

*Санкт-Петербургский Государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» и ЗАО «ТРАНЗАС»*

Определение характеристик средств активного управления в задачах динамического позиционирования.

Иоселевский А.А.

Степанов А.Д.

Постановка задачи

Определение характеристик упоров ВРШ и НПУ для формирования команд на системы ДАУ ВРШ и НПУ:

- определение необходимых маневров
- разработка алгоритма обработки результатов испытаний

Корабль береговой охраны

Главные размерения:

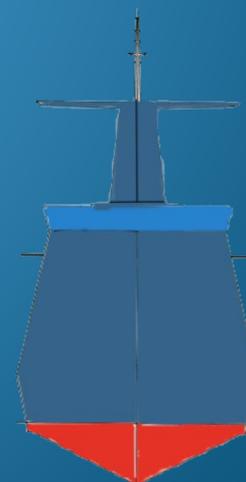
Длина - - - - - $L_{\text{квл}} = 58.50 \text{ м};$

Ширина - - - - - $B_{\text{квл}} = 10.12 \text{ м};$

Осадка - - - - - $T = 2.80 \text{ м};$

Водоизмещение нормальное - - - - - $D = 600 \text{ т.}$

САУ - - - - - 2хВРШ, НПУ



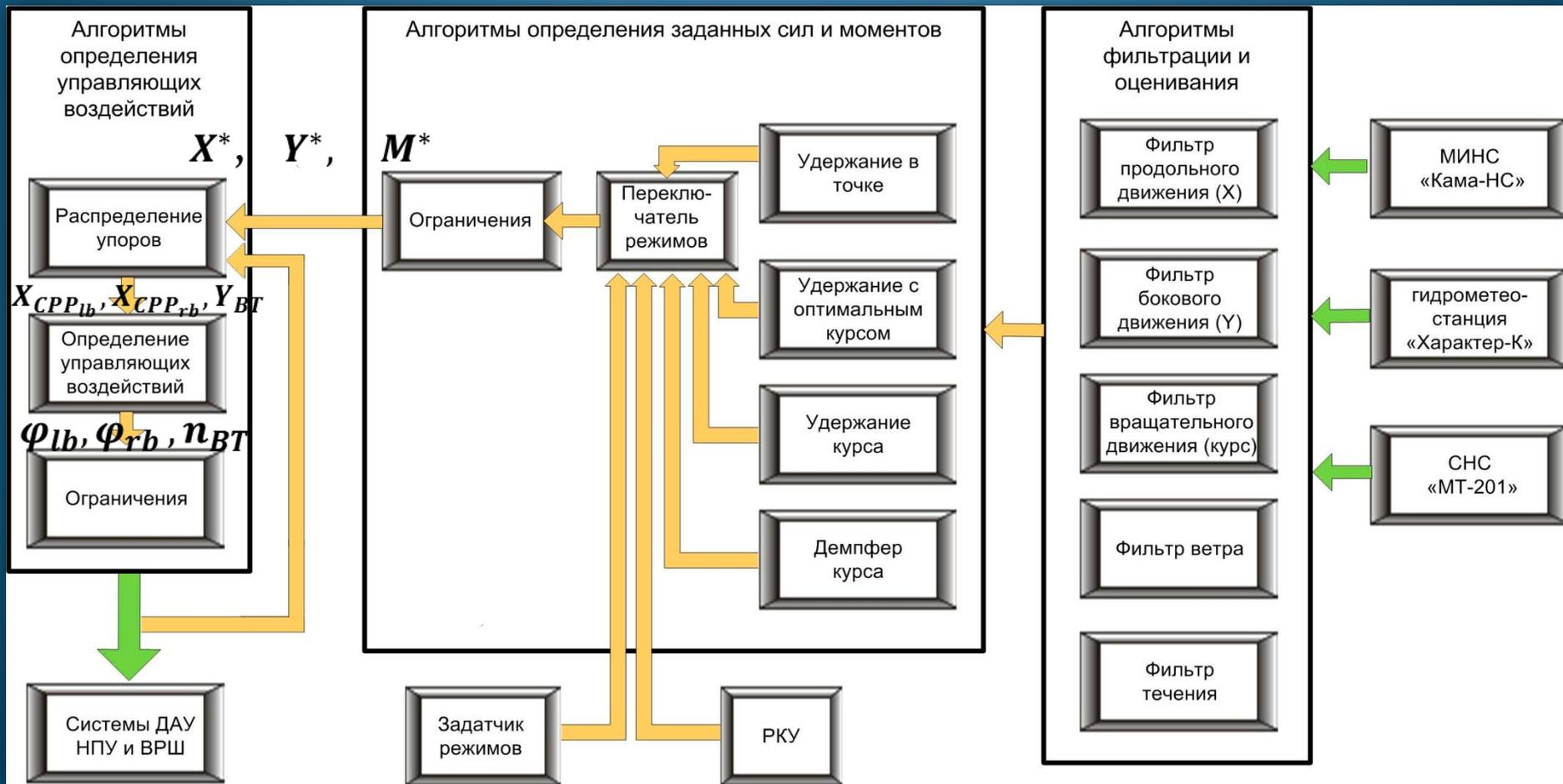
Система СКУ

Система координированного управления (СКУ) предназначена для ручного и автоматического управления движением судна на малых ходах с помощью средств активного управления движением.

Режимы работы СКУ

- удержание на заданном курсе
- удержание в заданной точке с заданным курсом
- удержание в заданной точке с разворотом на ветер

Структура алгоритмического обеспечения СКУ



Алгоритм распределения упоров

$$X_{CPR_{lb}} + X_{CPR_{rb}} = X^*;$$

$$Y_{BT} = Y^*;$$

$$Y_{BT}l_{BT} + l_{CPR}(X_{CPR_{lb}} - X_{CPR_{rb}}) = M^*$$

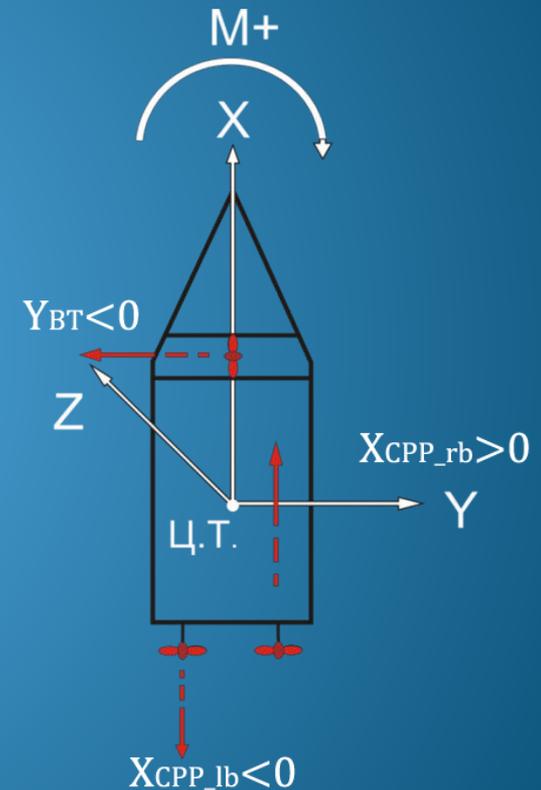
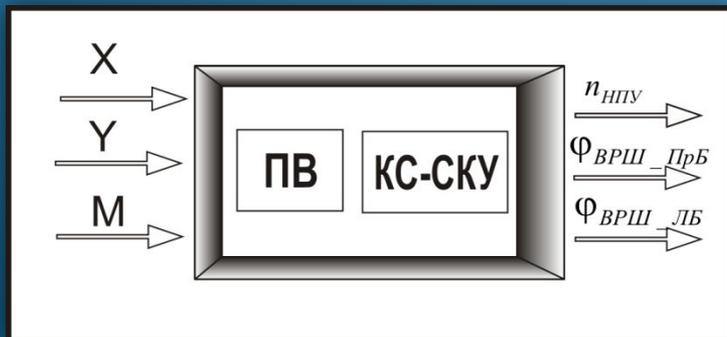
Нахождение управляющих сил органов управления по заданным X^* , Y^* , M^* . Это решение системы уравнений при наличии ограничений на управление.

Ограничения:

$$|Y_{BT}| < Y_{BT_{max}};$$

$$|Y_{BT}| > Y_{BT_{min}};$$

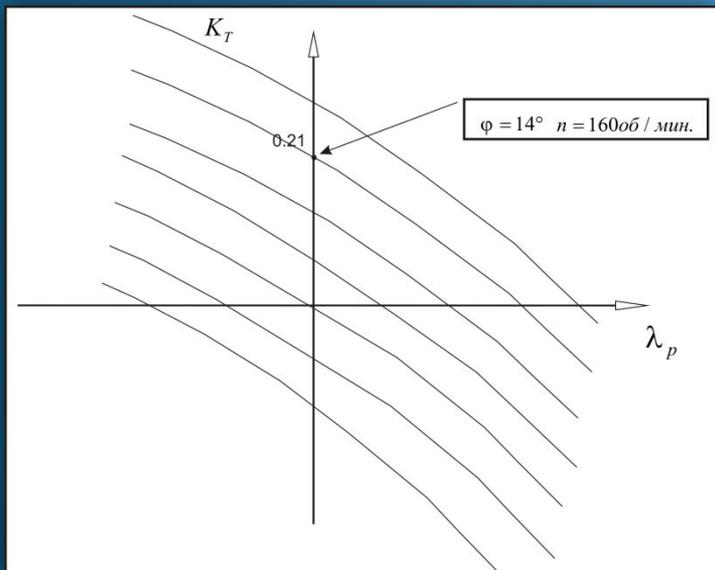
$$X_{CPR_{bw}} < X_{CPR} < X_{CPR_{fw}} \text{ (для каждого борта).}$$



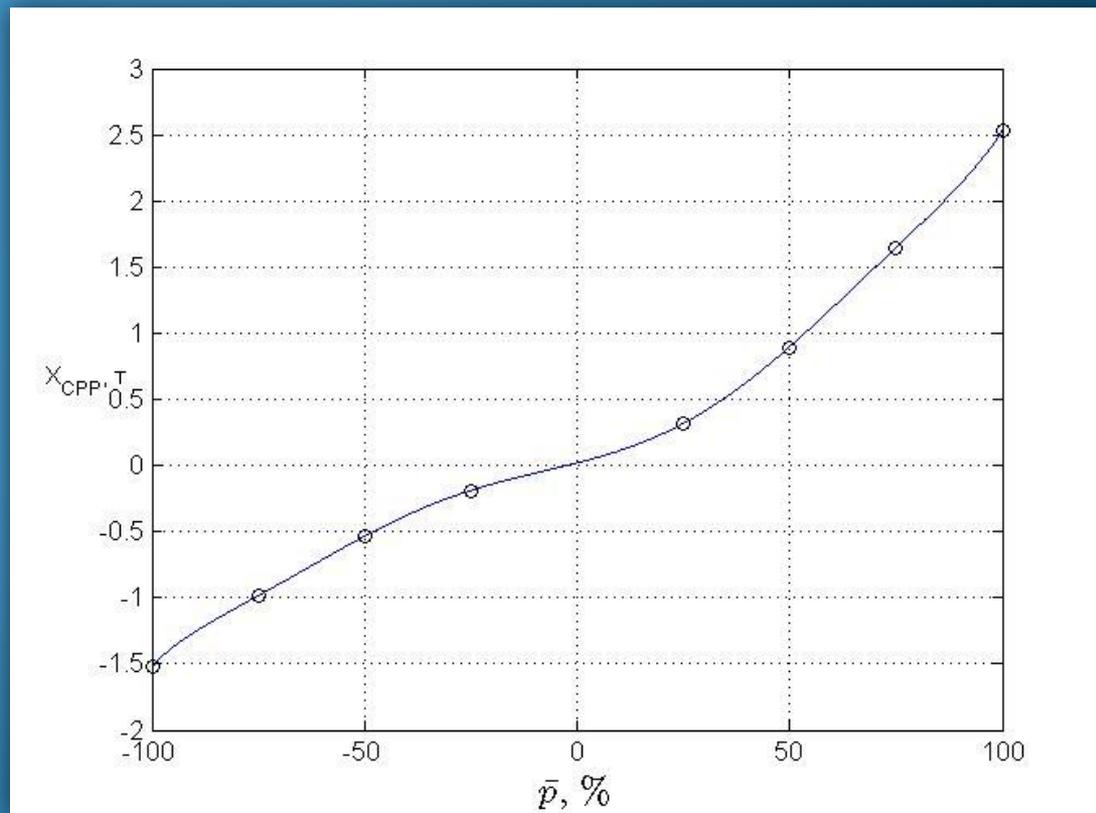
Система координат

Определение упоров ВРШ

$$X_{CPP} = K_T (\lambda_p, \bar{p}) \rho_w n_p^2 D_p^4;$$
$$M_{CPP} = (X_{CPP_{lb}} - X_{CPP_{rb}}) l_{CPP};$$
$$\bar{p} = \frac{p}{D_p}; \quad \lambda_p = \frac{V_x(1-w)}{n_p D_p}$$



Диаграммы ВРШ



Зависимость упора ВРШ от относительного шага ВРШ

$$(m + \lambda_{11})\dot{v}_x = X_H + X_A + 2X_{CPR} + X_R$$

$$X_H = \frac{\rho_w v_x^2}{2} C_x(\beta) S = R(v_x^2)$$

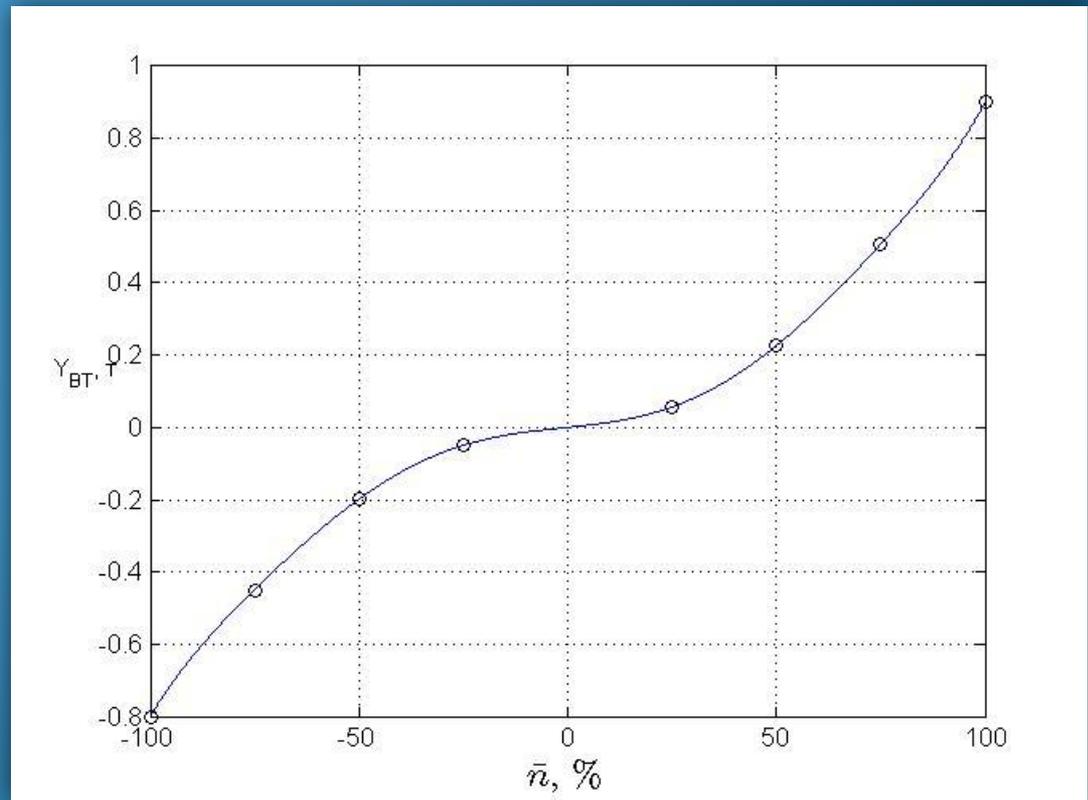
$$(m + \lambda_{11})\dot{v}_x = 2X_{CPR} \text{ при малом } X_H$$

$$X_{CPR} \cong \frac{m + \lambda_{11}}{2} \hat{a}_x$$

$$x, v_x, \varphi_{CPR} \Rightarrow \hat{v}_x \Rightarrow \hat{a}_x$$

Определение упоров НПУ

$$Y_{BT} = K_{BT}(\beta, v_x/v_{BT})n^2;$$
$$K_{BT}(\beta, v_x/v_{BT}) = const;$$
$$Y_{BT} = K_{BT}n^2;$$
$$M_{BT} = Y_{BT}l_{BT}$$



Зависимость упора НПУ
от относительной частоты вращения НПУ

Маневр для определения упоров ВРШ

Проводится 4 серии испытаний при $\bar{p} = 25\%, 50\%, 75\%, 100\%$ на ПХ и на ЗХ. Повтор испытаний на обратном курсе.

Маневр для определения упора НПУ

Проводится 4 серии испытаний при $\bar{n} = 25\%, 50\%, 75\%, 100\%$ на ЛБ и на ПБ.

Маневры для определения соотношения упоров ВРШ и НПУ

$$(m + \lambda_{11})\dot{V}_x = X_H + X_A + 2X_{CPR} + X_R;$$

$$(J_2 + \lambda_{22})\dot{\omega} = M_H + M_A + X_{CPR_{lb}} l_{CPR} - X_{CPR_{rb}} l_{CPR} + Y_{BT} l_{BT}$$

Компенсация момента от НПУ при $\bar{n} = 25\%, 50\%, 75\%, 100\%$ на ЛБ и ПБ обеспечивается

Методы оценки ускорения

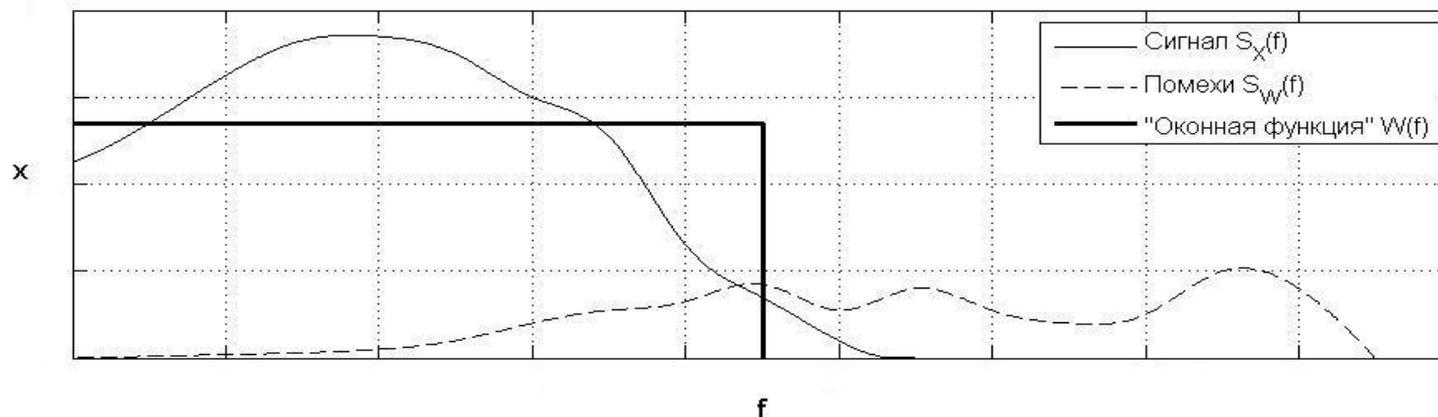
Фильтрация во временной области:

- запаздывание
- необходимость оценивать имеющиеся шумы и возмущения

Фильтрация в частотной области:

- требует постоянного шага измерения
- необходимо выбирать оконную функцию

Выбор оконной функции



Окно	Ширина главного лепестка по уровню половинной мощности	Эквивалентная шумовая полоса	Максимальный уровень боковых лепестков, дБ	Асимптотическая скорость спада боковых лепестков, дБ/октава
Прямоугольное	0.89	1.00	-13.3	-6
Треугольное	1.28	1.33	-26.5	-12
Ханна	1.44	1.50	-31.5	-18
Хемминга	1.30	1.36	-43	-6
Наттолла (R=3)	1.70	1.80	-98	-6

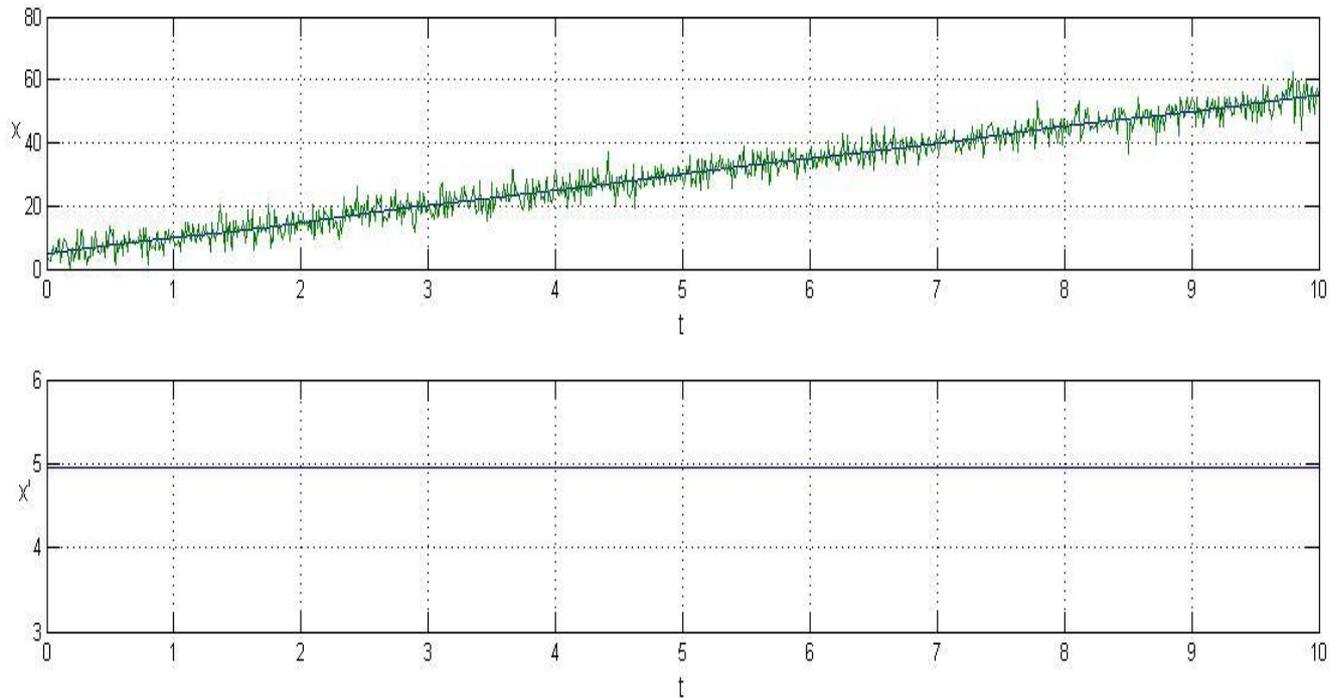
Подготовка сигнала к фильтрации в частотной области

- Преобразование сигнала с целью получения сигнала с постоянным шагом.
- Дополнение сигнала в область отрицательного времени для исключения «скачков на краях».

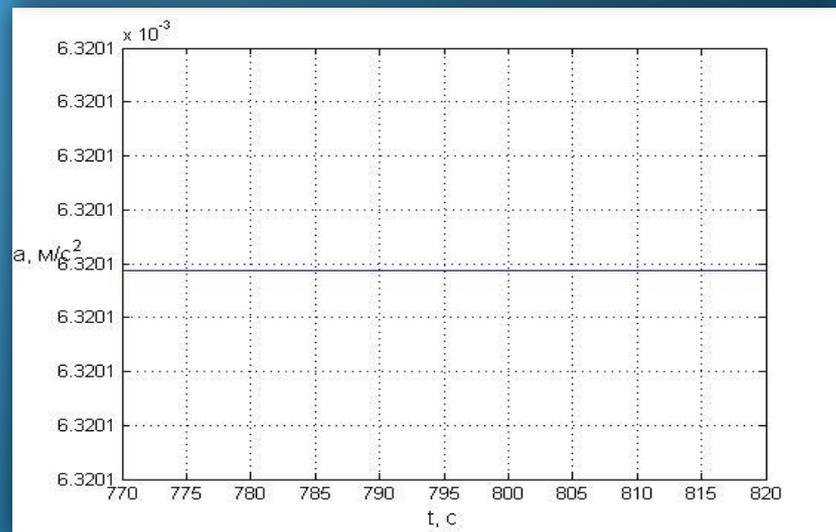
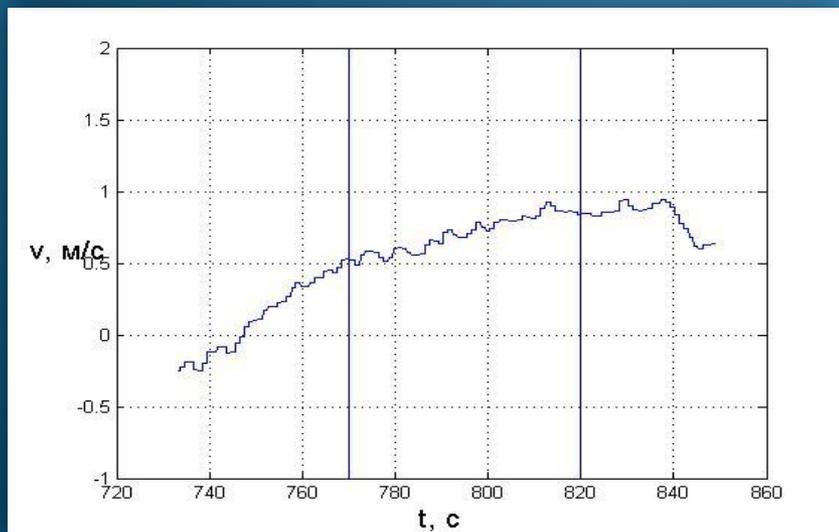
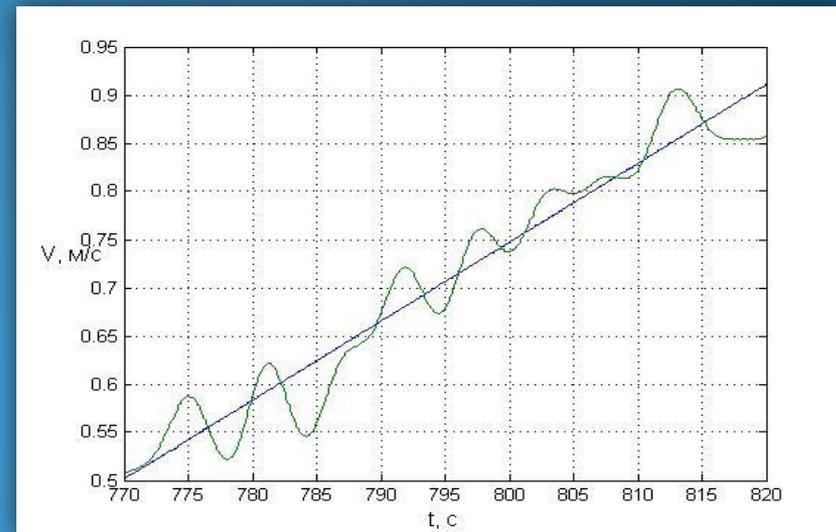
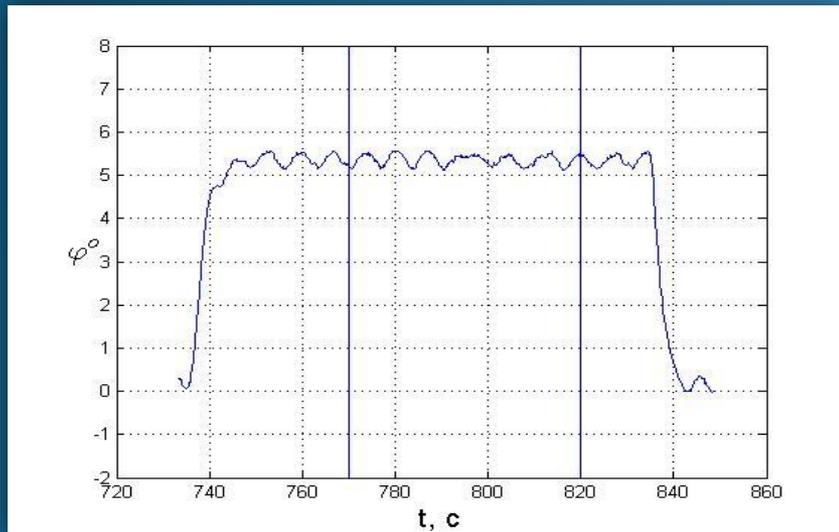
Фильтрация сигнала в частотной области

- Применение преобразования Фурье к сигналу:
$$v(t) \xrightarrow{\text{ПФ}} V(f)$$
- Определение максимальной частоты сигнала и выбор оконной функции $W(f)$: $W(f) = 0, |f| > F_{\text{MAX}}$
- Умножение изображения сигнала на оконную функцию: $\hat{V}(f) = V(f) \cdot W(f)$
- Взятие производной: $\hat{A}(f) = 2\pi \cdot i \cdot f \cdot V(f) \cdot W(f)$
- Переход во временную область: $\hat{a}(t) \quad \hat{v}(t) = \frac{dx}{dt}$

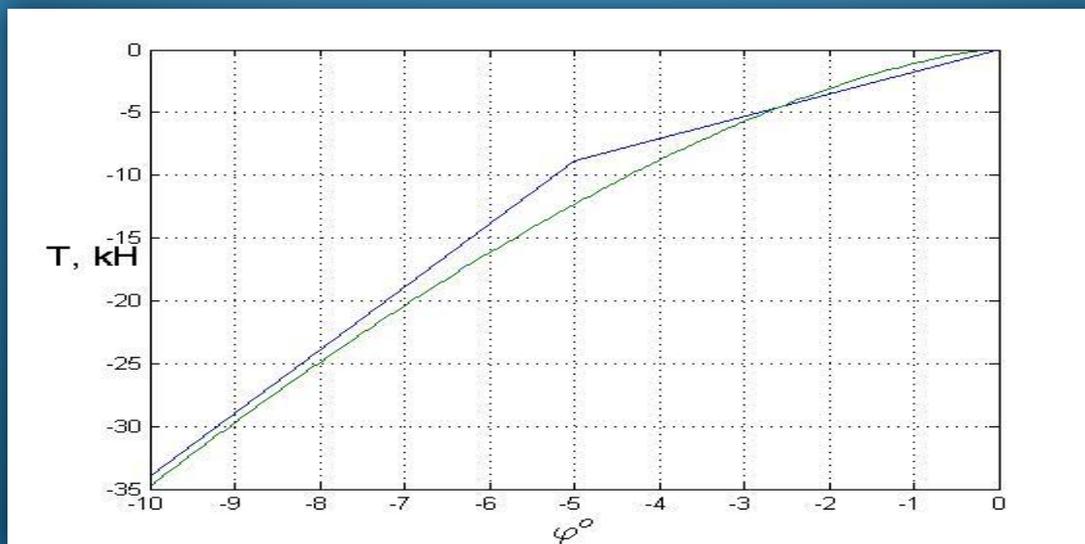
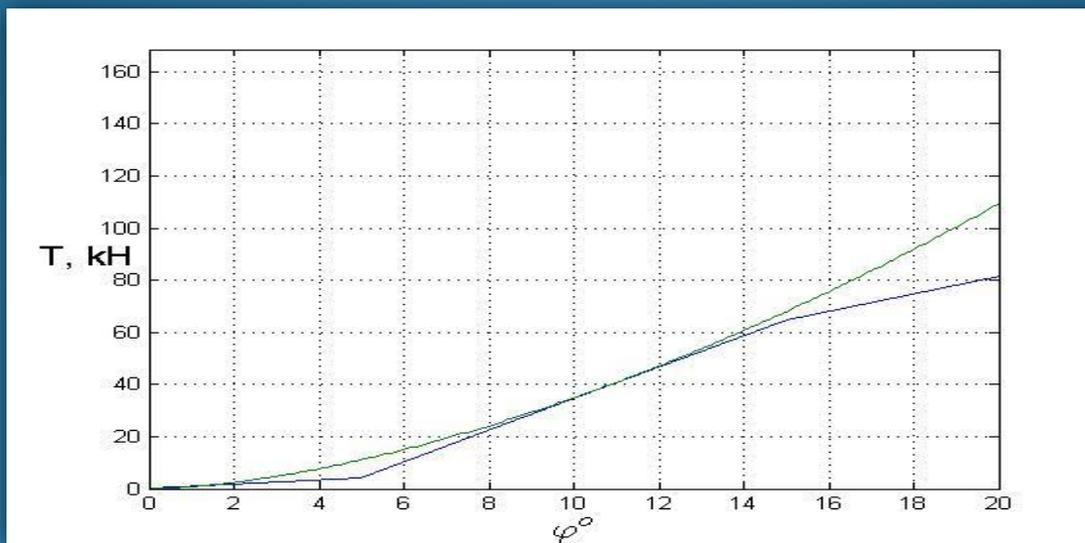
Пример фильтрации в частотной области



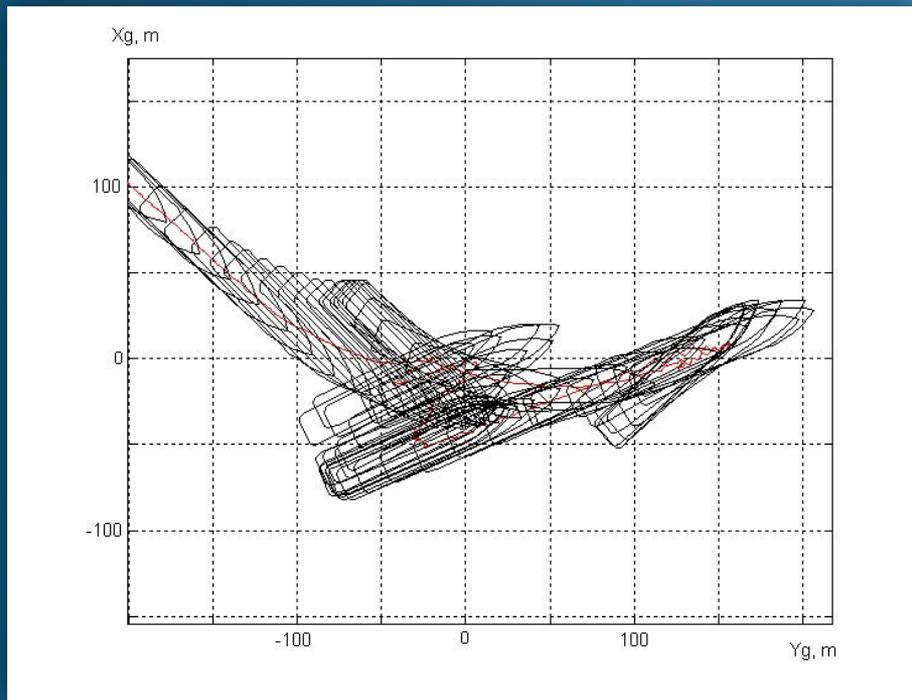
Данные тестовых маневров и результаты обработки



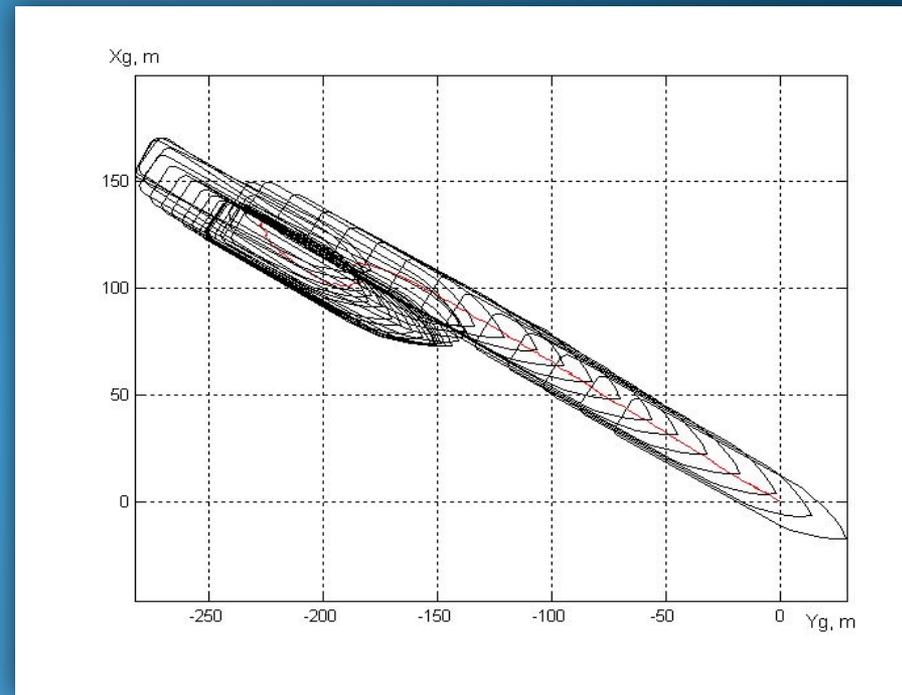
Полученные результаты



Результаты работы СКУ



Траектория движения корабля
в режиме управления
«Удержание точки»

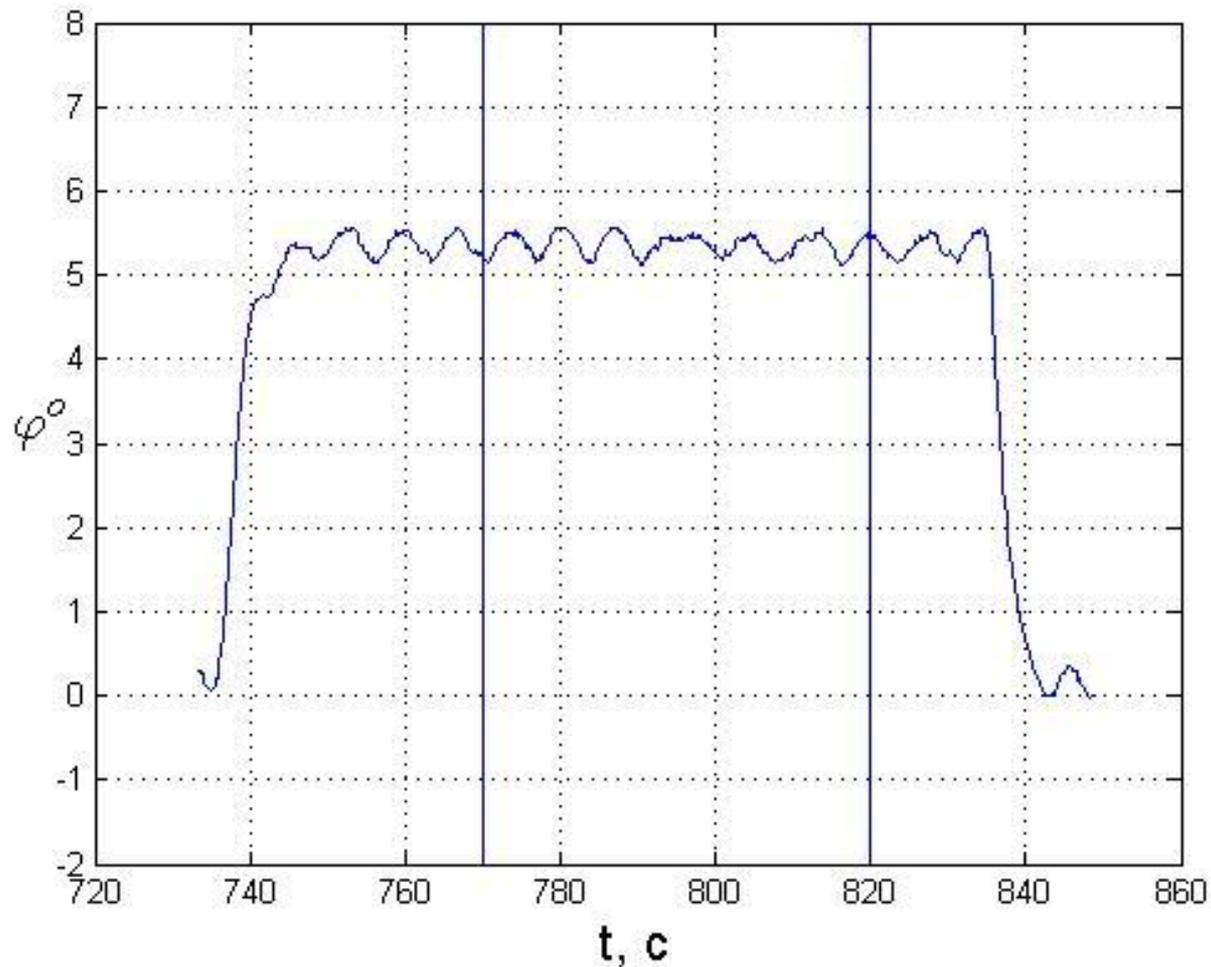


Траектория движения корабля
в режиме управления
«Удержание курса»

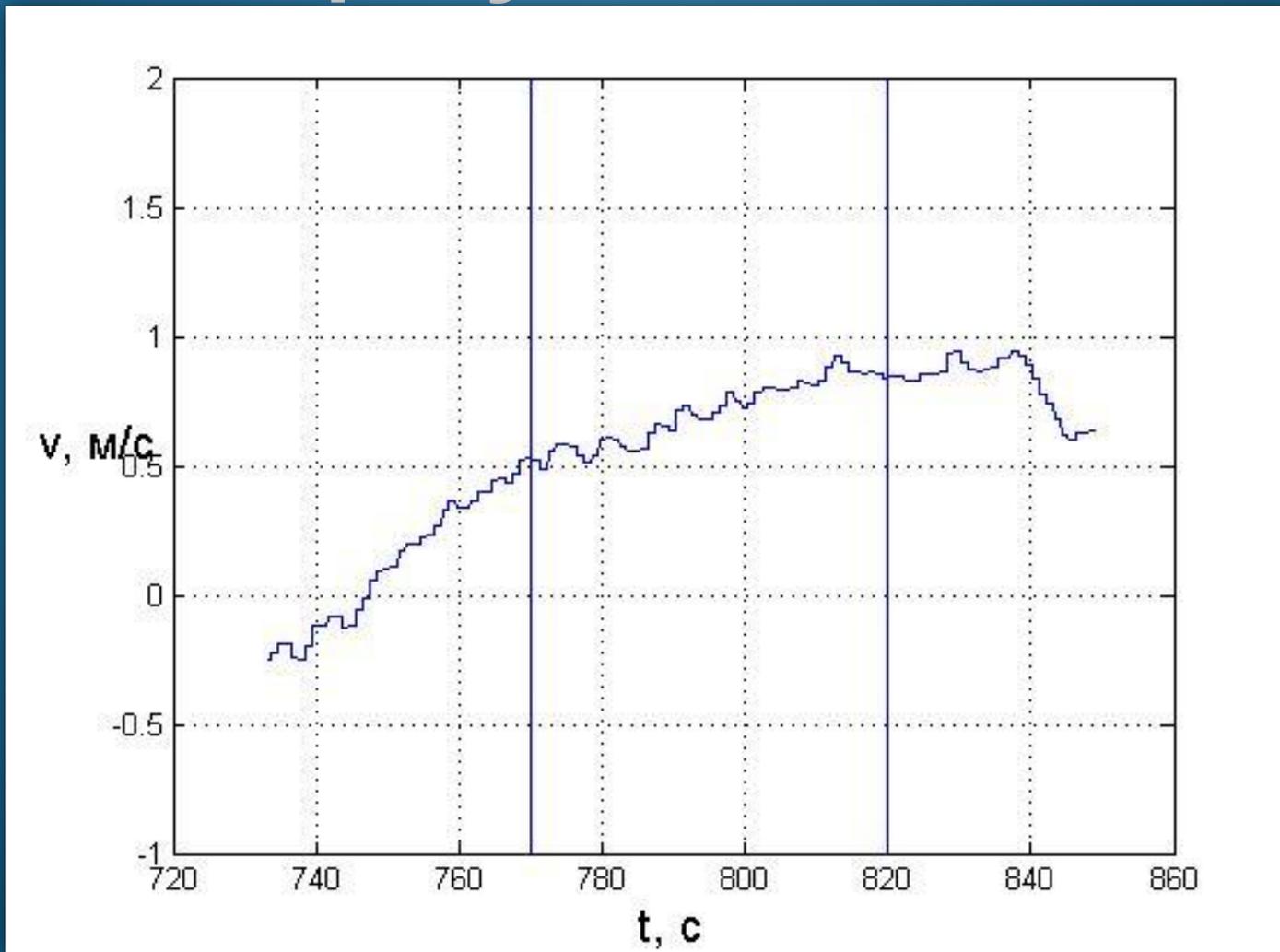
Заключение

- Предложена методика определения упоров ВРШ и НПУ для обеспечения работу СКУ на основе фильтрации сигнала в частотной области.
- Предложены маневры, необходимые для определения характеристик упоров ВРШ и НПУ.
- Приведены полученные результаты.

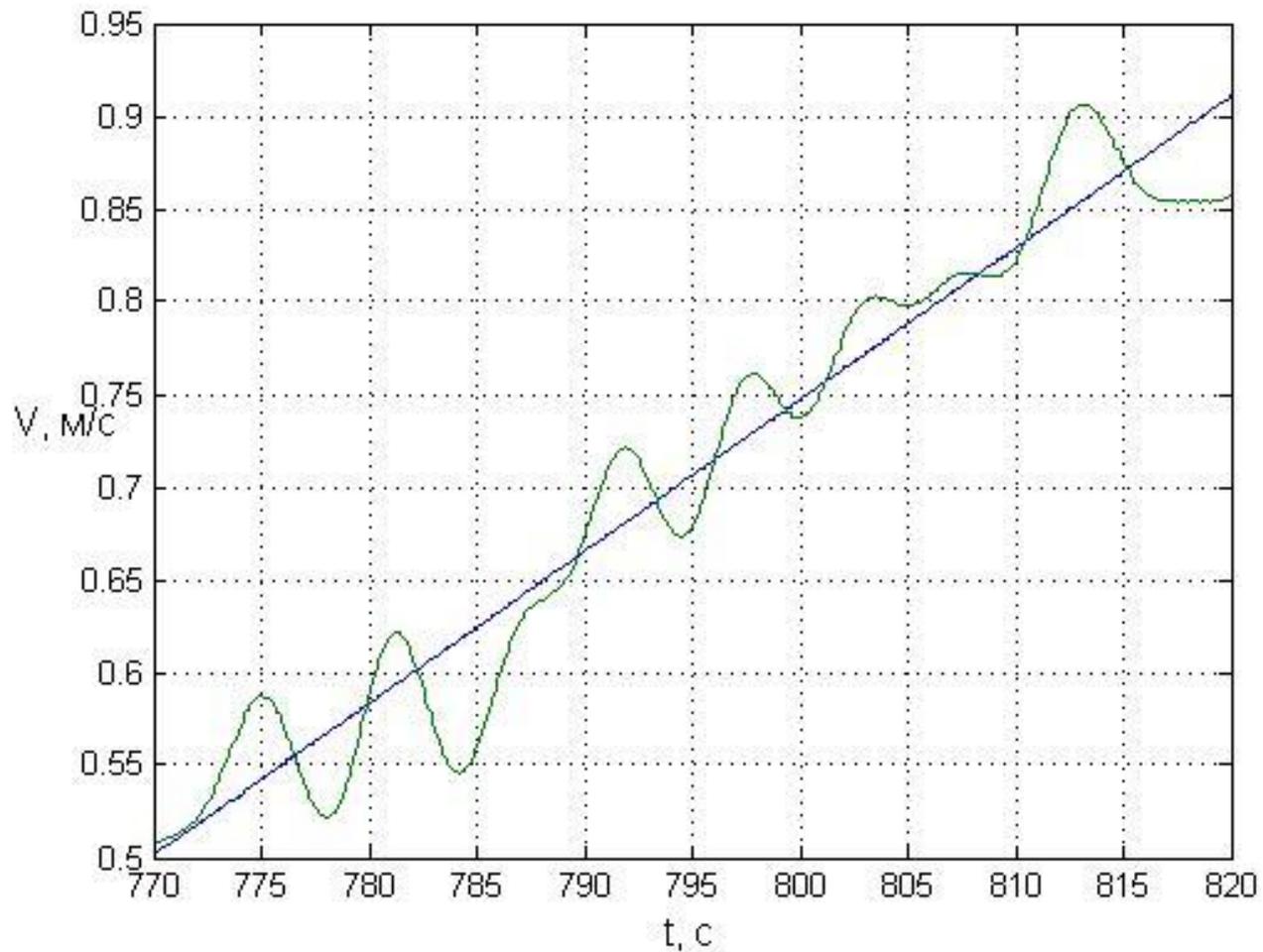
Дополнительные слайды с результатами



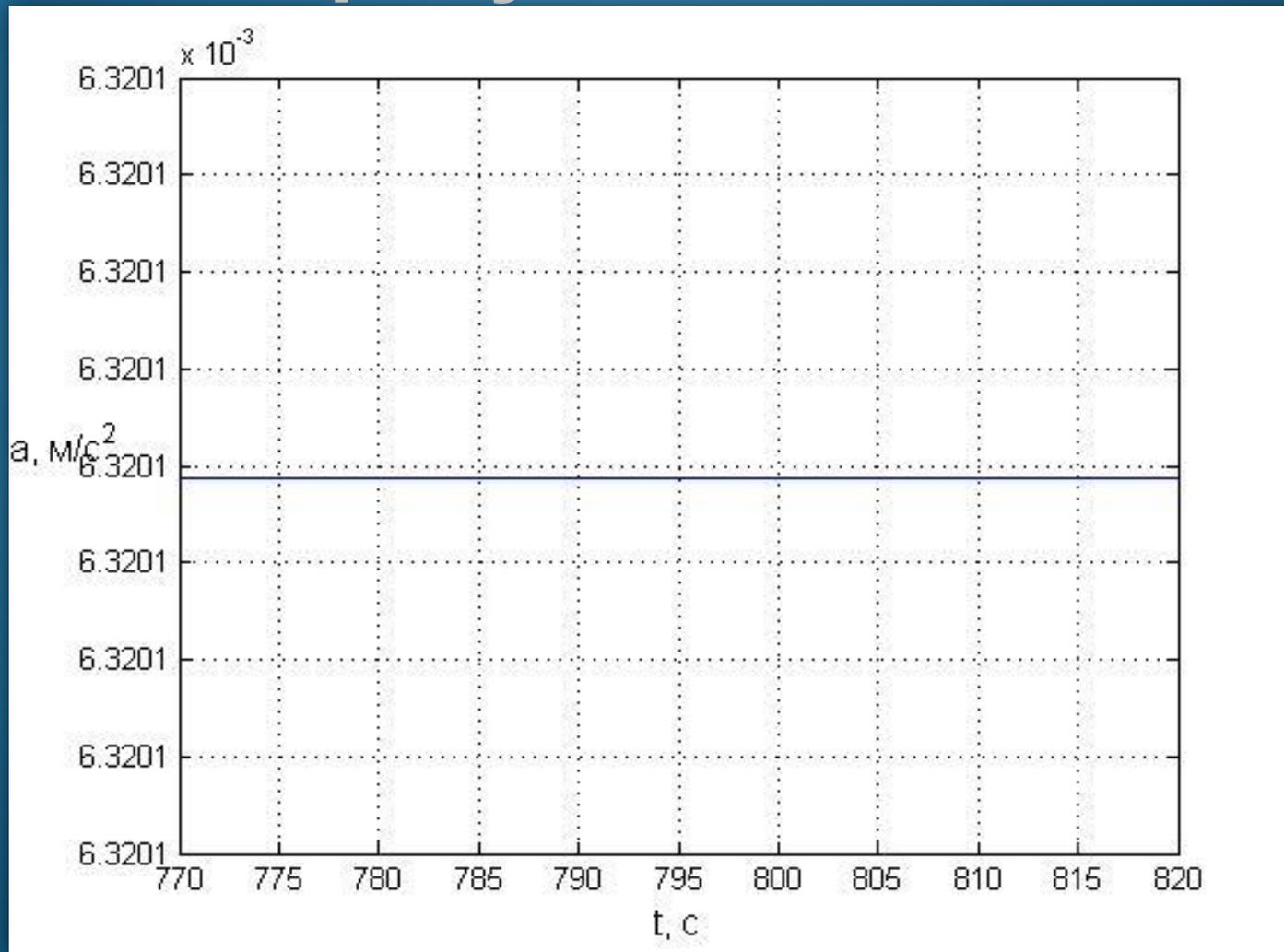
Дополнительные слайды с результатами



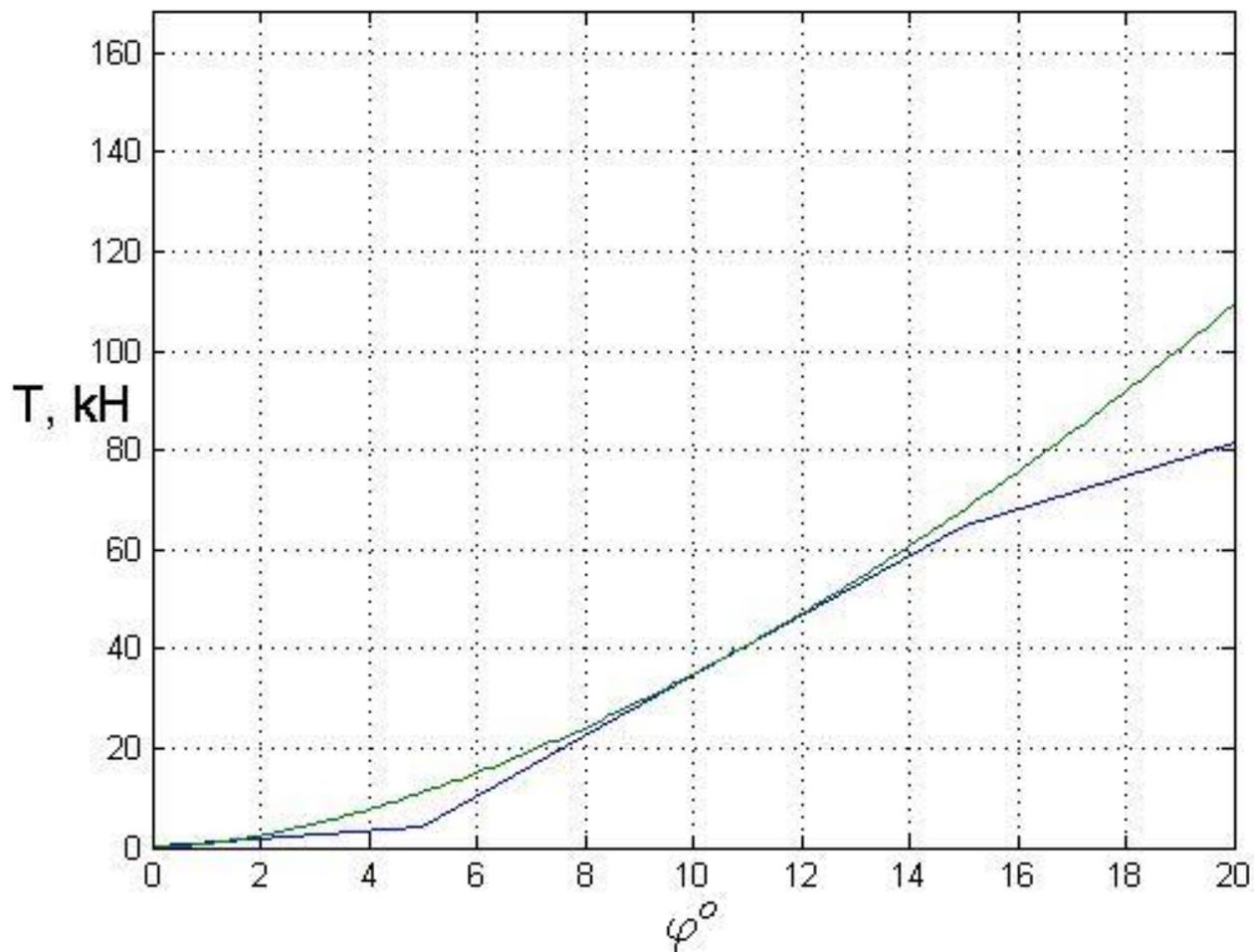
Дополнительные слайды с результатами



Дополнительные слайды с результатами



Дополнительные слайды с результатами



Дополнительные слайды с результатами

