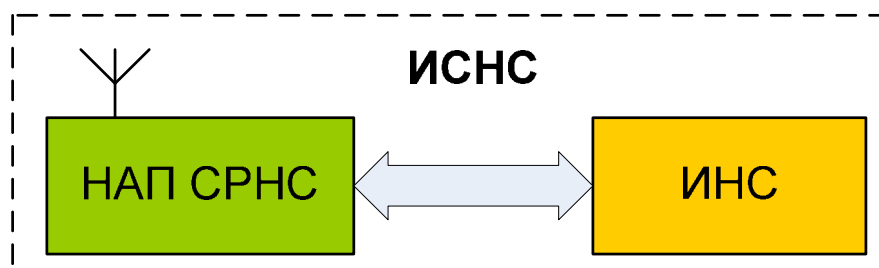


# Лекция 13.

## Методы комплексной фильтрации в инерциально-спутниковых навигационных системах (ИСНС)

Рекомендуемая литература:

ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования.  
под ред. Перова А.И., Харисова В.Н. (Глава 17).



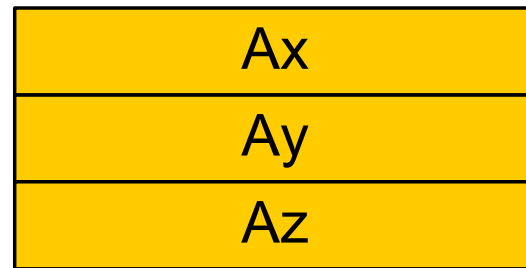
**ИСНС бывают разные:**



# Инерциальная навигационная система (ИНС)



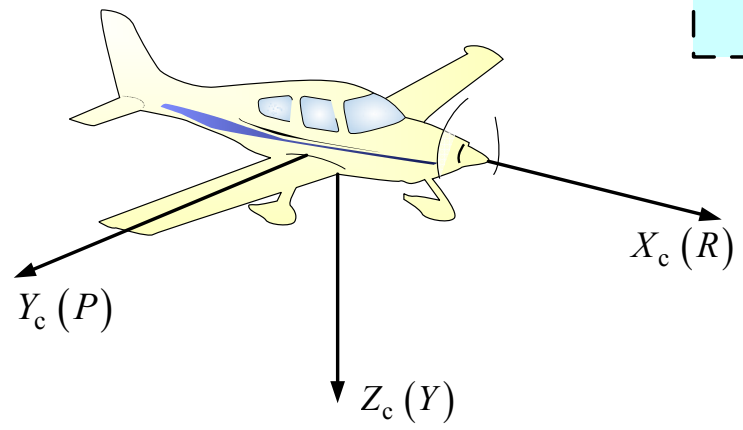
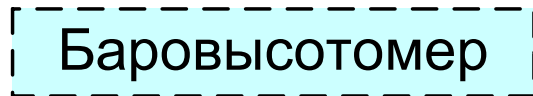
Акселерометры



Гироскопы



Выход:  
 Широта  
 Долгота  
 (Высота)  
 $V_e, V_n, V_u$   
 Курс  
 Крен  
 Тангаж



Основа ИНС - уравнение Пуассона:

$$\frac{d\bar{R}}{dt} \Big|_I = \frac{d\bar{R}}{dt} \Big|_m + \bar{\omega}_m \times \bar{R}$$

# Характеристики ИНС и СРНС

Характеристика	СРНС	ИНС
Автономность	Нет	Да
Необходимость начальной выставки и калибровки	Нет	Да
Характер ошибок	Относительно высокий уровень шумов, стационарный процесс	Малый уровень шумовой составляющей, нестационарный процесс
Возможность отсутствия навигационных определений	Да	Нет
Темп выдачи данных	Низкий (1...10 Гц)	Высокий (10...1000 Гц)
Возможность резервирования	Неэффективно	Эффективно

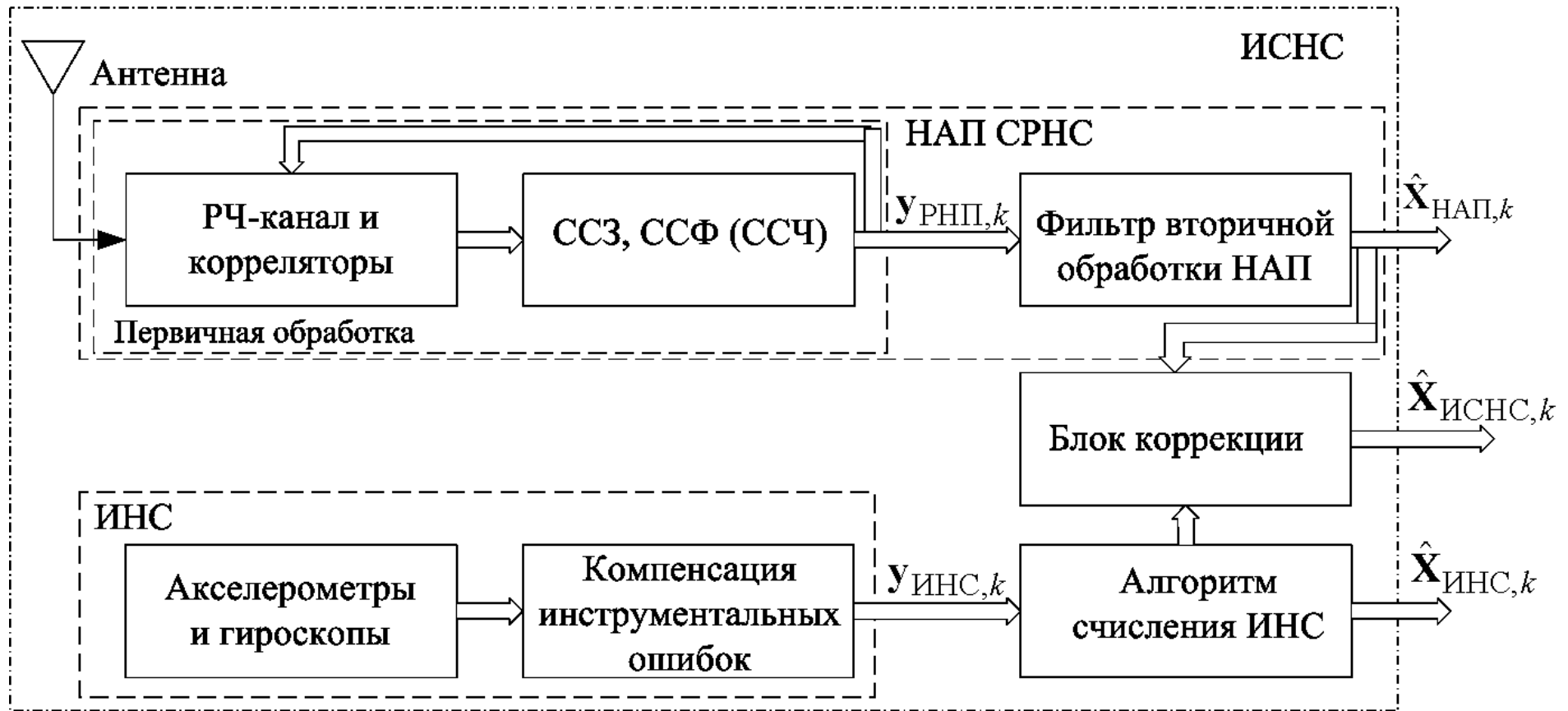
Благодаря различной физической природе измерений ИНС и СРНС хорошо дополняют друг друга

# Области применения ИСНС

- Авиация
- БПЛА
- Системы управления ракет и РСЗО
- Летаящие игрушки
- Автотранспорт
- Корабли и подводные лодки
- Ползающие роботы (автопогрузчики, сельхозтехника).

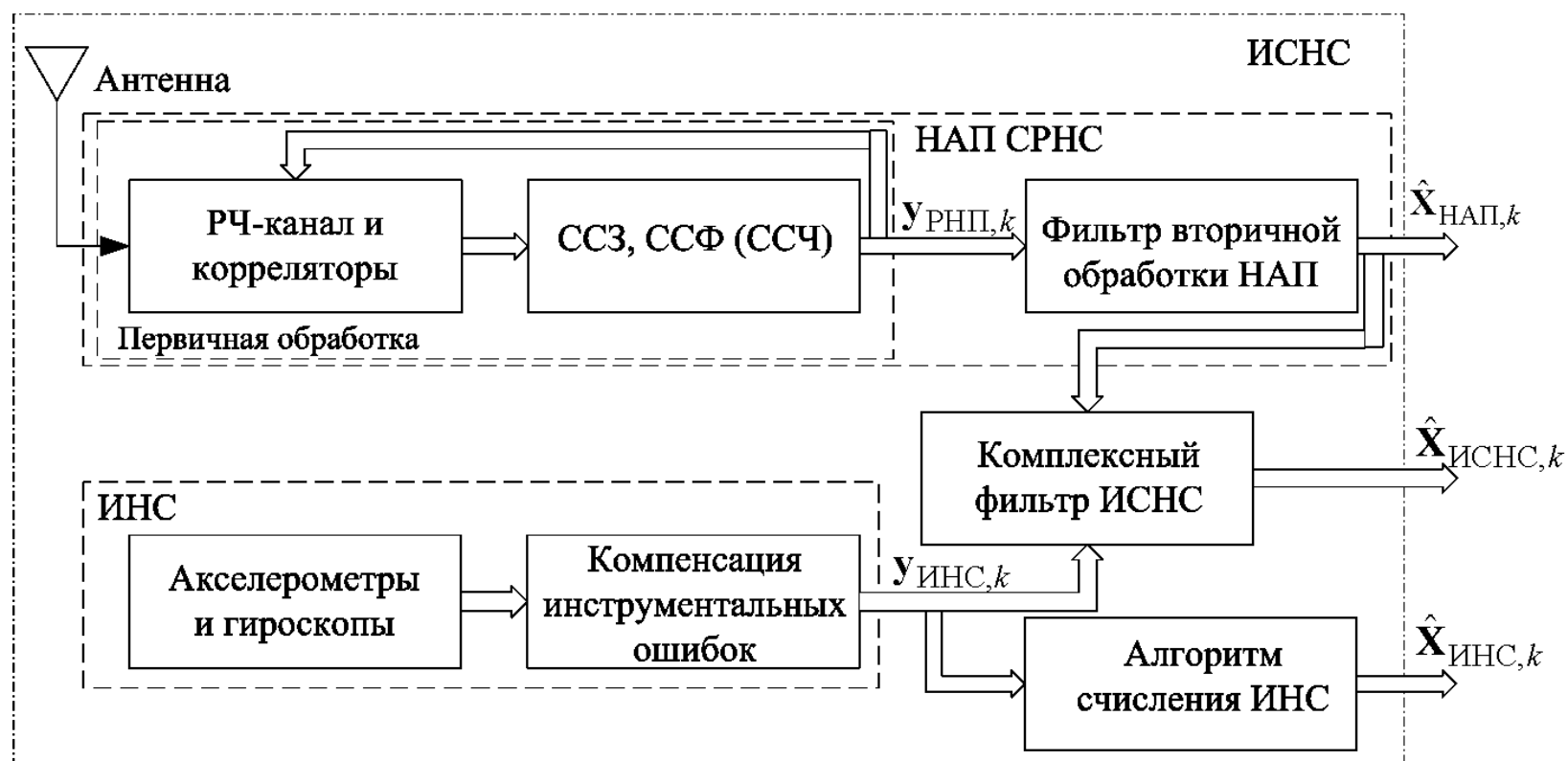


# Разомкнутая схема комплексирования (uncoupled)



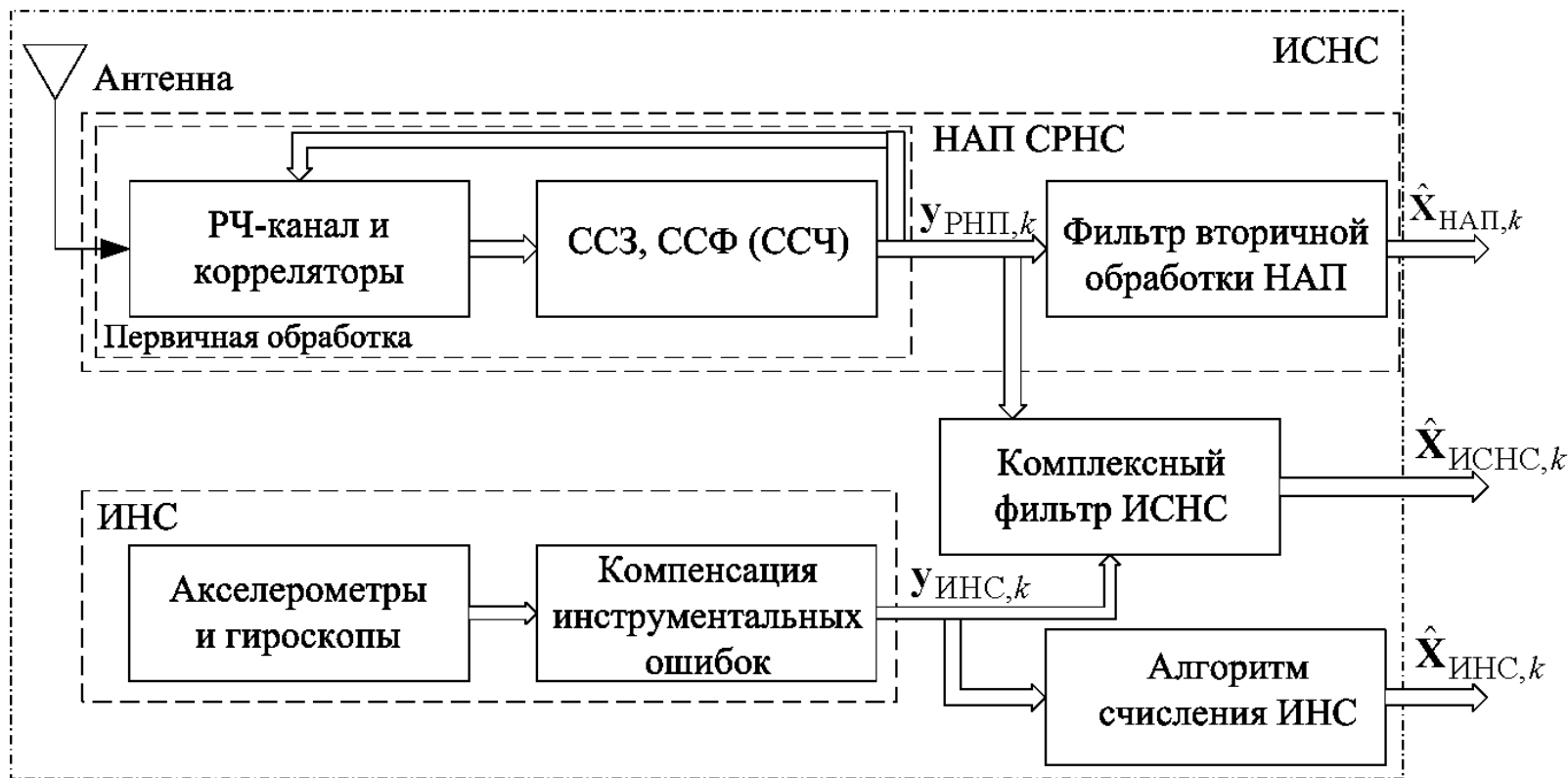
В разомкнутой схеме комплексирование осуществляется по выходам навигационных решений ИНС и НАП СРНС

# Слабосвязанная схема комплексирования (Loosely coupled)



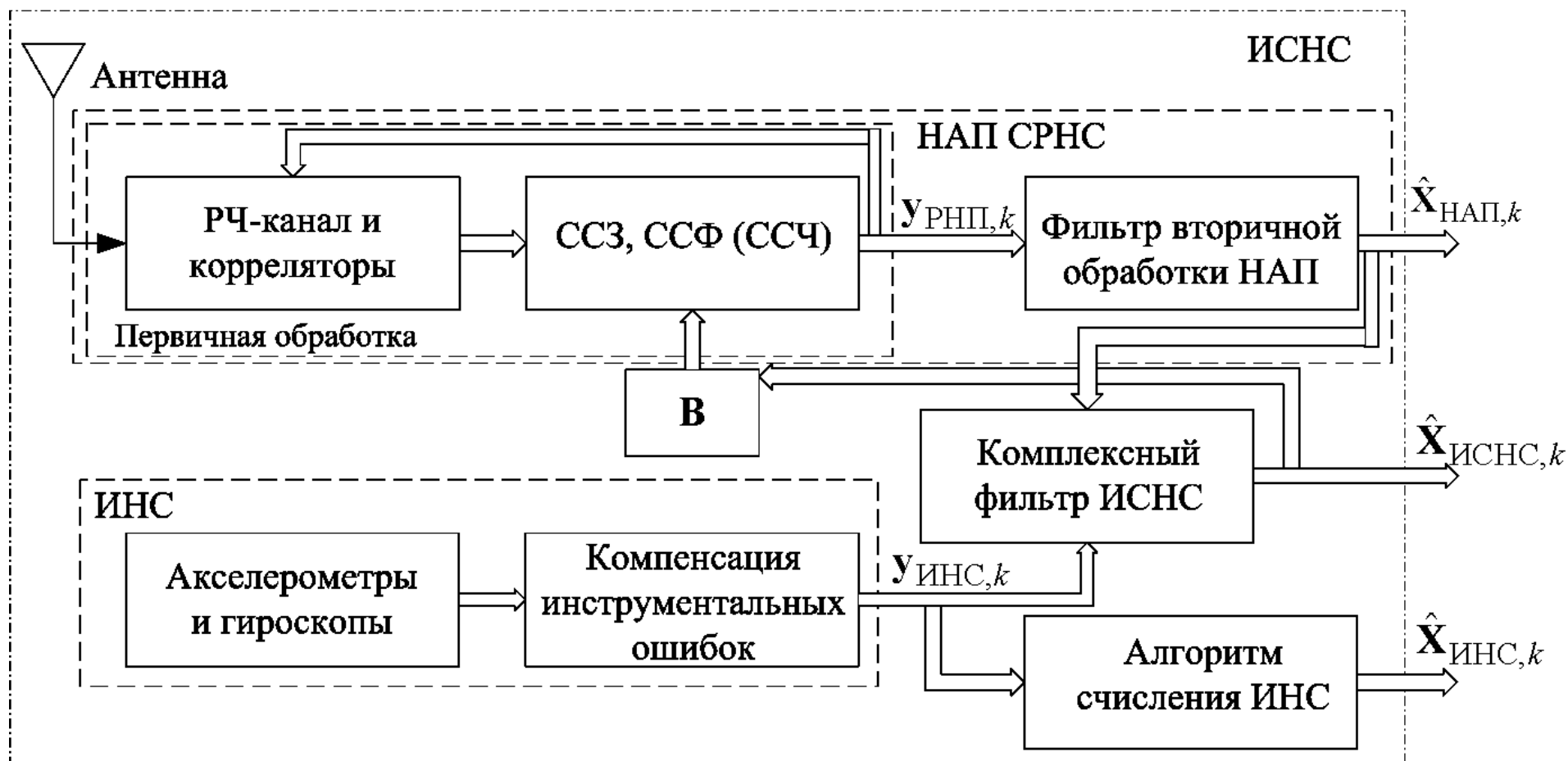
В слабосвязанной схеме объединены функции счисления и коррекции ИНС в комплексном фильтре, но нет поддержки систем слежения НАП СРНС

# Слабосвязанная схема комплексирования (Loosely coupled) – вариант 2



В слабосвязанной схеме объединены функции счисления и коррекции ИНС в комплексном фильтре, но нет поддержки систем слежения НАП СРНС

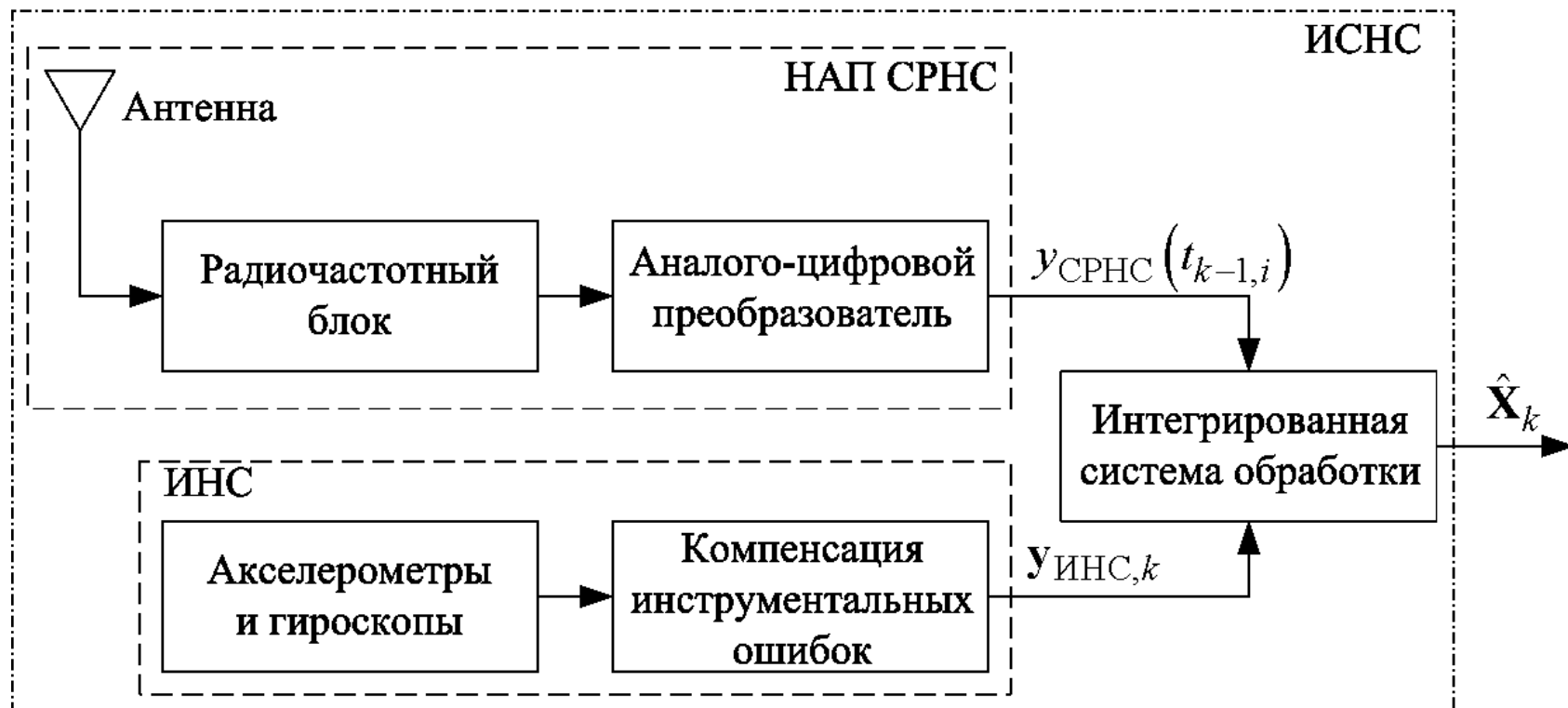
# Тесносвязанная схема комплексирования (Tightly coupled)



В тесносвязанной схеме реализованы как функции счисления и коррекции ИНС в комплексном фильтре, так и поддержка систем слежения НАП СРНС



# Глубокоинтегрированная схема комплексирования (Deeply integrated)



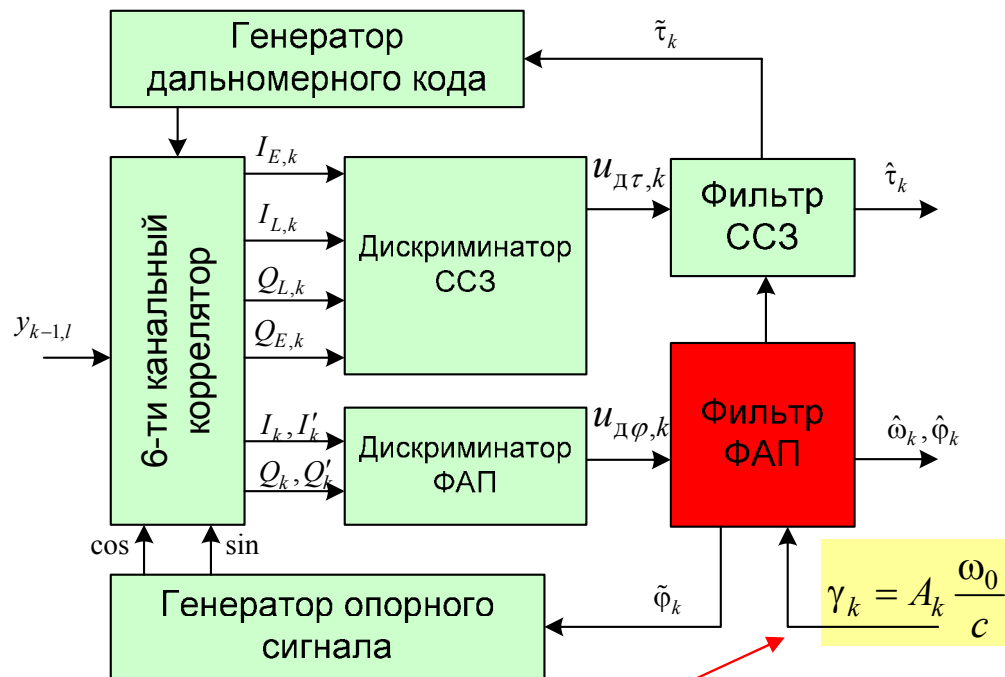
В глубокоинтегрированной схеме входом для комплексного фильтра, являются сами сигналы СРНС и первичные измерения гироскопов и акселерометров

# Сравнительная характеристика схем комплексирования

Тип комплексирования	Основные особенности
Разомкнутый	Ограниченность ошибок оценок местоположения и скорости, наличие информации об ориентации и угловой скорости, минимальные изменения в бортовой аппаратуре
Слабосвязанный	Все перечисленные качества разомкнутой схемы, выставка и калибровка ИНС в полете
Тесносвязанный	Все перечисленные качества слабосвязанной схемы, повышение помехоустойчивости
Глубокоинтегрированный	Обеспечение характеристик точности и помехоустойчивости, близких к потенциальным. Требуется существенной перестройки НАП СРНС и высоких вычислительных затрат

# Повышение помехоустойчивости в тесносвязанной схеме

Структура канала первичной обработки сигналов СРНС



Поддержка фильтра ФАП радиальным ускорением

ФАП – наименее помехоустойчивая следящая система.

Поддержка фильтра ФАП радиальным ускорением от ИНС снимает динамическое воздействие => уменьшается динамическая ошибка => можно сузить полосу => повысить помехоустойчивость.

Повышение помехоустойчивости пропорционально снижению дисперсии ошибки слежения за фазой.

# Домашнее задание

## Реализовать комплексирование в фильтре системы нелинейной фильтрации фазы и амплитуды из д.з. №4

Дано: всё тоже самое, что в д.з. №4.

Добавляется входная информация от ИНС:

$\gamma_k = v_k + \frac{\omega_0}{c} \delta_k$  - измерения радиального ускорения в пересчете к фазе;

$\delta_k$  - погрешность поддерживающего радиального ускорения от ИНС;

$\delta_k = \delta_{k-1} \cdot (1 - \alpha_\delta T) + \alpha_\delta T \cdot \chi_{k-1}$ ,

$\chi_{k-1}$  - ДБГШ с дисперсией  $\sigma_\chi^2$

$\alpha_\delta = 0.1 \text{ с}^{-1}$  - ширина спектра флуктуаций погрешности ускорения;

$\sigma_\delta = 1 \text{ м/с}^2 \Rightarrow S_\chi = 2\sigma_\delta^2 \alpha_\delta, \quad \sigma_\chi^2 = \frac{S_\chi}{2T}$

# Домашнее задание

1. Провести синтез комплексного фильтра ФАП по модифицированному варианту комплексирования (лекция 12, слайд 3). Подсказка:

$$v_k = \gamma_k - \frac{\omega_0}{c} \delta_k : \quad \gamma_k - \text{известная переменная,}$$

$\delta_k$  - неизвестный СП, который включаем в вектор состояний:

$$\mathbf{x}_k = \left| a_k \quad \varphi_k \quad \Omega_k \quad \delta_k \right|^T$$

Записать на бумаге постановку задачи в векторно-матричном виде, как на слайде 7 (лекция 11).

Смоделировать входные воздействия, включая поддержку от ИНС и саму ФАП с поддержкой.

Амплитуду моделировать ступенькой:

$$a_k = \begin{cases} 1, & \text{при } t_k < 5 \text{ с;} \\ 0.5, & \text{при } t_k \geq 5 \text{ с.} \end{cases}$$

# Домашнее задание

Начальные условия для моделирования:

$$\mathbf{D}_0 = \begin{vmatrix} 0.3^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pi^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (34 \text{ рад/с})^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1 \text{ м/с}^2)^2 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} a_0 \\ \varphi_0 \\ \Omega_0 \\ \delta_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 \\ \pi / 12 \\ 100 \\ 1 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} \hat{a}_0 \\ \hat{\varphi}_0 \\ \hat{\Omega}_0 \\ \hat{\delta}_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

2. Построить на одном графике временные зависимости
- мгновенной ошибки фильтрации фазы:  $\varepsilon_\varphi(t_k) = \hat{\varphi}_k - \varphi_k$ ;
  - предельные границы ошибок фильтрации фазы по уровню  $3\sigma$  (по оценкам матрицы дисперсий фильтра  $\mathbf{D}_{x,k}$ ):

$$+3\sqrt{D_{22}}(t_k), \quad -3\sqrt{D_{22}}(t_k), \quad t = 0 \dots 10 \text{ с}$$

(по оси ординат - градусы).

# Домашнее задание

3. Построить на одном графике реализации истинного радиального ускорения  $v_k \cdot c / \omega_0$  и погрешности измерений радиального ускорения от ИНС  $\delta_k$
4. Выяснить, как и во сколько раз изменилась дисперсия ошибки фазы  $D_{22}$  по сравнению с д.з. №4 в установившемся режиме до и после скачка амплитуды



5. Рассчитать выигрыш в помехоустойчивости (в дБ) как:

$$\Delta = 10 \lg \left( \frac{D_{22} (\text{без поддержки - д.з. №4})}{D_{22} (\text{с поддержкой от ИНС})} \right) \quad [\text{дБ}]$$