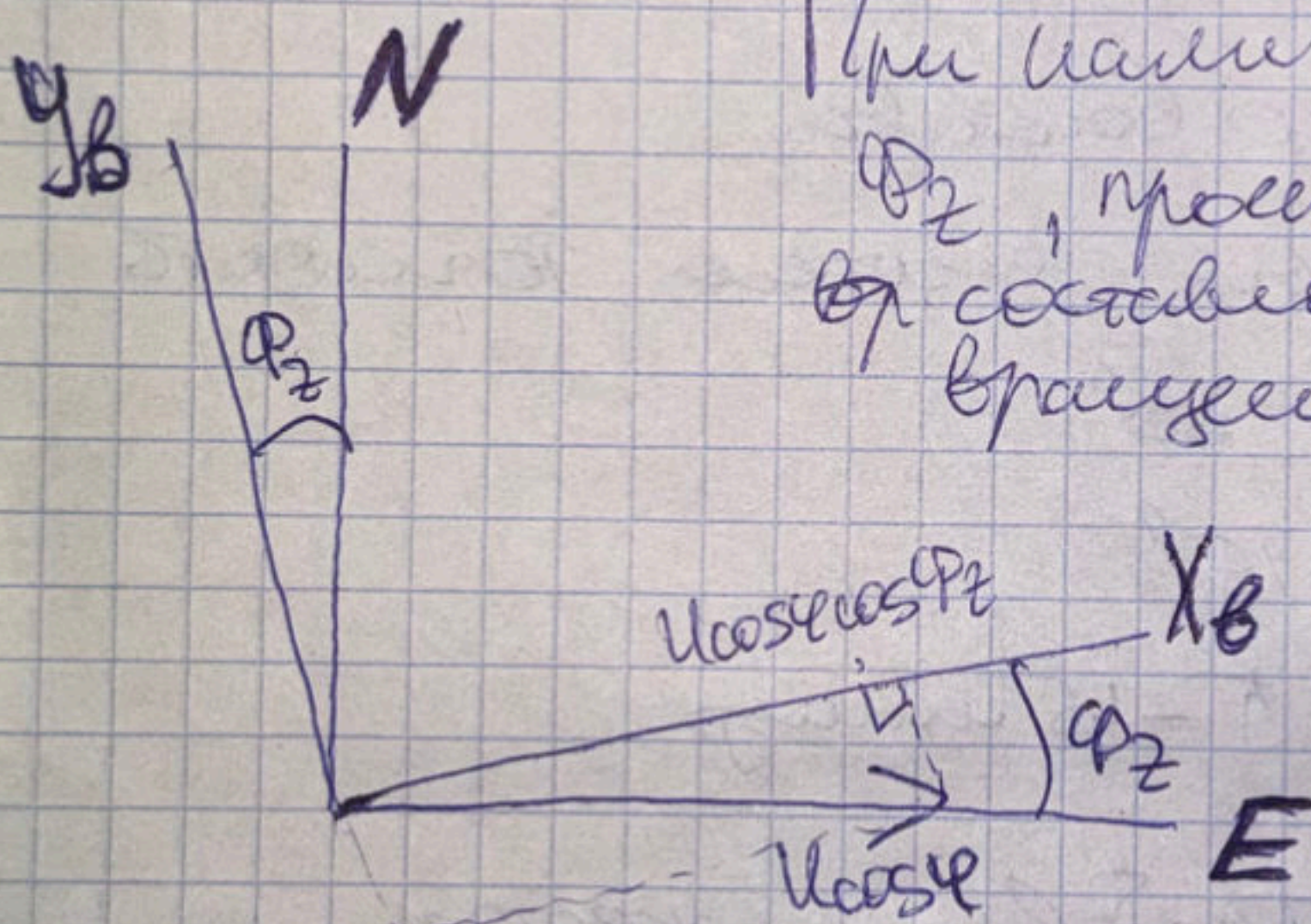
В корпусе выставленного по осмью акселерометра

$$\varphi_y = -\frac{\Delta a_x}{g} = -\varepsilon_x - \text{безразмерное значение}$$

изменения нуля акселерометра.

Превращая формулу = безразмерному значению
изменения нуля

Выставка в азимут



При наклоне угла поворота φ_z , проекция ~~акселерометра~~ в составившейся системе координат земли проекция поворачивается на φ_z оси

$$\begin{aligned} \omega_{XB} &= u \cos \varepsilon \sin \varphi_z + \delta \omega_x \\ \omega_{YB} &= u \cos \varepsilon \cos \varphi_z + \delta \omega_y \end{aligned} \Rightarrow \varphi_z = \arctg \frac{\omega_{XB}}{\omega_{YB}} \text{ а}$$

ошибка нуль-сигнала
формула по углу

Методы определения неидеальности в-р
способы выставки

1. Аналитическая выставка
аналитическое определение

взаимной ориентации базовой и базисной СК.

2. Геомет. база -

физическое приведение осей зрительной трубы к осям базовой СК

Этапы выставки

1. Выставка в горизонт

2. Выставка в азимут

Требования по выставке

для самолетных систем точность выставки 20-30"

в азимут 5-15"

Время выставки 5-15 минут

для ракетных Требования жестче.

Выставка в
ГОРИЗОНТ

1. Угловой выставки

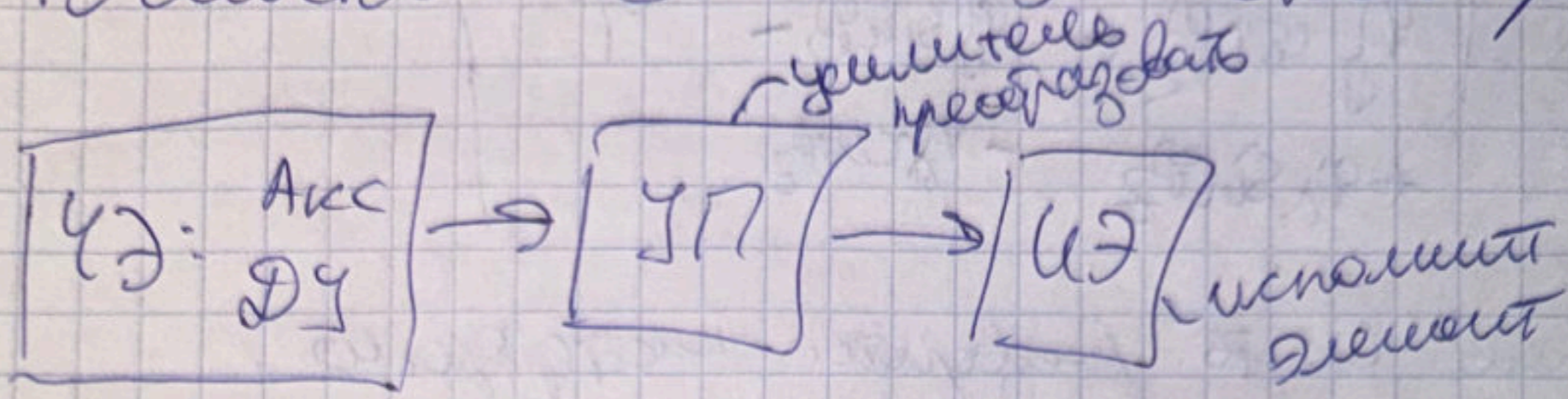
объемность данного этапа - не замуровать

шарниры, т.е. матрицы - обобщенное

твердое тело

М.Ч. (если превышена СК-то вышедшее из строя
то факт может быть не учтен)

П.е. шариком ^{УД} быстро без выключенных
 шпинделов приводит в положение с
 точностью 5° . У.Э - аксел-ры, ДУ



Время выставки 30 секунд, точность 5°

Дальше идет зенчук шпинделов, т.е.
 матрица яв-ся шток. телом.

2. Точная выставка в горизонт

Берется сигнал с аксел \rightarrow на ДМ \rightarrow на

Основное ур-ие выставки

Определим матрицу направ. косин. между
 базисом XYZ и связанном СК ($X_{cb} Y_{cb} Z_{cb}$)

XYZ - базис СК (геом.)

$X_{cb} Y_{cb} Z_{cb}$ - базис СК

углы расстановки между базисом и базисом
 $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$.

$$XYZ \xrightarrow[\varphi_z]{ZZ_1} X_1 Y_1 Z_1 \xrightarrow[\varphi_x]{X_1 X_2} X_2 Y_2 Z_2 \xrightarrow[\varphi_y]{Y_2 Y_3} X_3 Y_3 Z_3$$

φ_z - преобразование
 φ_x, φ_y - левет, после закрепления выставки

$$\cos \varphi_x, \varphi_y \approx 1, \sin \varphi_x, \varphi_y \approx \varphi_x, \varphi_y$$

$$C_{xyz} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_2 & \sin \varphi_2 & -\varphi_y \\ -\sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & \varphi_x \\ \varphi_y \cos \varphi_2 + \varphi_x \sin \varphi_2 & \varphi_y \sin \varphi_2 - \varphi_x \cos \varphi_2 & 1 \end{pmatrix}$$

адм. уроб к-то параболота метрфорумо

$$\omega^{ад} = \omega^{нр} + \omega^{отн} = \omega + \dot{\varphi}_x + \dot{\varphi}_y + \dot{\varphi}_z$$

$$\omega^{ад} = C \begin{pmatrix} 0 \\ \omega \cos \varphi \\ \omega \sin \varphi \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \dot{\varphi}_x \\ \dot{\varphi}_y \\ \dot{\varphi}_z \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} \dot{\varphi}_x + \omega \cos \varphi \sin \varphi_2 - \omega \sin \varphi \varphi_y = \omega_{xb}^{ад} & (1) \\ \dot{\varphi}_y + \omega \cos \varphi \cos \varphi_2 + \omega \sin \varphi \varphi_x = \omega_{yb}^{ад} & (2) \\ \dot{\varphi}_z + \omega \cos \varphi \sin \varphi_2 - \omega \cos \varphi \cos \varphi_2 + \omega \sin \varphi = \omega_{zb}^{ад} & (3) \end{cases}$$

Дифференциальные уравнения вставляются.

$$\omega_b^{ад} = \omega_{нр} + \omega_{отн}$$

$\omega_{нр} = \frac{M_{нр}}{H}$

$$a_{x,y,z}^{нр} = a_{x,y,z} + \delta a_{x,y,z}$$

$$\begin{pmatrix} a_{xb} \\ a_{yb} \\ a_{zb} \end{pmatrix} = C \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{pmatrix}$$

- на невог. осях акс-принцип торого

$$\tilde{a}_{x\beta} = -\varphi_y g + \delta a_x^{\partial} = -g(\varphi_y - \varepsilon_x)$$

$$\tilde{a}_{y\beta} = \varphi_x g + \delta a_y^{\partial} = g(\varphi_x + \varepsilon_y)$$

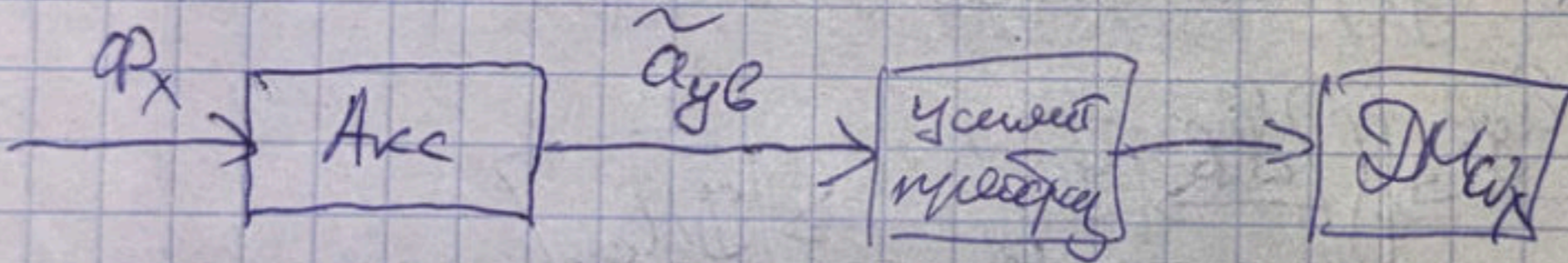
высравки

безразмерные величины
и при измерениях

При вставке в кор-т углы интереса
такие (1) и (2) упр-ие.

Рассмотрим кинематическое взаимодействие системы
1 Резонансное уравнение (при вставке)

расчет. один конец (второй такой же)



φ_x - смещение

коэф. передачи

$$c_{x\beta}^{ynp} = -K_r \tilde{a}_{y\beta} = -K_r g(\varphi_x + \varepsilon_y) = -K_r(\varphi_x + \varepsilon_y)$$

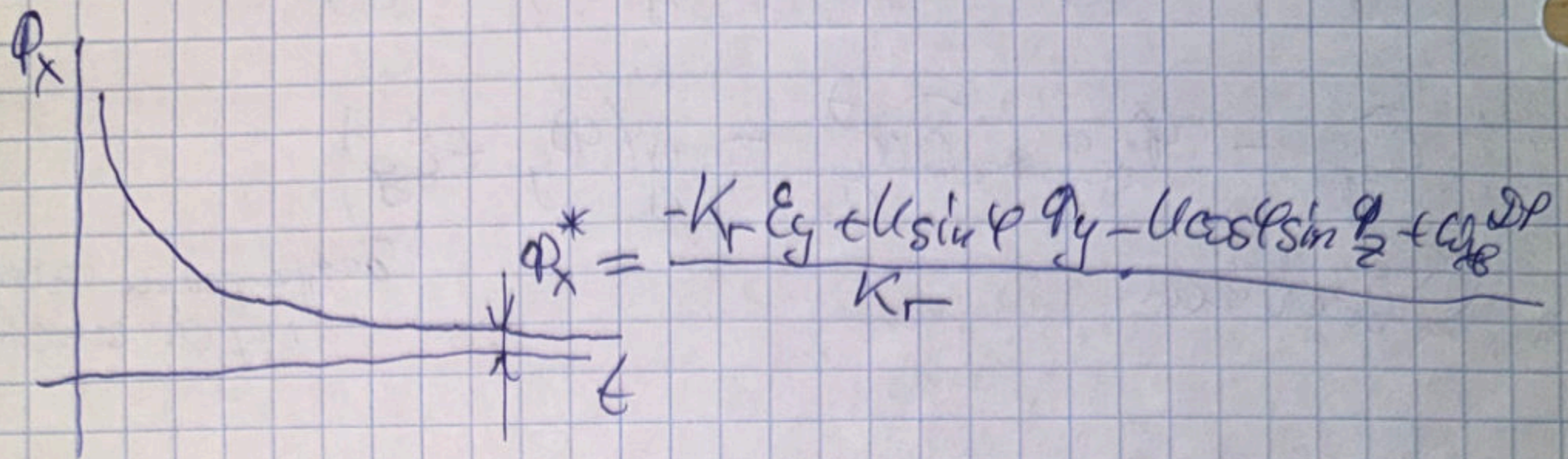
подставим в (1)

$$c_{x\beta}^{\partial} = c_{x\beta}^{ynp} + c_{x\beta}^{DMP}$$

$$\dot{\varphi}_x + u \cos \varphi \sin \varphi_2 - u \sin \varphi \varphi_y = -K_r \varphi_x - K_r \varepsilon_y + c_{x\beta}^{\partial}$$

$$\dot{\varphi}_x + K_r \varphi_x = -K_r \varepsilon_y + u \sin \varphi \varphi_y - u \cos \varphi \sin \varphi_2 + c_{x\beta}^{\partial}$$

Анелингармонический переходный процесс

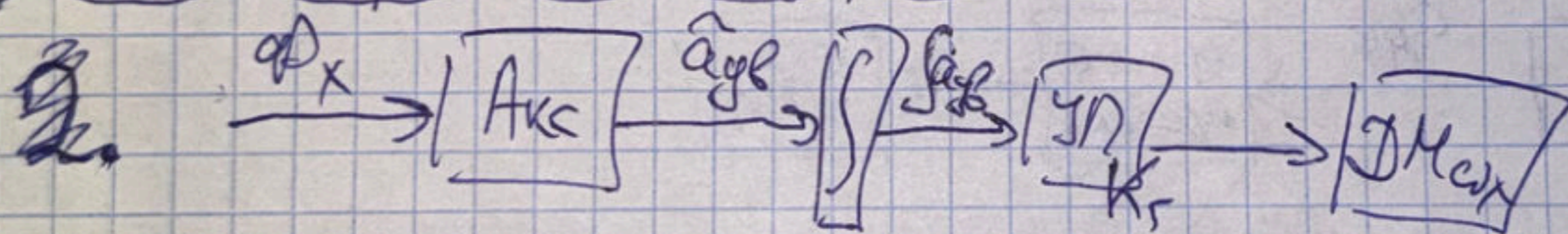


Омедляющая вставка в термостат имеет инерционность не только ε_y (интегрирующая связь), но и графопроектную инерционность ω_{xb}^{DP} .

$\frac{\omega_{xb}^{DP}}{K_r}$; $\frac{U \sin \varphi \varphi_y}{K_r}$; $\frac{U \cos \varphi \sin \varphi_2}{K_r}$ — дробит и целой

Поэтому возмущением вставки ω_{xb}^{DP} можно пренебречь в расчётах.

2. Итерационное управление (упреждение)



$$\omega_{xb}^{уп} = -K_r \int \hat{\alpha}_{ye} dt = -K_r \int (\varphi_x + \varepsilon_y) dt = -K_r \int (\varphi_x + \varepsilon_y) dt$$

Переходим к (1)

$$\dot{\varphi}_x + K_r \int \varphi_x dt = -K_r \int \varepsilon_y dt - U \cos \varphi \sin \varphi_2 + U \sin \varphi \varphi_y + \omega_{xb}^{DP}$$

— итерационно-упреждающее уравнение

Будем считать, что при установившемся режиме графопроектная инерционность и акселерация не зависят от времени:

$$\omega_{xb}^{DP} = const, \quad \varepsilon_y = const$$

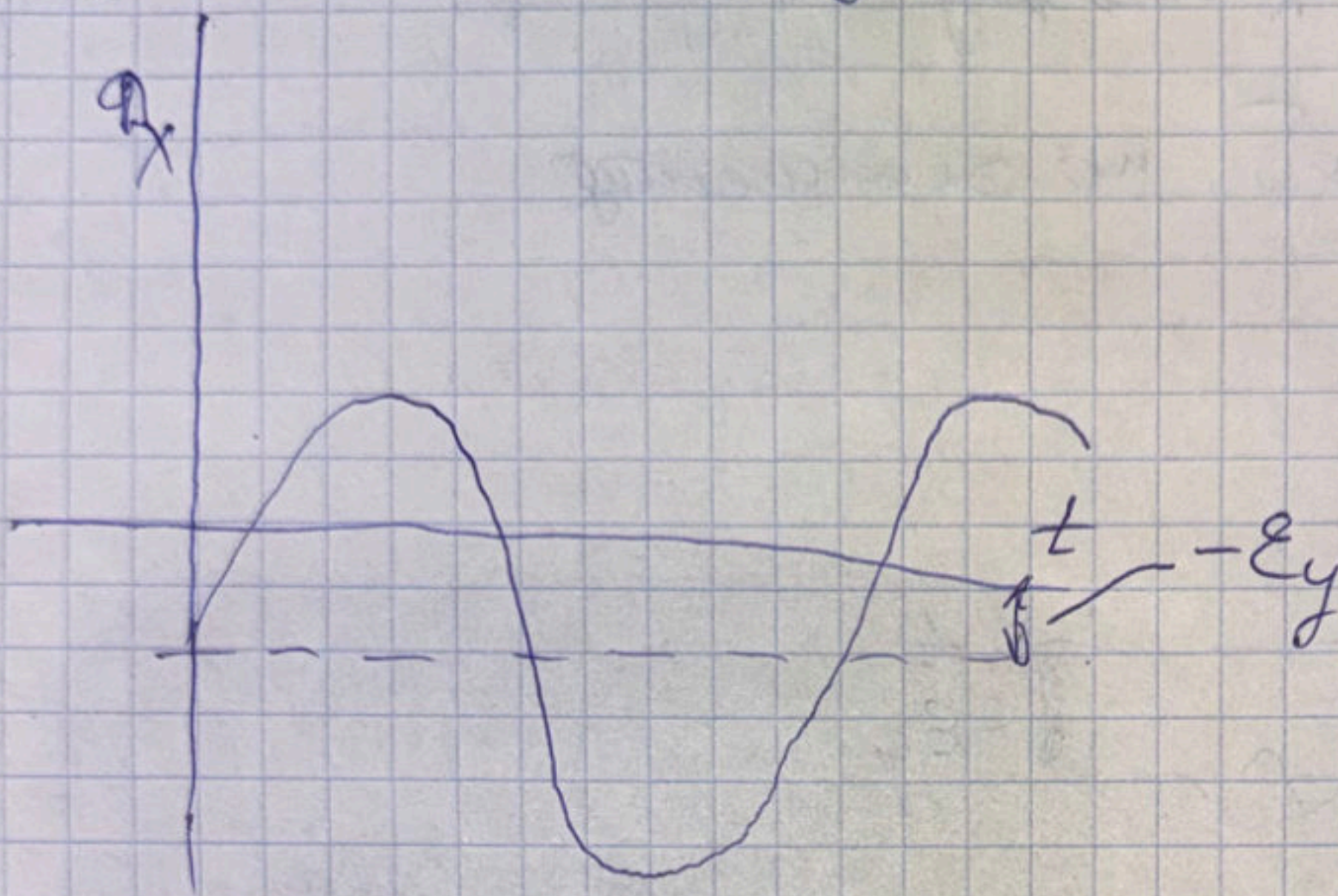
$$\ddot{\varphi}_x + K_r \varphi_x = -K_r \varepsilon_y - U \cos \varphi \sin \varphi_2 + U \sin \varphi \varphi_y + \omega_{xb}^{DP}$$

15.1
14.8

нахождение равновесия на заданных координатах

$U \cos \psi \sin \varphi_z$, $U \sin \psi \varphi_y$ - максимальные посто-
янные посто-
янно u_x и u_y в D

Вывод $\ddot{\varphi}_x = 0$: $\varphi_x^* = -\varepsilon_y$

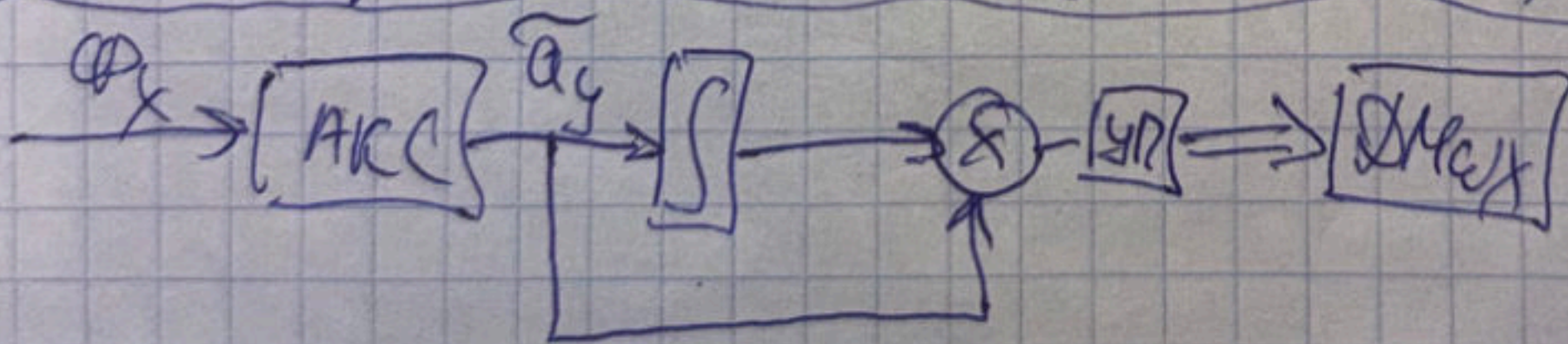


⊖ Платформа будет ^{динамически} двигаться в процессе вращения
около положения равновесия

⊕ Ошибка только из-за смещения из-за
акселерометра

ε_y - безразмерное эквивал. смещение из-за
акселерометра.

3. Интервалы - позырование уравнения (точка
выставки)



$$\omega_{xb}^{ump} = -K_r \tilde{a}_{yb} - K_r \int \tilde{a}_{yb} dt =$$

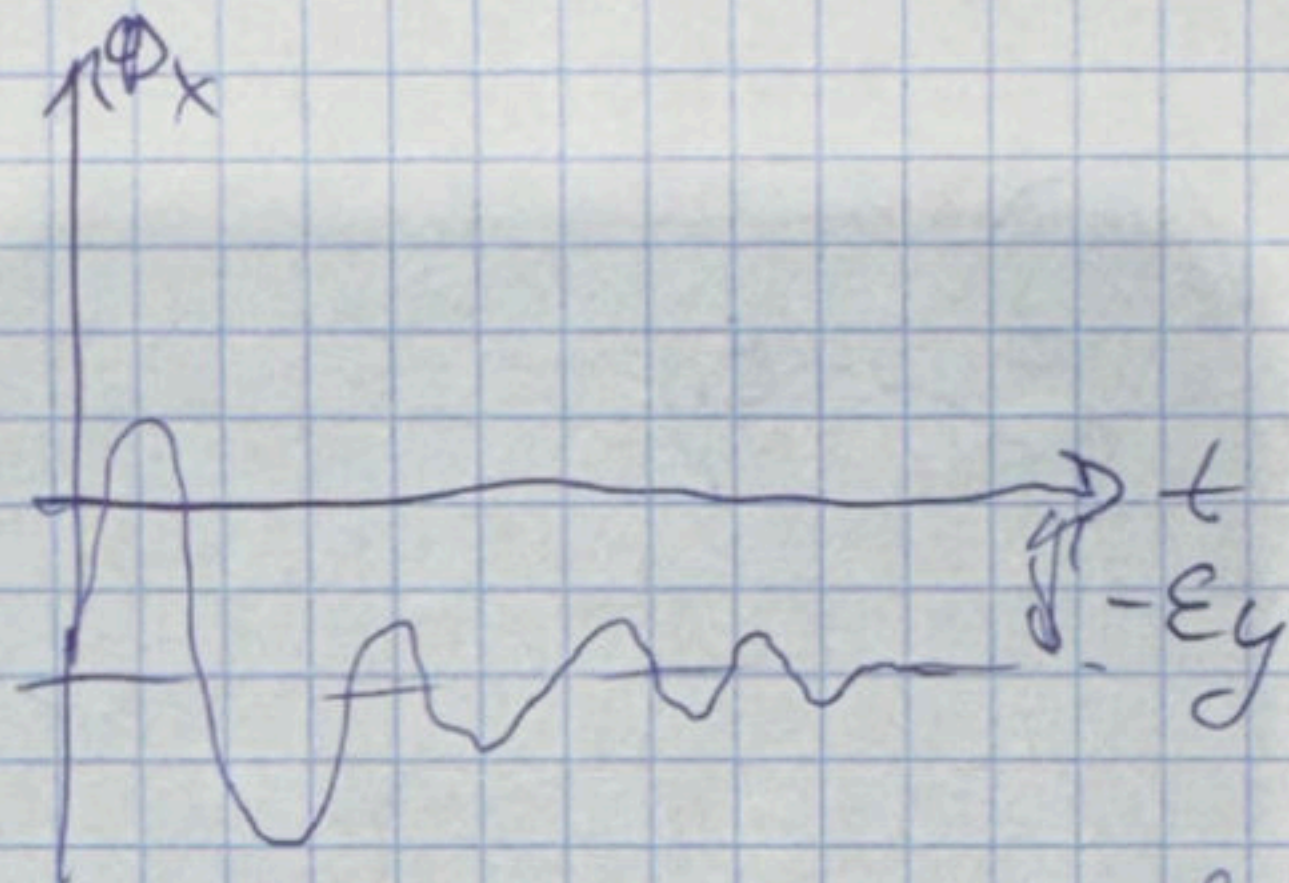
погружения в (X)

$$\dot{\varphi}_x + K_r \varphi_x + K_r \int \varphi_x dt = -K_r \varepsilon_y - K_r \int \varepsilon_y dt - U \cos \psi \sin \varphi_z + U \sin \psi \varphi_y + \omega_{xb}^{DP}$$

Принимая во внимание за пост. величина (аналогично как в 2)

$$\ddot{\varphi}_x + K_T \dot{\varphi}_x + K_T \varphi_x = \cancel{\ddot{\varphi}_y} - K_T \varepsilon_y$$

Затухающий колеб по эквиваленту



$$\varphi_x^* = -\varepsilon_y$$

среднее значение сигнала

Стоит зреть и качества и су

необходимо обеспечить Устойчивость управ.,

и лучше оставить полезное управление в качестве резерва.

таблица
 МУТ

на выставке в горизонтальной выставке.

$\varphi_2 = \text{произвольный}$

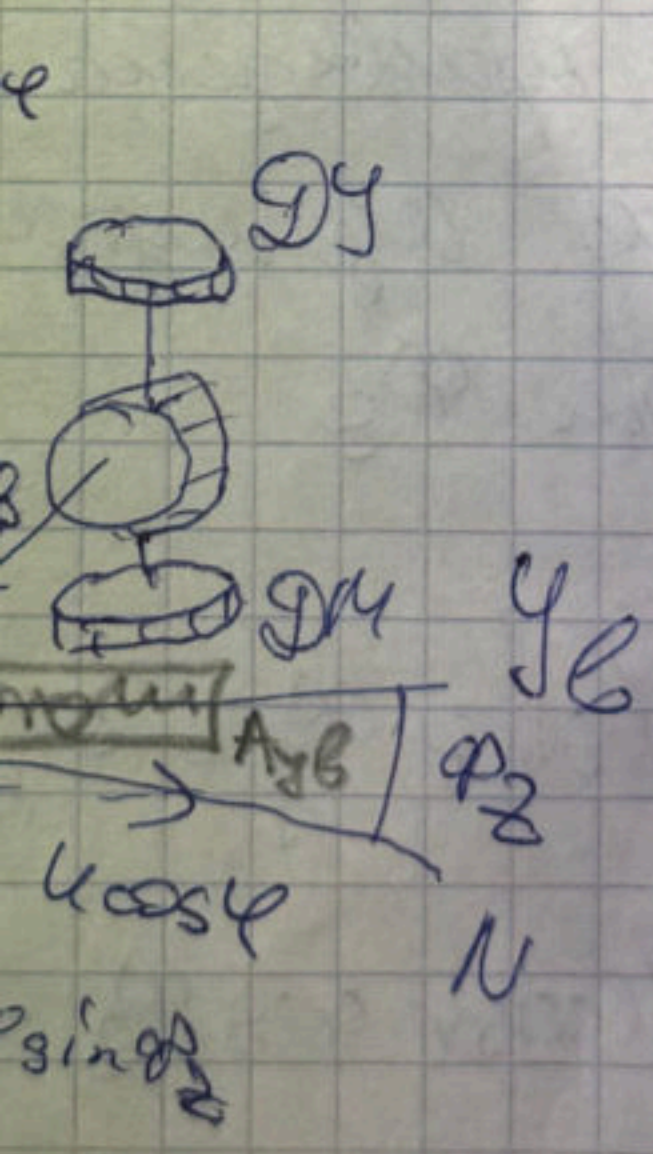
вектор u_{p-1}

$$\varphi_2 - U \sin \varphi \varphi_y^0 = \omega_{xв}^{адс}$$

$$\varphi_2 + U \sin \varphi \varphi_x^0 = \omega_{yв}^{адс}$$

$$\sin \varphi_2 - U \cos \varphi \cos \varphi_2 + U \sin \varphi = \omega_{zв}^{адс}$$

(U_p)



$$U = \begin{pmatrix} 0 \\ U \cos \varphi \\ U \sin \varphi \end{pmatrix}$$

$X_0 Y_0 Z_0$ - декартова СК

широкая

a) анализ. Выставка

$$M^{DM} + M^{\Gamma} + M^{BK} = 0$$

$$K_{DM} i_{DM} = H U \cos \varphi \sin \varphi_2 + M^{BK} = 0$$

$$i_{DM} = \frac{H U \cos \varphi \sin \varphi_2}{K_{DM}} - \frac{M^{BK}}{K_{DM}}$$

Ток i_{DM} содержит информацию об φ_2

$$\varphi_2 = \arcsin \dots$$

нужно ли?

Как еще можно еще упростить

Комментарий: (1)

Пусть материал привнесен в м-то зр-ти
и занимает некоторый угловой параметр
характериз-е углом φ_2

$$\dot{\varphi}_x + U \cos \varphi \sin \varphi_2 - U \sin \varphi \varphi_y = \omega_{XB}^{ad}$$

$$\dot{\varphi}_z + U \cos \varphi \sin \varphi_2 - U \cos \varphi \cos \varphi_2 + U \sin \varphi = \omega_{zB}^{ad}$$

В этом случае на ось Γ -на будет
проект-ся зр. составляющая системы
вращения Земли ($U \cos \varphi \sin \varphi_2$)

В рез-те по оси Z -на будет

15.5. возникать зр. моменты.

ног действием котр. вектор и дугет

стрелится с вектором перенос. унов.
^{подврата}
 и-ти ^{подврата} оловаша.

При этом на ДУ наиб-ая сила, кот
 поле унаеиша и пред-са постунает
 на ДМ r-nc, полагает дугет прики-тв
 может равной по величине и удовлетво-
 раеишеи по о онов. Упр. лодилету

В уст. реление дугет илеть

$$M^T + M^{DM} + M^{BH} = 0$$

Изяоря ток (надеие иапримеиша / на РЭТ
 можем определить величину азимутального
 угла с точностью до величине поурешити
 самого ирэдлеса $\varphi_2 = -\arcsin \left(\frac{U_{DM} \cdot i_{DM}}{k \cos \varphi_2} + \frac{\delta \omega_x}{\omega_0} \right)$

б) Второй вариант (крандана крмашеи)

по силеи авершо сиселрэдлеса

силеи ^{авершо акселераша}
 $c \sqrt{A_{y6}} \rightarrow DM \omega_x$

Раз ето уна φ_2 и ето $U \cos \varphi \sin \varphi_2$ каеи χ_{ob} r-nc

мо. дугет казеть, что мо-тв ирэдлеса иаишеи угодеть
 (еоб χ_{ob} -тв акселераша поишеиша, оураеиша каеи мо-тв r-nc)

Т.е. на авершан аксел. поаиша силеи $n \varphi_2 \rightarrow$ на $DM \omega_x$, то к дугет

иоопаишеиша пох вместе с шаториешо.
 иишеиша оловешо ун-се

$$(4) \dot{\varphi}_x + U \cos \varphi \sin \varphi_2 = a_x^{упр} + a_x^{до}$$

$-U \sin \varphi \dot{\varphi}_y$ - иаишеиша
 ие унаеиша

Розмысленное управление

$$\dot{\varphi}_x + U \cos \varphi \sin \varphi_2 = -k_1 (\varphi_x + \varepsilon_y) + \omega_x^{\text{DP}}$$

$$\dot{\varphi}_x + k_1 \varphi_x = -U \cos \varphi \sin \varphi_2 - k_1 \varepsilon_y + \omega_x^{\text{DP}}$$

перенесем $\omega_x^{\text{гир}}$ и поставим в (4)

$$\omega_x^{\text{гир}} = -k_1 (\varphi_x + \varepsilon_y) = \frac{k_1 \rho \sin \varphi}{H} \cdot L \dot{\varphi}_M$$

$$\dot{\varphi}_x = -U \cos \varphi \sin \varphi_2 + \frac{k_1 \rho \sin \varphi}{H} + \omega_x^{\text{DP}}$$

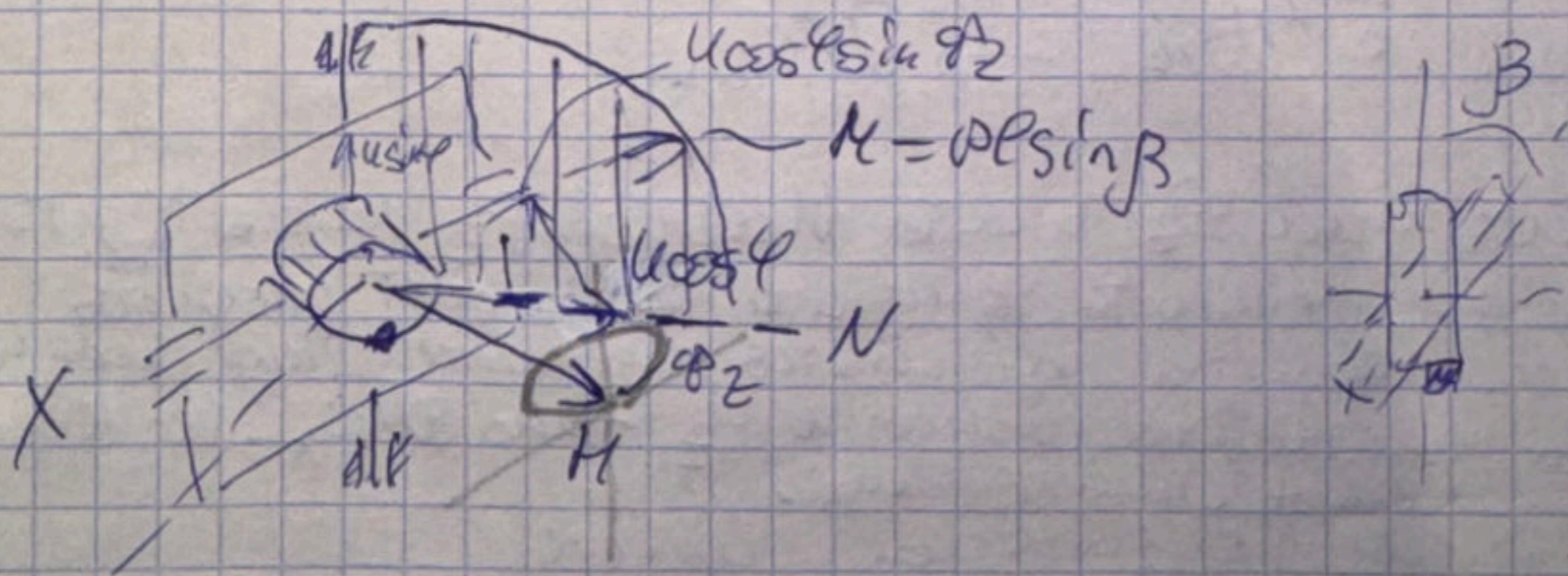
В уст. режиме

$$\dot{\varphi}_x \rightarrow 0; \quad \varphi_2 = \arcsin \left(\frac{k_1 \rho \sin \varphi}{H U \cos \varphi} + \frac{\omega_x^{\text{DP}}}{U \cos \varphi} \right)$$

При азимуте вставки синуса с $\omega_x^{\text{гир}}$ синус-фр

$\sim \varphi_2$

б) Геометрическая вставка в азимут (одномерное управление) (см. н-лы вставки-ем по своим теоретик)



Здесь несут роль только координаты равновесия,

из-за угла β , т.е.

широко матрицу вы-ть мест-го

Рассмотрим движение маятника
под действием этих уравнений моментов

$$\omega_x^{ymp} = -k_1 (\varphi_x + \varepsilon_y)$$

$$\omega_z^{ymp} = k_3 (\varphi_x + \varepsilon_y) + u \sin \varphi$$

В основ-ых урав-иях будем считать, что
угол φ_z мал \Rightarrow $\cos \varphi_z \approx 1$, т.е. $u \cos \varphi \sin \varphi_z \approx u \cos \varphi$
 $= u \cos \varphi \varphi_z$

$$u - u \cos \varphi \cos \varphi_z \approx 0$$

$-u \sin \varphi \varphi_y$ пренебрежимо
 $u \cos \varphi \sin \varphi_z - u \cos \varphi \cos \varphi_z -$
 $-$ тоже пренебрежимо

Получим:

$$\dot{\varphi}_x = -u \cos \varphi \varphi_z + \omega_x^{Dp}$$

$$\dot{\varphi}_z + u \sin \varphi = \omega_z^{Dp}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\varphi}_x + u \cos \varphi \varphi_z = -k_1 (\varphi_x + \varepsilon_y) + \omega_x^{Dp} \quad (1) \\ \dot{\varphi}_z + u \sin \varphi = k_3 (\varphi_x + \varepsilon_y) + \omega_z^{Dp} \quad (2) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\varphi}_x + u \cos \varphi \varphi_z = -k_1 (\varphi_x + \varepsilon_y) + \omega_x^{Dp} \quad (1) \\ \dot{\varphi}_z + u \sin \varphi = k_3 (\varphi_x + \varepsilon_y) + \omega_z^{Dp} \quad (2) \end{array} \right.$$

ведущим Dy I -ого уравнения ε разделим на Dy

из (2) находим φ_x :

$$\varphi_x = \frac{\dot{\varphi}_z}{k_3} - \varepsilon_y - \frac{\omega_z^{Dp}}{k_3}$$

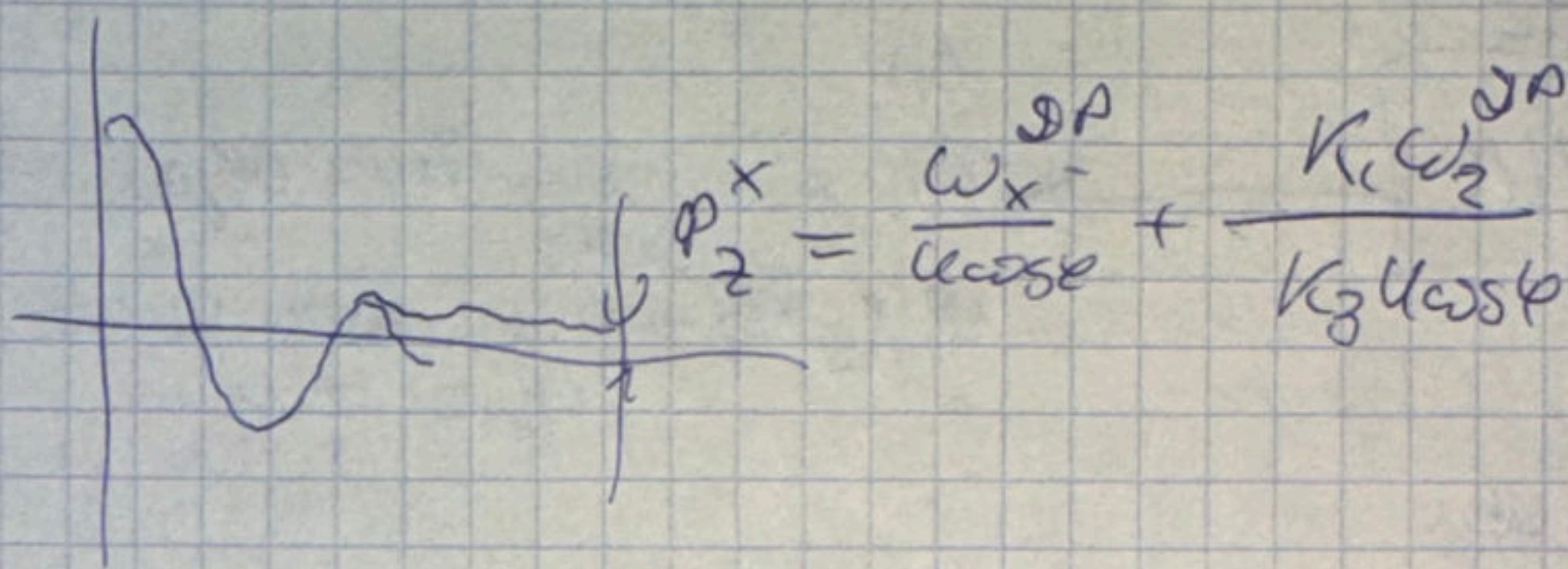
и усредняем: $\varepsilon_y = \text{const}$, $\omega_z^{Dp} = \text{const}$

$$\dot{\varphi}_x = \frac{\dot{\varphi}_z}{k_3}$$

подставляем в (1): (1)

$$\ddot{\varphi}_z = k_1 \dot{\varphi}_z + k_2 u \cos \varphi \varphi_z = k_3 \omega_x^{\text{DP}} + k_4 \omega_z^{\text{DP}}$$

- затык канал



ошибка только от двух каналов



30.04.25

Ошибки двухканальной ИИС

1. Ошибки ориентирования и т.д.

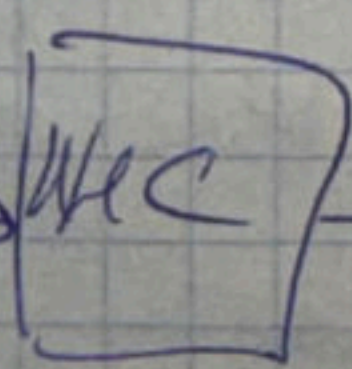
(4)

ошибки вертикального канала

что представляет собой ориентирование

Вход

$\delta \alpha_{xy}$
 $\delta \omega_{xy}$
 $\delta \omega_{FO}$



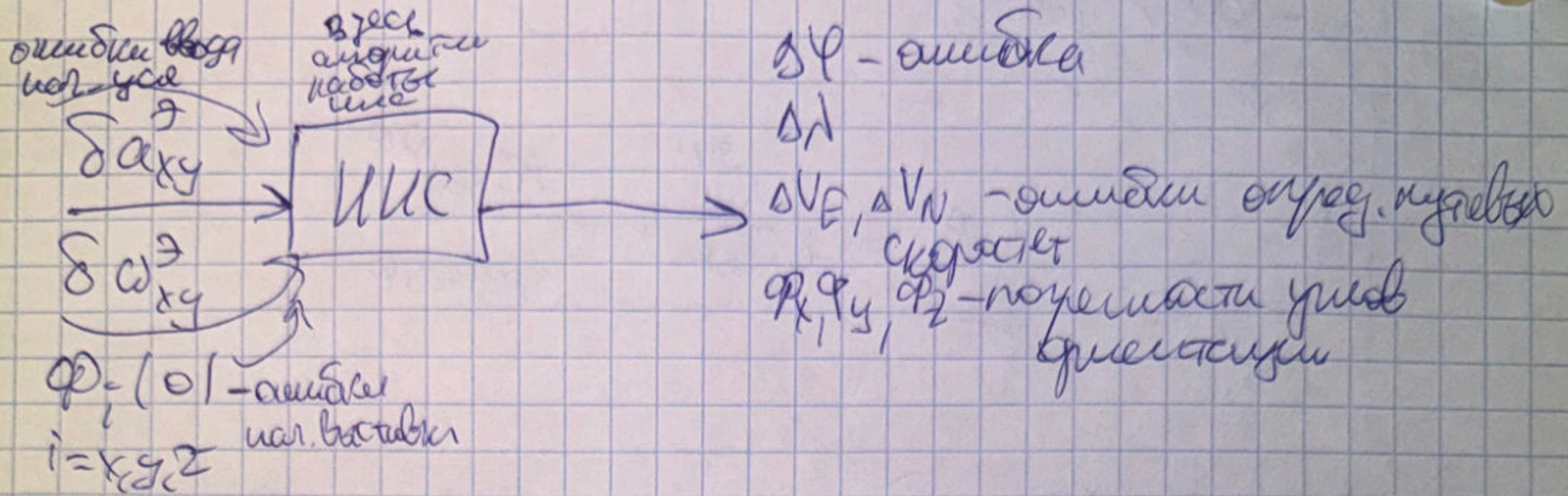
Выход

ошибка
по широте
по координате
по углу

17.1

16.5

Источники погрешностей также не как у геодезического
 двухканального



$\phi_{x,y,z}$ - углы ошибок начальной выставки

(т.е. угол расположен между

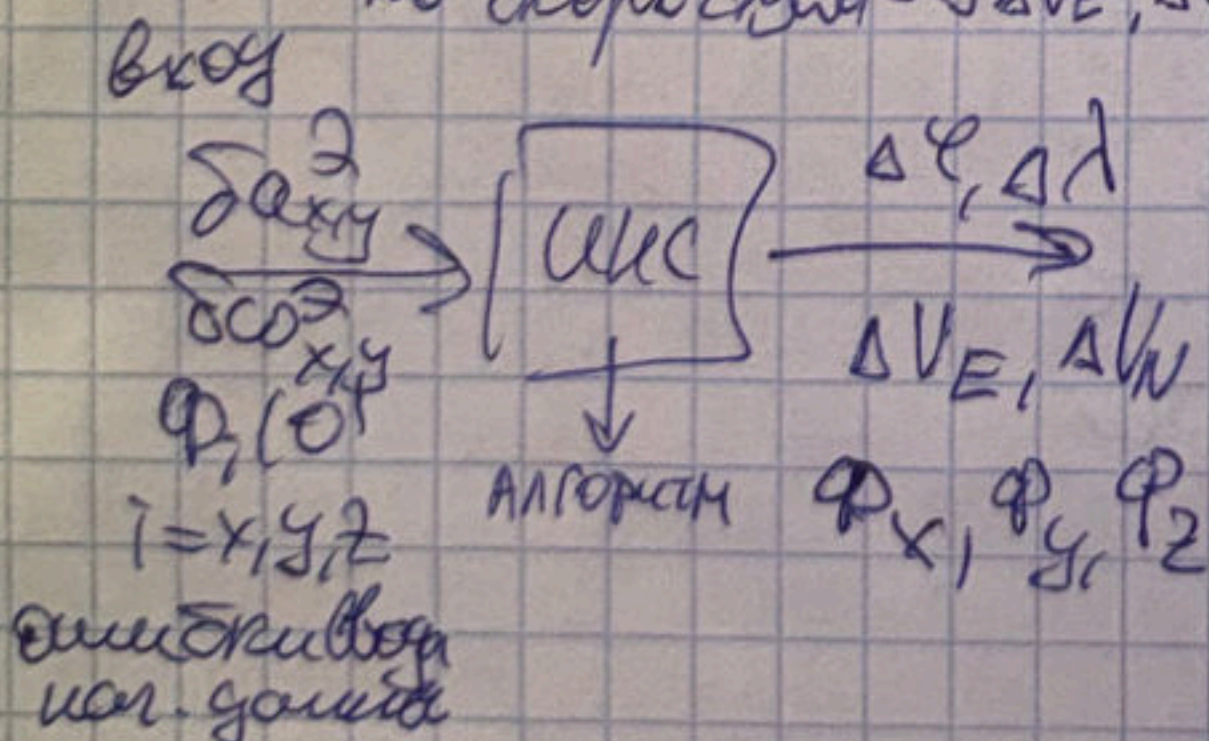
базовой СК и опорной СК

двух базисов в пространстве
 вызвана эквивалентным смещением
 нуля, по азимуту - вызвана зенитным
 отклонением

От ~~того~~ какой алгоритма, то такие
 параметры на выходе

1. В качестве опорной и базисной географической СК

то здесь будут ошибки определены широты $\Delta\varphi$, долготы $(\Delta\lambda)$,
 но скорости $\Delta V_E, \Delta V_N$, ошибки углов ориентации $\phi_{x,y,z}$
 измеренные



$$\Delta\psi = \tilde{\psi} - \psi_{исходное}$$

$$\Delta\lambda = \tilde{\lambda} - \lambda$$

Связь между географическими и
 декартовыми координатами.

$$\Delta E = \Delta\lambda R \cos\psi$$

$$\Delta N = \Delta\psi \cdot R$$

Методы вращательного движения

У него 7 век параметров

44:25

Уравнение

Это алгоритм идеальной работы тут нет погрешности

урав. движение на 2D плоскости

$$\omega_x = \omega_x'$$

$$\omega_y = u \cos \varphi + \omega_y' \quad (2)$$

$$\omega_z = u \sin \varphi + \omega_z' \tan \varphi \quad (3)$$

$$\omega_x' = -\frac{v_y}{R}$$

$$\omega_y' = \frac{v_x}{R}$$

длина пути $u = r \cdot \omega$

$$\dot{v}_x = a_x + (u \sin \varphi + \omega_z) v_y \quad (4)$$

$$\dot{v}_y = a_y - (u \sin \varphi + \omega_z) v_x \quad (5)$$

показано изменение скорости

$$\dot{\varphi} = -\omega_x' \quad (6)$$

$$\dot{\lambda} = \omega_y' \sec \varphi \quad (7)$$

связь между скоростью и угловой скоростью

состав алгоритма

1. $V = f(a)$

2. $\varphi(\lambda) = f(a)$

3. $\omega = f(a)$

4. ψ const

алгоритм приготовления

в беге регулируется шаг

Алгоритм — это идеальная работа

u

Уравнения поперечности

Ориентации (по углам ориентации)

Угловая скорость разворота матрицы

$$\omega_{xp} = \frac{M_{xp}^{упр}}{H} + \delta\omega_x$$

↑
групп

остаточные по оси

$M_{xp}^{упр}, M_{yp}^{упр}, M_{zp}^{упр}$ — моменты управления

$\delta\omega_{x,y,z}$ — остат. углы вращения

$$M_{xp}^{упр} = k \tilde{\omega}_x$$

↑
крутизна ДМ вращения

$\tilde{\omega}_x$ — известное значение углов скорости

$$\tilde{\omega}_x = \omega_x + \Delta\omega_x$$

↑
ошибка определения углов, см-ти

h_k — момент коэф.

$$h_k = \frac{k}{H}$$

↑
крутизна ДМ

среднее значение

ошибка макс. коэф

$$1 + \delta h_k$$

$$\omega_{xp} = \frac{M_{xp}^{упр}}{H} + \delta\omega_x = \frac{k \tilde{\omega}_x}{H} + \delta\omega_x = h_k \tilde{\omega}_x + \delta\omega_x = (1 + \delta h_k) \tilde{\omega}_x + \delta\omega_x$$

$$\omega_{xp} = (1 + \delta h_k) \tilde{\omega}_x + \delta\omega_x$$

↑
углы ок-то матрицы

Как связаны ω_{xp} и ω_{yp} вращением Земли:
 через матрицу вращений координат

В случае, когда углы $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ малы

$$\begin{matrix} xyz \\ \swarrow \\ x_p y_p z_p \end{matrix} = \begin{pmatrix} 1 & \varphi_z & -\varphi_y \\ -\varphi_z & 1 & \varphi_x \\ \varphi_y & -\varphi_x & 1 \end{pmatrix} \quad \text{— косинусная матрица}$$

Переход от скорости ω к ω_p

$$\omega_p = C \omega + \begin{pmatrix} \dot{\varphi}_x \\ \dot{\varphi}_y \\ \dot{\varphi}_z \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} \omega_{xp} \\ \omega_{yp} \\ \omega_{zp} \end{pmatrix} = C \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \dot{\varphi}_x \\ \dot{\varphi}_y \\ \dot{\varphi}_z \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} \omega_{xp} = \dot{\varphi}_x + \omega_x + \varphi_z \omega_y - \varphi_y \omega_z \\ \omega_{yp} = \dot{\varphi}_y + \omega_y + \varphi_x \omega_z - \varphi_z \omega_x \\ \omega_{zp} = \dot{\varphi}_z + \omega_z + \varphi_y \omega_x - \varphi_x \omega_y \end{cases} \quad (8)$$

Из-за (1), (2), (3) кот. выр-ют уравнения
 ориентации матрицы — на проворачивании
 эти уравнения

$$\Delta \omega_x = \Delta \omega'_x$$

$$\Delta \omega_y = \Delta \omega'_y - \omega \sin \varphi \Delta \varphi$$

$$\Delta \omega_z = \Delta \omega'_z \tan \varphi + (\omega \cos \varphi + \omega'_y \sec^2 \varphi) \Delta \varphi$$

(5)

если правую часть $\omega_{\Phi} = \frac{\mu_{\Phi}}{k} + \delta\omega_{\Phi}$ поворачивать
 в (8) и с учетом (9) получим
 ДУ описывающее поведение оси в ДОН
 ориентации.

$$\dot{\varphi}_x + \varphi_z \omega_y - \varphi_y \omega_z = \Delta \omega_x' + \delta \mu_k \omega_x + \delta \omega_x$$

$$\dot{\varphi}_y + \varphi_x \omega_z - \varphi_z \omega_x = \Delta \omega_y' - U \sin \varphi \Delta \varphi + \delta \omega_y \quad \delta \omega_x^g$$

$$\dot{\varphi}_z + \varphi_y \omega_x - \varphi_x \omega_y = \Delta \omega_z' \operatorname{tg} \varphi + (U \cos \varphi + \omega_y' \sec^2 \varphi) \cdot \Delta \varphi + \delta \omega_z^g$$

↑↑↑
 урав-я описывающие поворачивание

ориентации

Уравнения омибок тригонометрических акселерометров

измерения

$$\tilde{a}_j = a_j h_a + \delta a_j$$

a_j — выход датчика
 h_a — масштабный коэффициент
 δa_j — омибка измерения

$$h_a = (1 + \delta h_a)$$

омибка масштаба — масштабный коэффициент

$$\left. \begin{aligned} \tilde{a}_x &= (1 + \delta h_a) a_{xp} + \delta a_x \\ \tilde{a}_y &= (1 + \delta h_a) a_{yp} + \delta a_y \end{aligned} \right\}$$

относительно базисных систем координат

С учетом матрицы направ. косин. евр

x, y, z
 x, y, z
 17.8

$$\tilde{a}_x = a_x + a_y \varphi_z - a_z \varphi_y + \delta h_a a_x + \delta a_x$$

$$\tilde{a}_y = a_y + a_z \varphi_x - a_x \varphi_z + \delta h_a a_y + \delta a_y$$

$$\tilde{a}_x - a_x = \Delta a_x = a_y \varphi_z - a_z \varphi_y + \delta h_a a_x + \delta a_x$$

$$\Delta a_y = a_z \varphi_x - a_x \varphi_z + \delta h_a a_y + \delta a_y$$

уравнения омибок

Решив уравнения (4), (5) относительно $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$

$$\Delta \dot{v}_x = \Delta a_x + (u \sin \varphi + \omega_z) \Delta v_y + (u \cos \varphi + \Delta \omega_z) v_y$$

$$\Delta \dot{v}_y = \Delta a_y - (u \sin \varphi + \omega_z) \Delta v_x - (u \cos \varphi + \Delta \omega_z) v_x$$

$$\omega_x' = -\frac{v_y}{R}$$

$$\omega_y' = \frac{v_x}{R}$$

15:50

Суммируем уравнения по координатам

$$\Delta \dot{\omega}_x' = -f_z \varphi_x - f_x \varphi_z - 2(v \sin \varphi + \omega_y' \operatorname{tg} \varphi) \Delta \omega_y' + (2\omega_y' v \cos \varphi + \omega_y'^2 \sec^2 \varphi) \Delta \varphi - \frac{\delta a_z}{R}$$

по координатам

$$\Delta \dot{\omega}_y' = -f_z \varphi_y + f_y \varphi_z - (2v \sin \varphi + \omega_y' \operatorname{tg} \varphi) \Delta \omega_x' - (2\omega_x' v \cos \varphi + \omega_x' \omega_y' \sec^2 \varphi) \Delta \varphi - \omega_x' \operatorname{tg} \varphi \Delta \omega_y' + \frac{\delta a_y}{R}$$

по x

$$f_x = \frac{a_x}{R} = \dot{\omega}_y' + (2v \sin \varphi + \omega_y' \operatorname{tg} \varphi) \omega_x'$$

$$f_y = \frac{a_y}{R} = \dot{\omega}_x' + (2v \sin \varphi + \omega_y' \operatorname{tg} \varphi) \omega_y'$$

$$f_z = \frac{a_z}{R} = -\dot{\omega}_x'^2 - \dot{\omega}_y'^2 - 2\omega_y' v \cos \varphi + v^2$$

недоста
выражен

Уравнения суммируем по координатам

Продифференцируем (6), (7)

уравнения суммируем по координатам

$$18.2 \left[\begin{aligned} \Delta \dot{\varphi} &= -\Delta \omega_x' \\ \Delta \dot{\lambda} &= \Delta \omega_y' \sec \varphi + \Delta \varphi \sec \varphi \operatorname{tg} \varphi \omega_y' \end{aligned} \right.$$

Получены 7 методов ДУ (1-02)
с переменными коэффициентами
порядка ν , кот. описывают
выходные процессы ИВС
когда выходные возмущения
являются суммой акселеро-ов, огибающих
шумов, огибающих мед. составляющих,
огибающих

надо получить огибающую

мы должны знать изменение коэф-та
изменения частоты.

Уравнение огибающей получить

Результат:

1.

Задача:

1. Посмотреть

2. Для обоснования требования к
погрешностям чувств. элементов

3. Для оценки погрешности ИИС при
наличии внешнего источника ошибок

Анализ уравнений движения

ИИС для жесткого сцепления.

для объекта кот. перемещается на жестком

$$V_x = V_y = V_z = 0$$

$$d(t) = \text{const}$$

$$\psi(t) = 0$$

В этом случае ур-ия движения ^{жест} упрощаются
и разбиваются на 2 системы ур-ий.
Одна для канала сцепления,

Канал широты

Канал глубины

$$\begin{cases} \dot{\varphi}_x = -u\varphi_z + \Delta\omega'_x + \delta\omega_x^{\text{э}} \\ \dot{\varphi}_z = u\varphi_x + u\delta\varphi + \delta\omega_z^{\text{э}} \\ \Delta\omega'_x = -\nu^2\varphi_x - \frac{\delta a_x^{\text{э}}}{R} \\ \Delta\dot{\varphi} = -\Delta\omega'_x \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{\varphi}_y = \Delta\omega'_y + \delta\omega_y^{\text{э}} \\ \Delta\omega'_y = -\nu^2\varphi_y + \frac{\delta a_y^{\text{э}}}{R} \\ \Delta\dot{\varphi} = \Delta\omega'_y \end{cases}$$

Для БУКК выполняется ур-ие, т.е. не выполняется критерий Зеемана

Решение первого в операторной форме и будет ответ, что все же ур-ие в осевом-об пост. вращении

Когда решали ур-ие по каналу широты, будут члены зависящие от u и u^2 , учитывая $\frac{u}{\nu} = 6 \cdot 10^{-2}$ так и $\frac{u^2}{\nu^2}$ - будем пренебрегать.

Канал широты

$$\begin{aligned} \varphi_x(t) = & \delta\omega_x^{\text{э}} \frac{\sin \nu t}{\nu} + \varphi_x(0) \cos \nu t - \delta\omega_z^{\text{э}} \frac{u}{\nu^2} [1 - \\ & - \cos \nu t] - \varphi_z(0) u \frac{\sin \nu t}{\nu} + \frac{\delta a_x^{\text{э}}}{g} (1 - \cos \nu t) + \\ & + \frac{\delta a_y(0)}{R} \frac{\sin \nu t}{\nu} \end{aligned}$$

$$\varphi_z(t) = \delta\omega_x^{\vec{z}} \frac{u}{v^2} [1 - \cos vt] + \varphi_x(0) ut +$$

$$+ \delta\omega_z^{\vec{z}} t + \varphi_z(0) + \Delta\varphi(0) u \left[t - \frac{\sin vt}{v} \right]$$

$$\Delta V_y(t) = +\delta\omega_x^{\vec{z}} R [1 - \cos vt] + \varphi_x(0) R v \sin vt +$$

$$- \delta\omega_z^{\vec{z}} u R \left[t - \frac{\sin vt}{v} \right] - \varphi_z(0) R v [1 - \cos vt] -$$

$$- \delta\alpha_y^{\vec{z}} \frac{\sin vt}{v} - \Delta V_y(0) R \cos vt - \Delta\varphi(0) u \left[t - \frac{\sin vt}{v} \right]$$

$$\Delta\varphi(t) = -\delta\omega_x^{\vec{z}} \left[t - \frac{\sin vt}{v} \right] + \varphi_x(0) [1 - \cos vt] -$$

$$- \varphi_z(0) u \left[t - \frac{\sin vt}{v} \right] - \frac{\delta\alpha_y^{\vec{z}}}{g} [1 - \cos vt] -$$

$$- \frac{\Delta V_y(0) \sin vt}{R v} - \delta\omega_z^{\vec{z}} u \left(\frac{t^2}{2} - \frac{1 - \cos vt}{v^2} \right) + \Delta\varphi(0)$$

Канал генератор:

$$\varphi_y(t) = \varphi_y(0) \cos vt + \frac{\Delta k(0)}{R} \frac{\sin vt}{v} + \delta\omega_y^{\vec{z}} \frac{\sin vt}{v} +$$

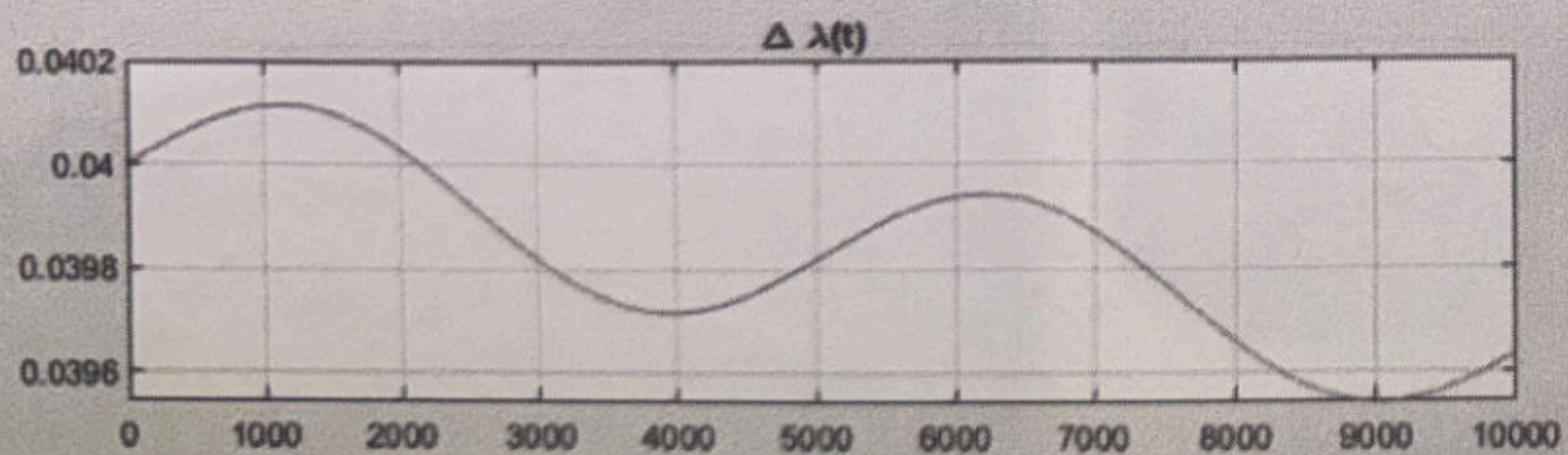
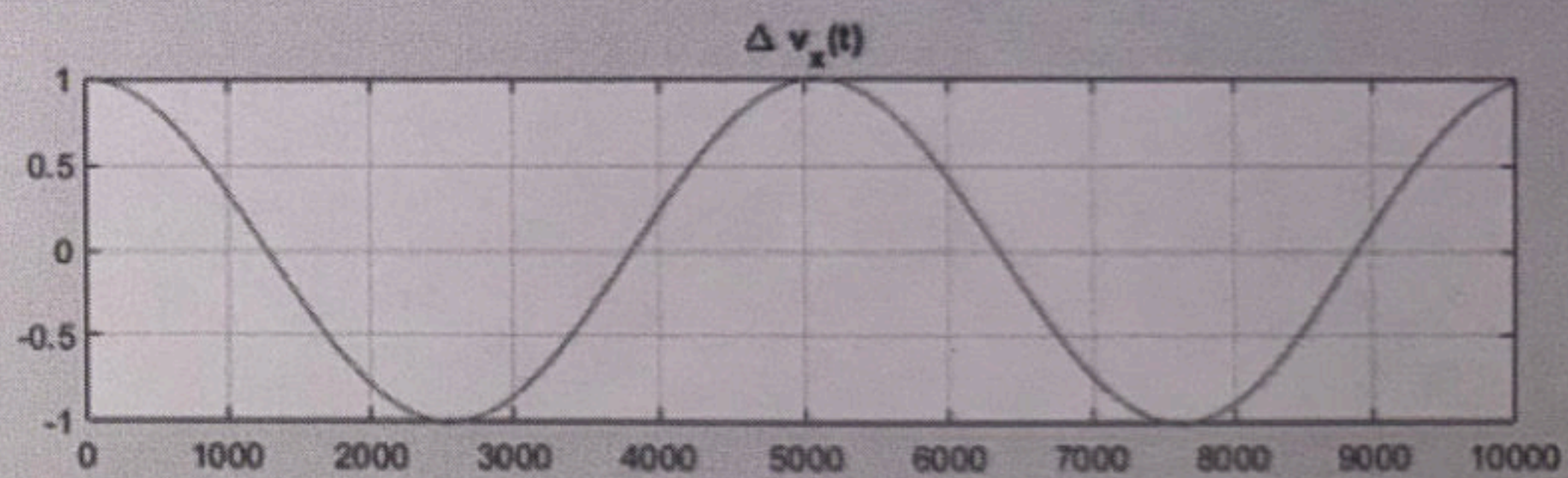
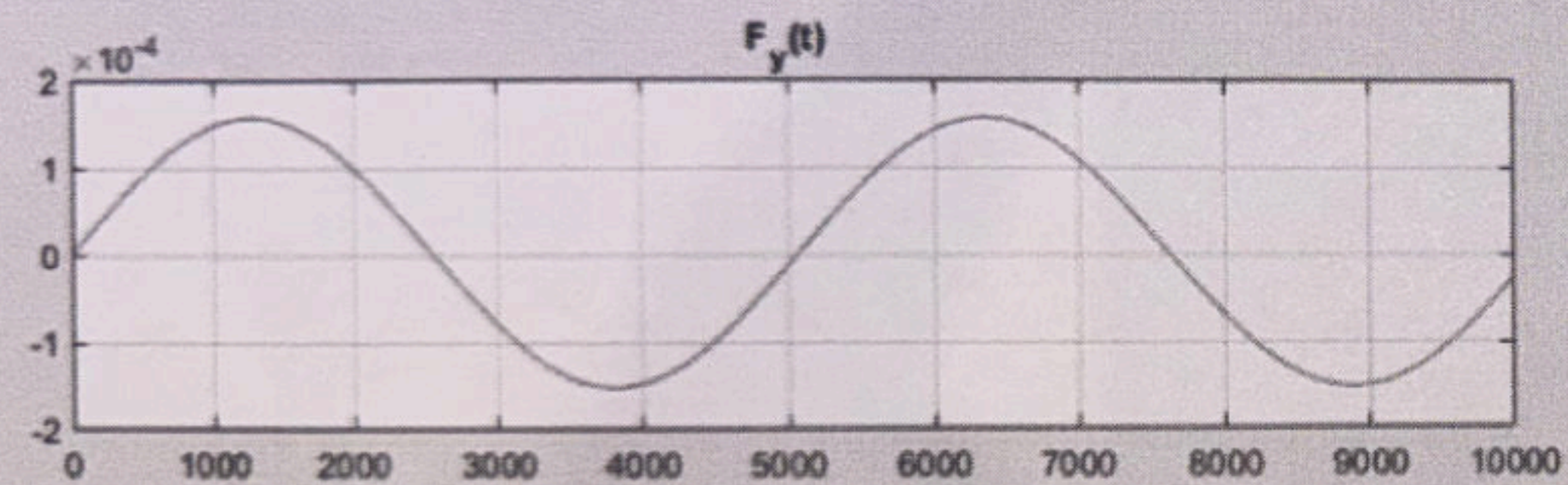
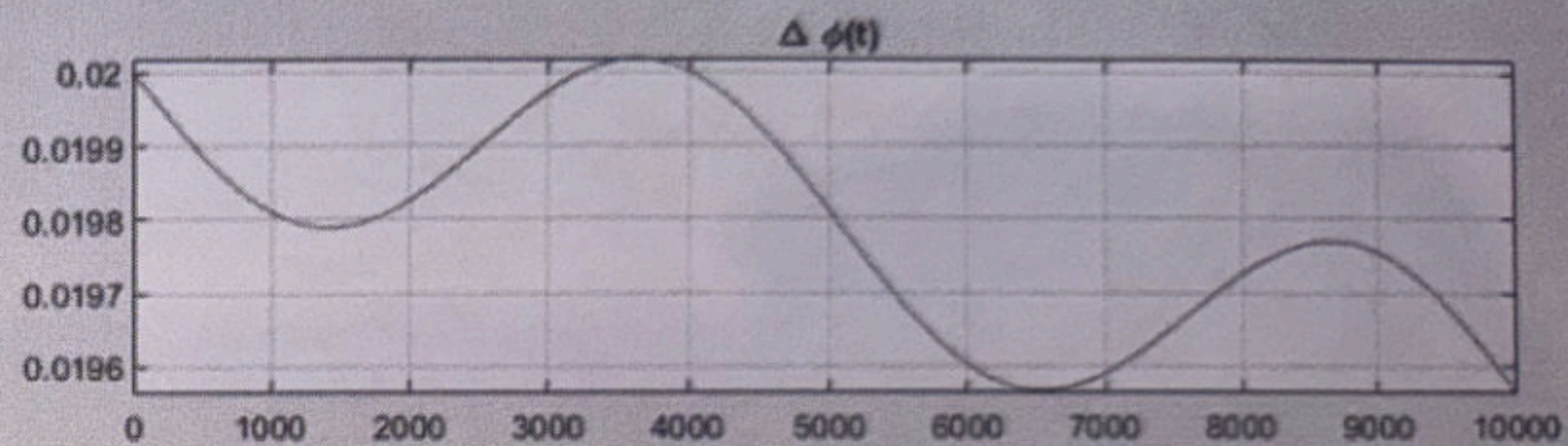
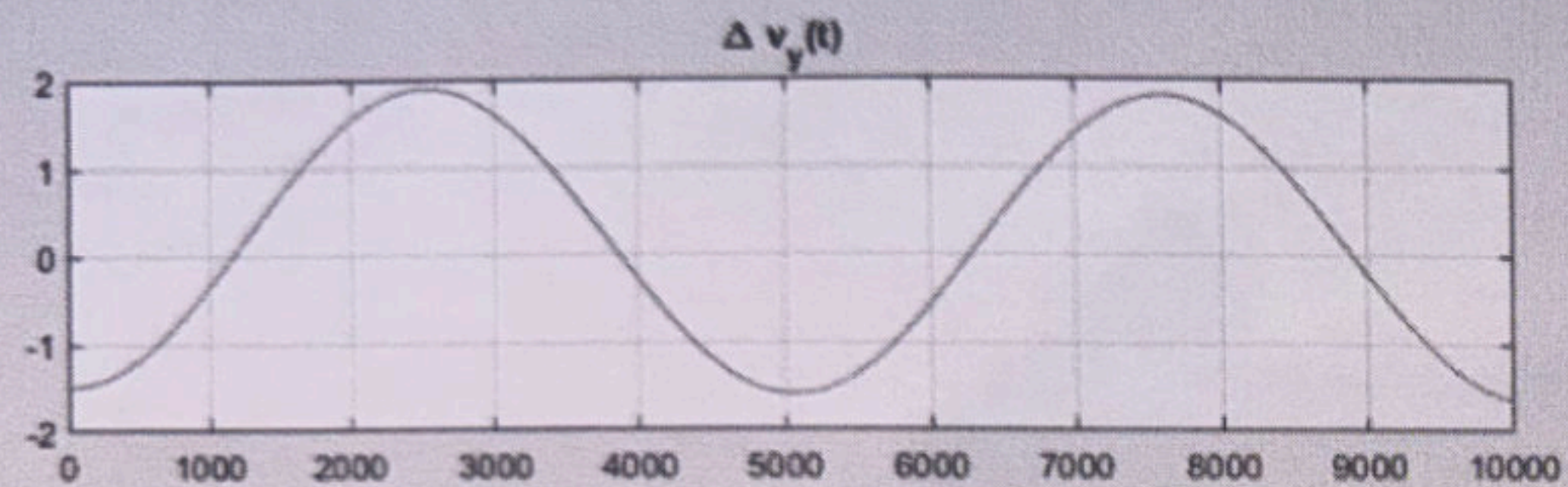
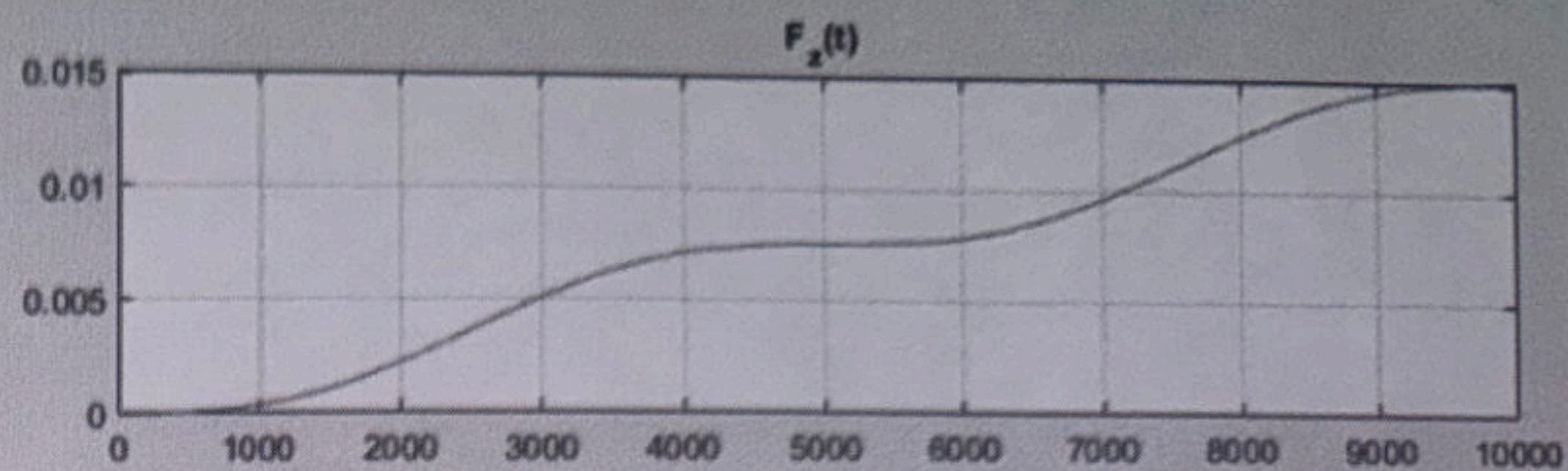
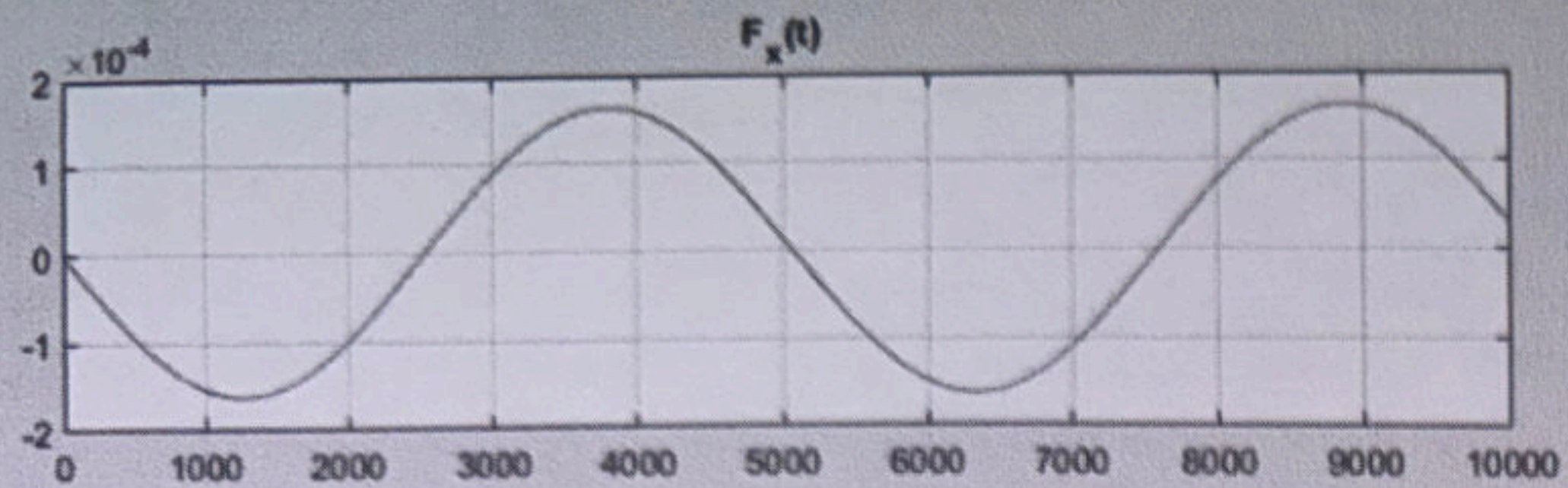
$$+ \frac{\delta\alpha_x^{\vec{z}}}{g} (1 - \cos vt)$$

$$\Delta V_x(t) = -\varphi_y(0) R v \sin vt + \Delta k_x(0) \cos vt - \delta\omega_y^{\vec{z}} (1 - \cos vt) +$$

$$+ \delta\alpha_x^{\vec{z}} \frac{\sin vt}{v}$$

$$\Delta A(t) = \Delta A(0) - \varphi_y(0) (1 - \cos vt) + \frac{\Delta k_x(0) \sin vt}{R v} +$$

$$+ \frac{\delta\alpha_x^{\vec{z}}}{g} (1 - \cos vt) - \delta\omega_y^{\vec{z}} \left(t - \frac{\sin vt}{v} \right)$$



Описание требований к
 выбору узловых элементов, входящих
 в состав 14.05.25

$$\Delta Y = \sum \omega_x^0 t - \text{уровень сигнала элемент}$$

ошибки

система — мат. смесь (свернем каноническое
 состояние — дисперсия)

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n b_i \xi_i$$

$\xi = b_1 \xi_1 + b_2 \xi_2 + \dots + b_n \xi_n$ — сигнал выходящий
 — это линейной комбинацией сумм
 суммируем выходы ξ_1, \dots, ξ_n

b_1, b_2, \dots, b_n — ^{либо} известные функции времени, либо
 пост. величины
 (в нашем случае пост. величины)

Взаимные влияния каналов не
 рассматриваем

поэтому ξ_i — независимые суммируемые величины

$$M_{\xi} = \sum_{i=1}^N b_i \xi_i$$

мат. ожидание

$$D_{\xi} = \sum_{i=1}^N b_i^2 \xi_i^2$$

СКО дадено с $\Delta Y, \Delta X$

$$\Delta Y^{\Sigma} = G_{\Delta Y}^{\Sigma} = \sum_{i=1}^N G_{\Delta Y_i} = \sqrt{D_{\Sigma}}$$

- абсолютна погрешка

средна нар. грешка

$$\Delta \varphi = -\delta \omega_x^{\Delta} \left[t - \frac{\sin \nu t}{\nu} \right] + \varphi_x(0) [1 - \cos \nu t] -$$

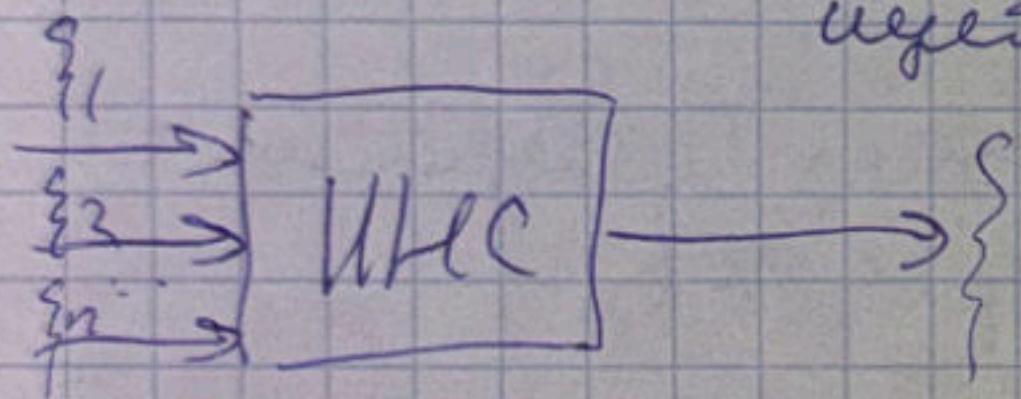
$$- \delta \omega_z^{\Delta} \left[\frac{t^2}{2} - \frac{1 - \cos \nu t}{\nu^2} \right] - \varphi_z(0) \left[t - \frac{\sin \nu t}{\nu} \right] -$$

$$- \frac{\delta a_y^{\Delta}}{g} [1 - \cos \nu t] - \frac{\Delta U_y(0) \sin \nu t}{g} + \Delta \varphi(0)$$

средна нар. грешка

абсолютна погрешка

средна нар. грешка



$\Delta \varphi$ - выходная погрешность, правая часть - это помеховая входная возмущения

$$D_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N b_i^2 \xi_i = N b_i^2 \xi_i$$

$$\Delta Y^{\Sigma} = G_{\Delta Y}^{\Sigma} = \sqrt{D_{\Sigma}} = \sqrt{N b_i^2 \xi_i} \Rightarrow$$

$$b_i = \frac{G_{\Delta Y}^{\Sigma}}{b_i \sqrt{N}}$$

$$\Delta Y = G^{\Sigma} = 7 \text{ км}$$

$$Y_i = \frac{G^{\Sigma}}{\left(t - \frac{\sin \nu t}{\nu} \right) \sqrt{7} R}$$

$$\nu = \frac{2\pi}{T_{\text{ср}}} \Rightarrow$$

$$\nu t = \frac{2\pi}{T_{\text{ср}}} \cdot \frac{3}{4} T_{\text{ср}} = \frac{3\pi}{2}$$



ВКС состоит из:

1. Акселерометры
2. Гироскопы
3. Высокотемп
4. Гиростабилизированная платформа
5. Карный навес (3-х, 4-х осевый)
6. ДУ, СКТ