

*«Комплексная обработка  
измерений спутникового  
радионавигационного приемника и  
корреляционно экстремальной  
системы навигации»*

**Выполнил:** Косовов В.Ю. (группа ЭР-15-08)

**Научный руководитель:** к.т.н. Куликов Р.С.

# Актуальность темы

С течением времени, требования к показателям качества навигационных систем (НС) постоянно увеличиваются. Объединяя НС, работа которых основана на различных физических принципах, можно улучшить характеристики навигационной системы за счет взаимного компенсирования принципиальных недостатков одной системы принципиальными достоинствами другой.

# Постановка задачи

Рассматривается летательный аппарат, на борту которого установлены НАП СРНС и КЭСН. Полагаем, что полет горизонтальный и прямолинейный на постоянной высоте, а также, что угол курса оценивается точно. Совместную обработку производим по двум горизонтальным составляющим скорости (север-восток), вертикальную составляющую не рассматриваем из-за полета на постоянной высоте. Полагаем, что данные от КЭСН поступают с большей частотой, чем от НАП СРНС и моменты поступления данных от НАП СРНС совпадают с моментами поступления информации от КЭСН. Также полагаем, что КЭСН всегда работает без сбоев, а нарушение работы НАП СРНС возможно.

Необходимо синтезировать фильтр, производящий совместную обработку навигационных измерений НАП СРНС и КЭСН.

# СРНС

Достоинства:

- Глобальность НС;
- Отсутствие ограничений на число потребителей;
- Высокая точность определения навигационной информации;
- Отсутствие смещения оценок навигационной информации;

Недостатки:

- Относительно высокая дисперсия флуктуаций;
- Низкий темп выдачи данных;
- Возможность отсутствия навигационных определений;

# КЭСН

Достоинства:

- Автономность НС;
- Относительно низкая дисперсия флуктуаций;
- Высокий темп выдачи данных;

Недостатки:

- Наличие смещения оценок навигационной информации;
- Накопление ошибки измерения координат;
- Зависимость от вида подстилающей поверхности;

# Модель измерений НАП СРНС

$$\hat{\vec{y}}_k^{\text{НАП}} = \begin{bmatrix} \hat{B}_k \\ \hat{L}_k \\ \hat{h}_k \\ \hat{\tau}_k \\ \hat{V}_{Nk} \\ \hat{V}_{Ek} \\ \hat{V}_{hk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_k \\ L_k \\ h_k \\ \tau_k \\ V_{Nk} \\ V_{Ek} \\ V_{hk} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{Bk} \\ n_{Lk} \\ n_{hk} \\ n_{\tau k} \\ n_{Vnk} \\ n_{Vek} \\ n_{Vhk} \end{bmatrix} = \vec{y}_k^{\text{НАП}} + \vec{n}_k^{\text{НАП}}$$

# Модель измерений КЭСН

$$\hat{\vec{y}}_k^{\text{КЭСН}} = \begin{bmatrix} \hat{B}_k^{\text{КЭСН}} \\ \hat{L}_k^{\text{КЭСН}} \\ \hat{V}_N^{\text{КЭСН}} \\ \hat{V}_E^{\text{КЭСН}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_k(1 + M_{Bk}) \\ L_k(1 + M_{Lk}) \\ V_{Nk}(1 + M_{Vnk}) \\ V_{Ek}(1 + M_{Vek}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{Bk}^{\text{КЭСН}} \\ n_{Lk}^{\text{КЭСН}} \\ n_{Vn_k}^{\text{КЭСН}} \\ n_{Ve_k}^{\text{КЭСН}} \end{bmatrix} = \vec{y}_k^{\text{КЭСН}}(I + M_k) + \vec{n}_k^{\text{КЭСН}}$$

$$M_k = \begin{bmatrix} M_{Bk} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_{Lk} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_{Vn} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_{Ve} \end{bmatrix}$$

# Модель квазиоптимального расширенного фильтра Калмана

## 1) Этап

**экстраполяции:**  
 Экстраполированная оценка вектора наблюдений:

$$\vec{\tilde{x}}_k = \hat{\tilde{x}}_{k-1} = \begin{pmatrix} \hat{V}_{N_{k-1}} \\ \hat{V}_{E_{k-1}} \\ \hat{M}_{V_{N_{k-1}}} \\ \hat{M}_{V_{E_{k-1}}} \end{pmatrix} = f(\hat{\tilde{x}}_{k-1})$$

## 2) Этап

**оценивания**  
 Вектор невязки измерений:

$$\vec{D}_k = \vec{y}_k - h(\vec{\tilde{x}}_k) = h(\vec{x}_k) + \vec{n}_k - h(\vec{\tilde{x}}_k)$$

Модель наблюдений:

$$\vec{y}_k = h(\vec{x}_k) + \vec{n}_k$$

Переходная матрица:

$$F_{k-1} = \frac{\partial f(\hat{\tilde{x}}_{k-1})}{\partial \vec{x}} \Big|_{\hat{\tilde{x}}_{k-1}}$$

Матрица дисперсий невязки измерений:

$$S_k = H_k \tilde{D}_k H_k^T + R_k$$

Матрица наблюдений:

$$H = \frac{\partial h(\vec{x}_k)}{\partial \vec{x}} \Big|_{\hat{\tilde{x}}_k}$$

Экстраполированная оценка матрицы дисперсий:

$$\tilde{D}_k = F_{k-1} \hat{D}_{k-1} F_{k-1}^T + Q_{k-1}$$

Квазиоптимальные значения коэффициентов усиления:

$$K_k = S_k^{-1} \tilde{D}_k H_k^T$$

Формирование оценки вектора состояния:

$$\hat{\tilde{x}}_k = \vec{\tilde{x}}_k + K_k \vec{D}_k = \hat{\tilde{x}}_{k-1} + K_k \vec{D}_k$$

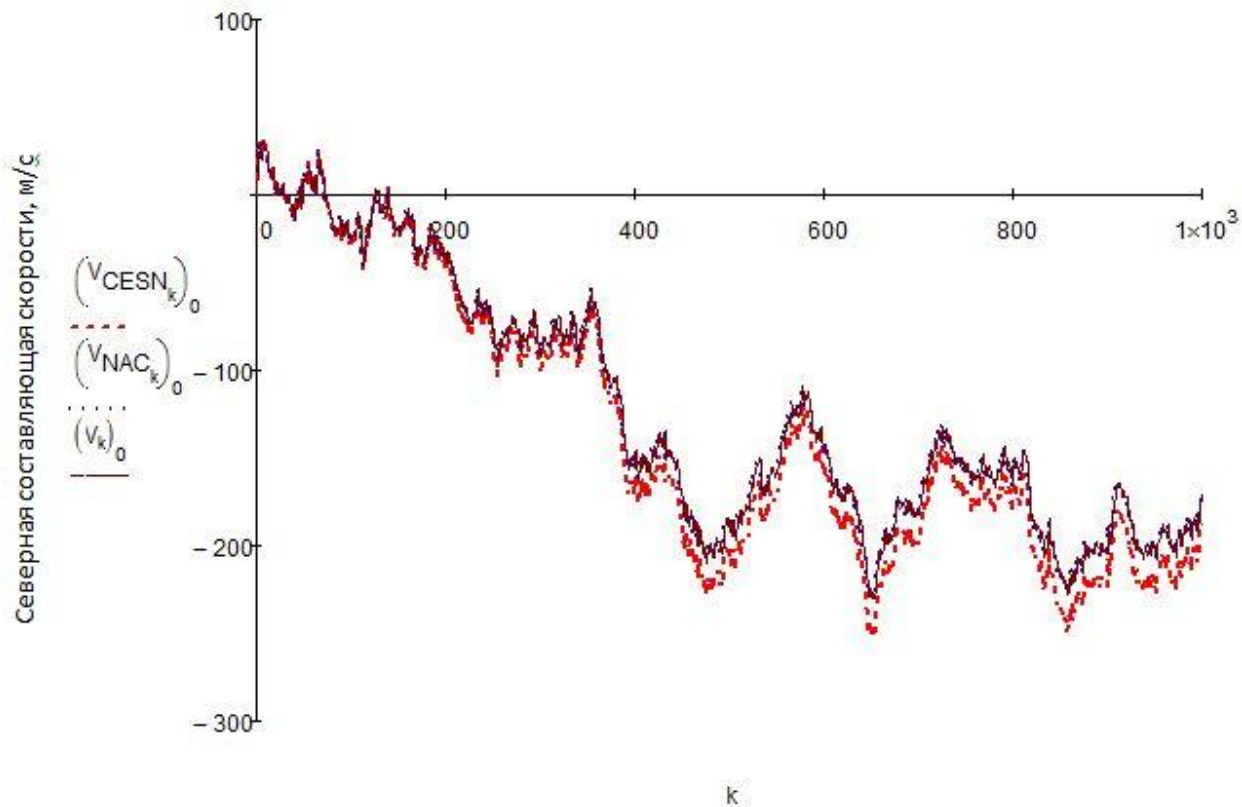


Рис. 1. Реализация северной составляющей скорости и ее оценки в НАП СРНС и КЭСН.

Красная штриховая линия – оценка составляющих скорости в КЭСН;  
 Синяя точечная линия – оценка составляющих скорости в НАП СРНС;  
 Коричневая непрерывная линия – истинные значения составляющих скорости;  
 k – такт работы фильтра;



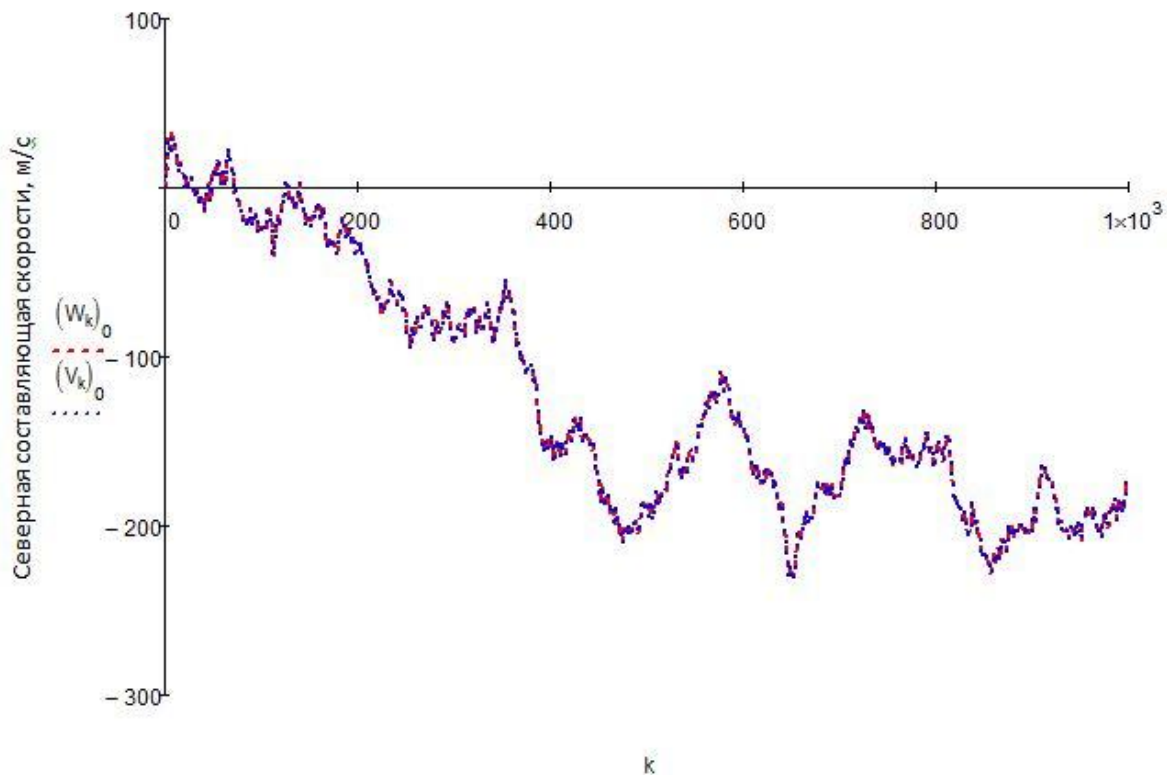


Рис. 2. Реализация северной составляющей скорости и ее оценка в интегрированной навигационной системе.

Красная точечная линия – оценка составляющих скорости в интегрированной НС;  
 Синяя точечная линия – истинные значения составляющих скорости;  
 $k$  – такт работы фильтра;

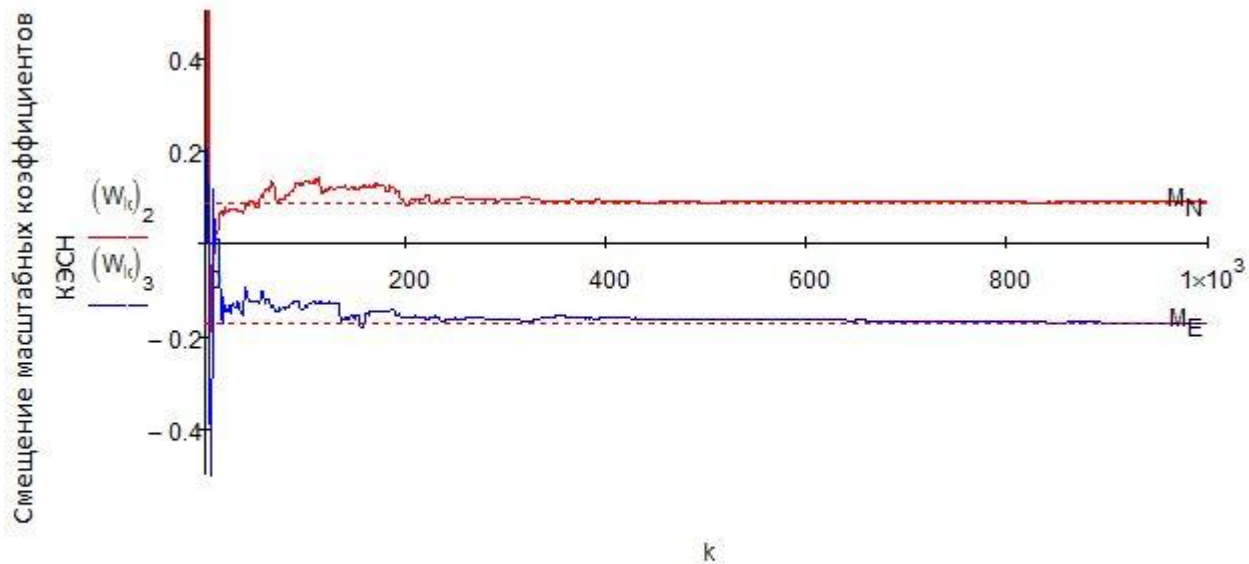


Рис. 3. Оценивание смещений масштабных коэффициентов КЭСН.

Красная непрерывная линия – смещение масштабного коэффициента северной составляющей скорости;  
 Синяя непрерывная линия – смещение масштабного коэффициента восточной составляющей скорости;  
 Пунктирные линии – истинные значения смещений масштабных коэффициентов;  
 k – такт работы фильтра;

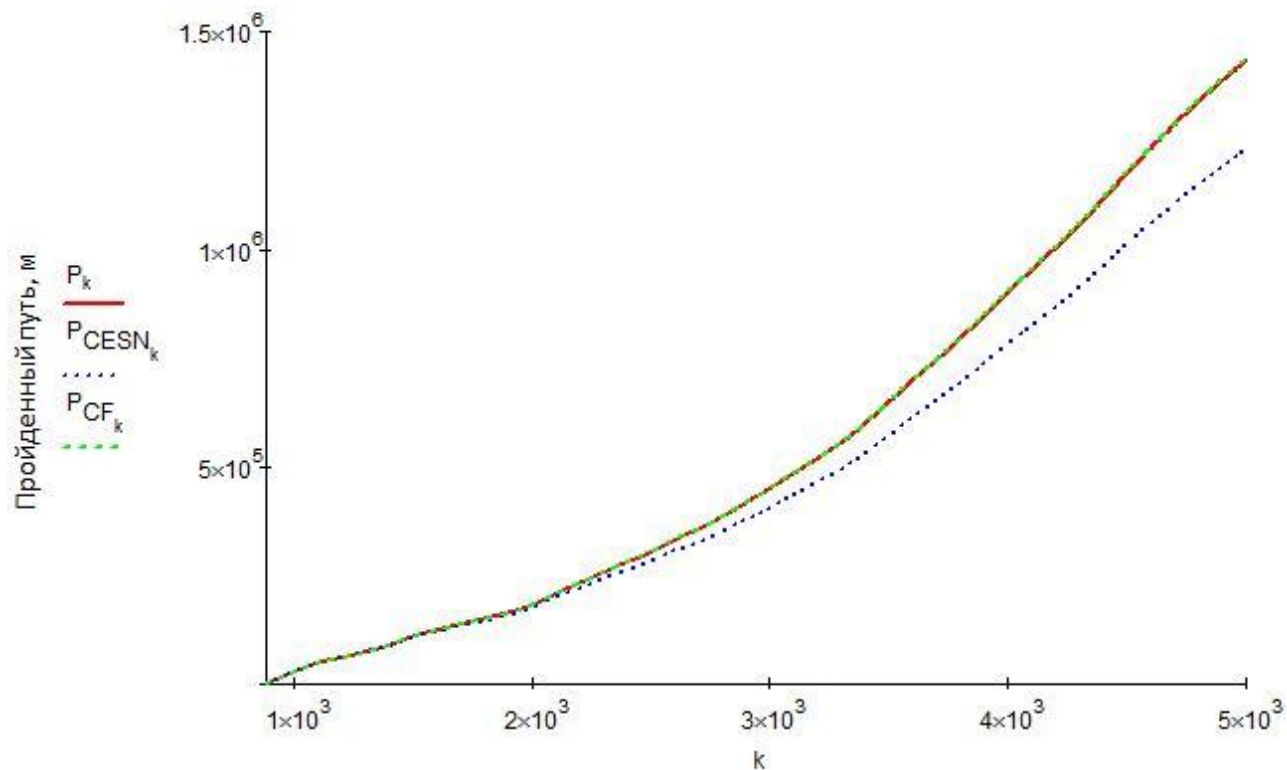


Рис. 4. Истинное перемещение ЛА и его оценки в автономной КЭСН и в интегрированной НС после отключения НАП СРНС.

Красная непрерывная линия – истинное значение пройденного пути;  
 Синяя точечная линия – оценка пройденного пути в автономной КЭСН;  
 Светло зеленая штриховая линия – оценка пройденного пути в интегрированной НС после отключения НАП СРНС;  
 k – такт работы фильтра;

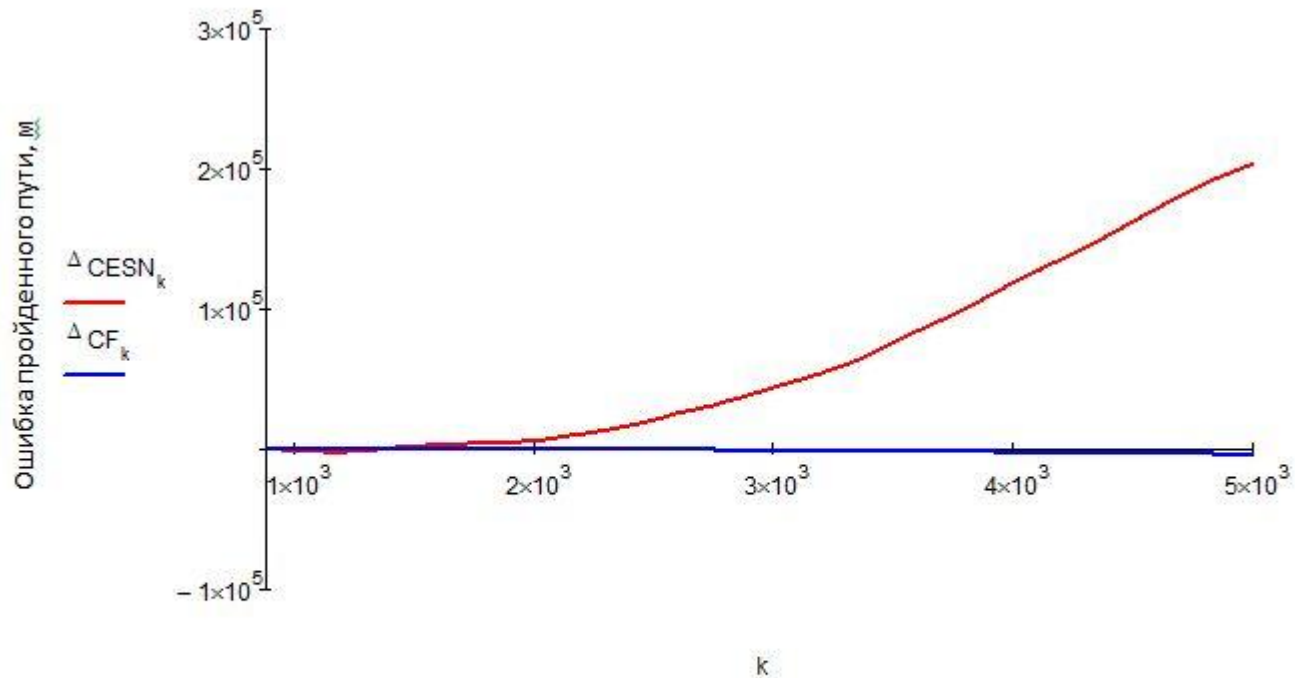


Рис. 5. Ошибка пройденного пути в автономной КЭСН и в интегрированной НС после отключения НАП СРНС.

Красная непрерывная линия – ошибка оценивания пройденного пути в автономной КЭСН;

Синяя непрерывная линия – ошибка оценивания пройденного пути в интегрированной НС после отключения НАП СРНС;

$k$  – такт работы фильтра;

# Преимущества интегрированной НС в сравнении с автономными КЭСН и СРНС

- Повышение точности определения скорости летательного аппарата;
- Возможность определения параметров КЭСН, для последующей коррекции измерений;
- Повышение точности определения координат аппаратурой КЭСН при отключенной НАП СРНС;

# Выводы

Применение комплексной обработки навигационных измерений НАП СРНС и КЭСН позволяет получить выигрыш при определении составляющих скорости летательного аппарата. За счет возможности определения параметров КЭСН в интегрированной НС, повышается точность определения координат в КЭСН при отключенной НАП СРНС, по сравнению с автономной КЭСН. Но для достижения этого, отключению НАП СРНС должен предшествовать этап комплексной обработки НАП СРНС и КЭСН длительностью от 100 до 300 секунд.

Несмотря на принятые допущение в данной работе, была показана общая эффективность данного подхода.