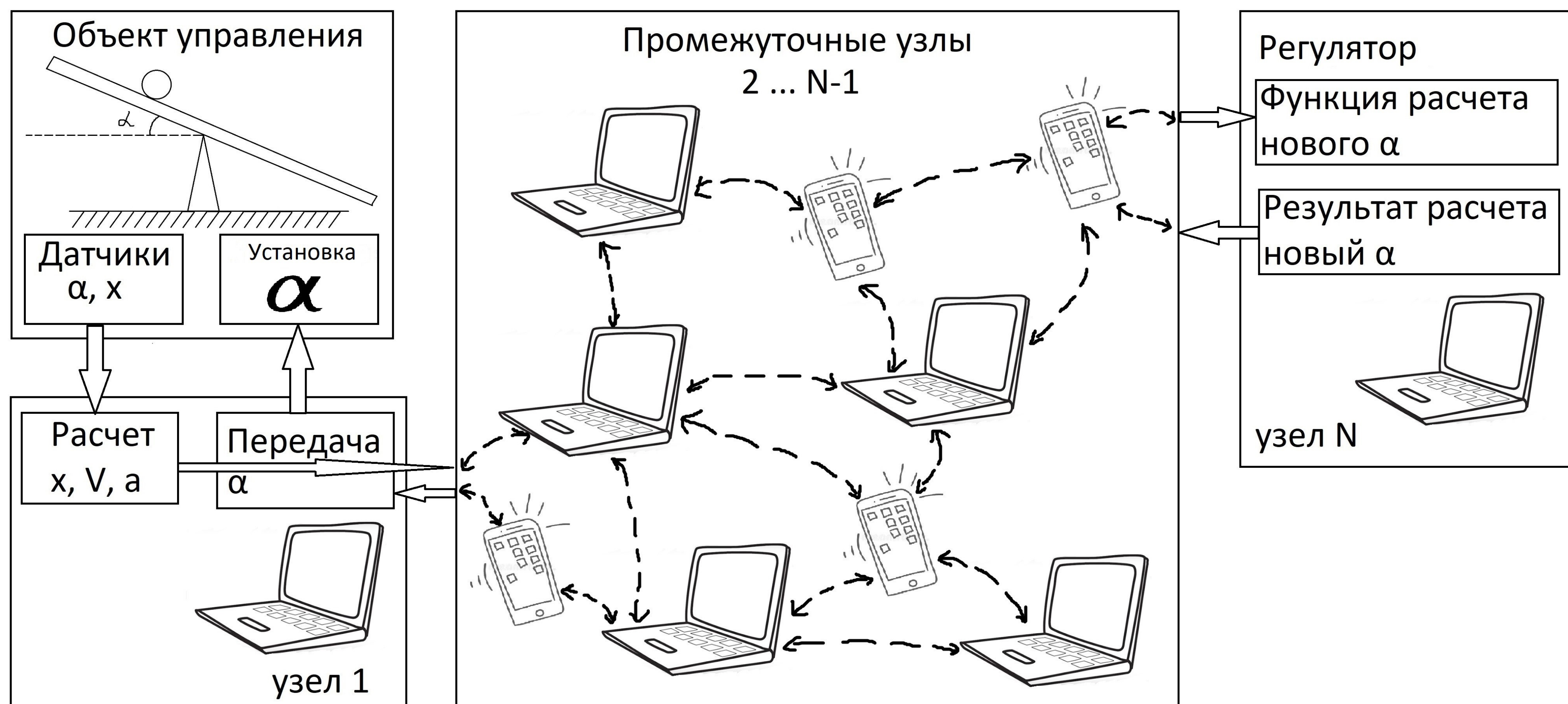


ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОКОЛА МАРШРУТИЗАЦИИ AODV НА КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ

Задачи работы:

- 1) Смоделировать систему управления шариком на балансире;
- 2) Добавить сетевой компонент на основе AD HOC сети и протокола маршрутизации AODV;
- 3) Определить влияние параметров протокола маршрутизации на качество управления.



Требования к качеству

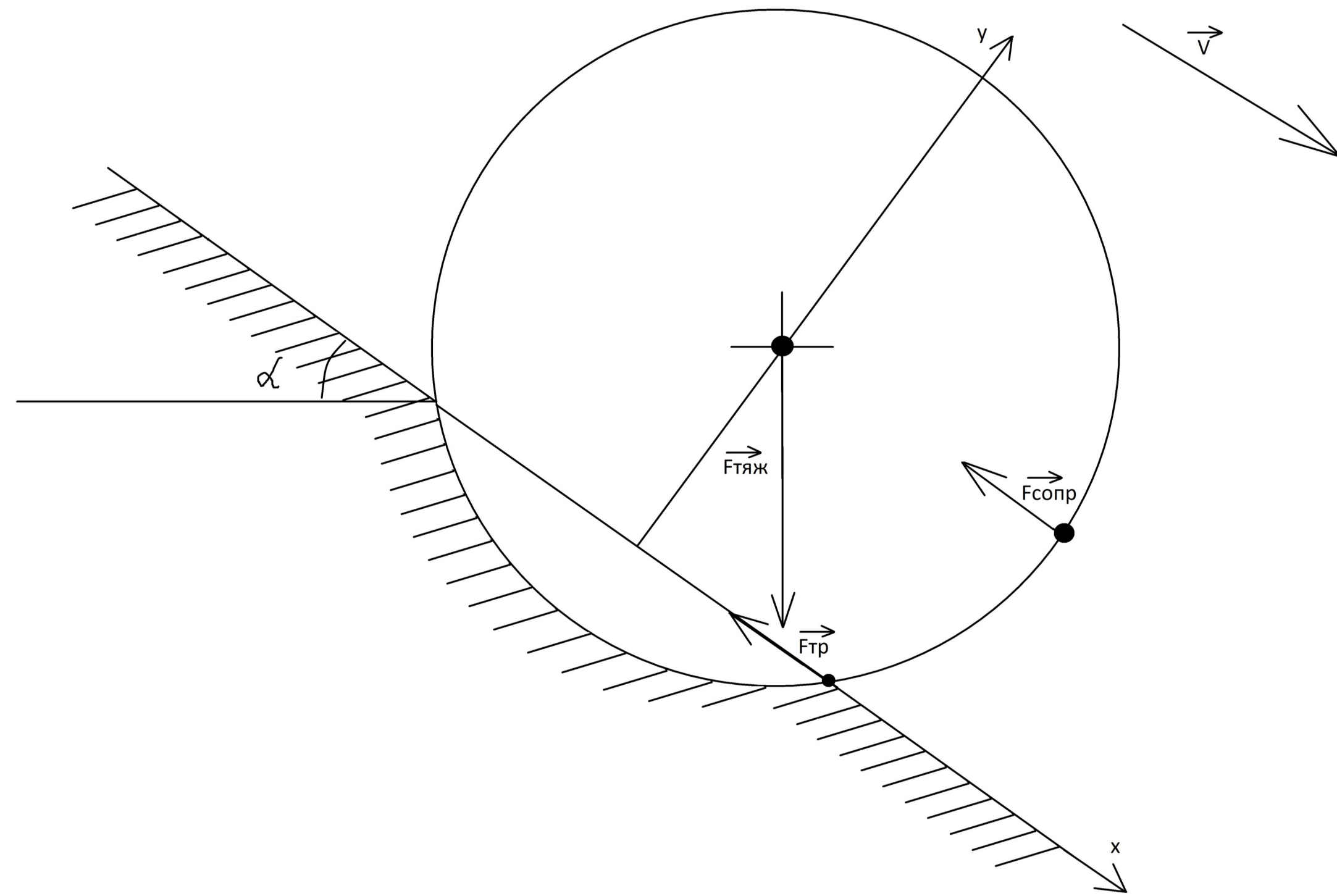
Основные показатели качества:

- 1) $t_{пп}$
- 2) $\sigma\% = \frac{|y_{max} - y_{уст}|}{|y_{уст}|} * 100\%$
- 3) $e(\infty) = y_{жел} - y_{уст}$

Интегральные показатели качества:

- 1) $ЛИО = \int_0^{\infty} (y(t) - y_{жел}) dt$
- 2) $ИМО = \int_0^{\infty} |y(t) - y_{жел}| dt$
- 3) $ИКО = \int_0^{\infty} (y(t) - y_{жел})^2 dt$
- 4) $ИВМО = \int_0^{\infty} t * |y(t) - y_{жел}| dt$
- 5) $ИВКО = \int_0^{\infty} t * (y(t) - y_{жел})^2 dt$

Математическая модель объекта шарик на балансире



$$\begin{aligned} x &= x(t - \Delta t) + v\Delta t \\ v &= v(t - \Delta t) + a\Delta t \end{aligned}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$$\vec{F} = \vec{F}_{\text{тяж}} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{F}_{\text{сопр}}$$

$$F_{\text{тяж}} = mg * \sin \alpha$$

$$F_{\text{тр}} = \frac{k}{R} mg * \cos \alpha$$

$$F_{\text{сопр}} = \frac{1}{2} C_x \rho_{\text{возд}} S v^2$$

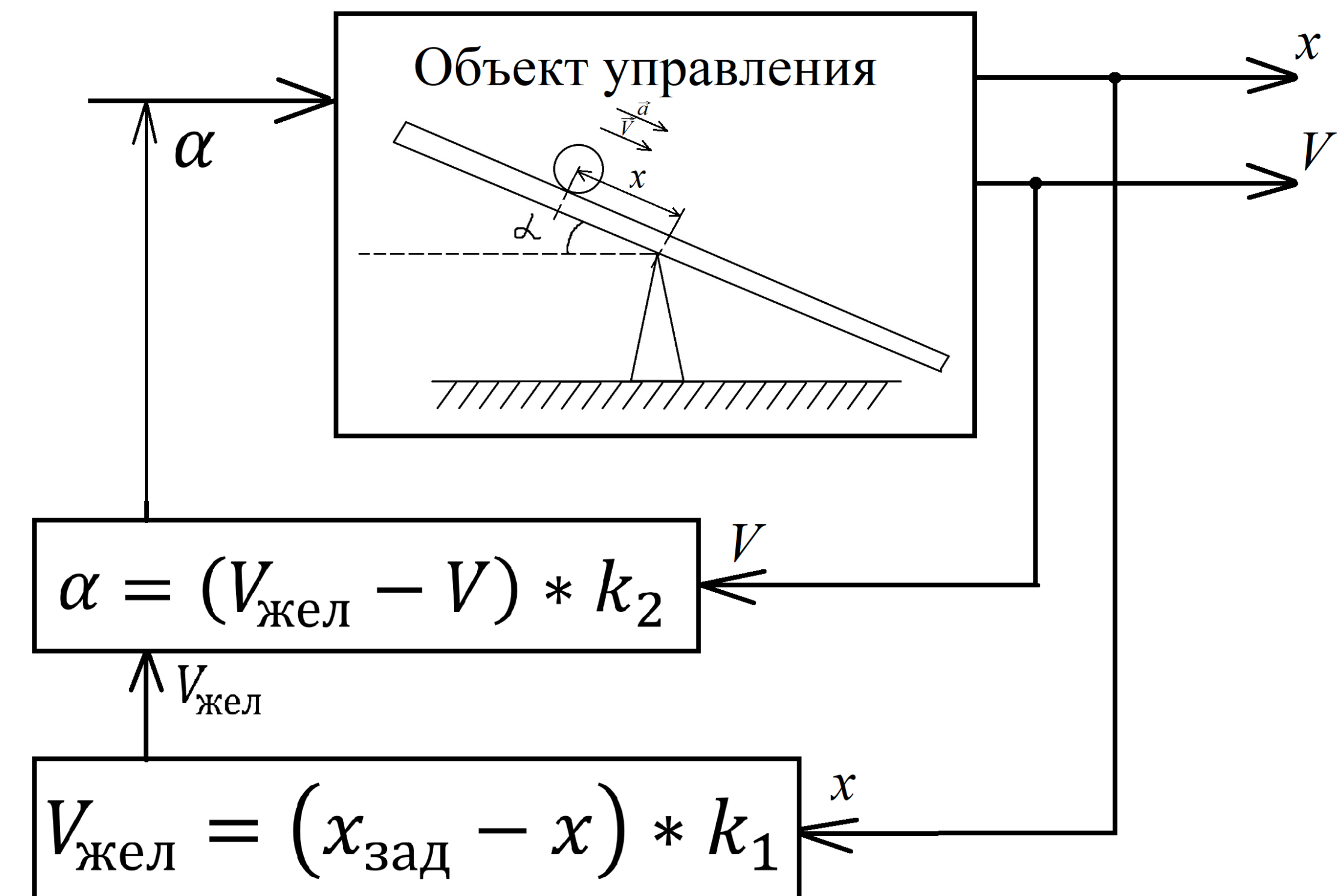
$$a = g * \sin \alpha - \frac{k}{R} g * \cos \alpha - \frac{3 C_x \rho_{\text{возд}} v^2}{2 \rho_{\text{ст}} R}$$

Реализация регуляторов в контуре управления

Логический регулятор

$$\alpha(t) = \begin{cases} \alpha(t - \Delta t), & \text{если } |x - x_{\text{зад}}| > X_1 \text{ и } |V| > V_1 \text{ и } \begin{cases} V > 0 \text{ и } x < x_{\text{зад}} \\ V < 0 \text{ и } x > x_{\text{зад}} \end{cases} \\ -\alpha(t - \Delta t), & \text{если } |x - x_{\text{зад}}| > X_1 \text{ и } |V| > V_1 \text{ и } \begin{cases} V > 0 \text{ и } x > x_{\text{зад}} \\ V < 0 \text{ и } x < x_{\text{зад}} \end{cases} \\ k_1, & \text{если } |x - x_{\text{зад}}| > X_1 \text{ и } |V| \leq V_1 \text{ и } x < x_{\text{зад}} \\ -k_1, & \text{если } |x - x_{\text{зад}}| > X_1 \text{ и } |V| \leq V_1 \text{ и } x > x_{\text{зад}} \\ -\alpha(t - \Delta t), & \text{если } |x - x_{\text{зад}}| \leq X_1 \text{ и } |V| > V_1 \text{ и } \begin{cases} V > 0 \text{ и } x < x_{\text{зад}} \\ V < 0 \text{ и } x > x_{\text{зад}} \end{cases} \text{ и } |a| \leq A_1 \\ 0, & \text{если } |x - x_{\text{зад}}| \leq X_1 \text{ и } |V| > V_1 \text{ и } \begin{cases} V > 0 \text{ и } x < x_{\text{зад}} \\ V < 0 \text{ и } x > x_{\text{зад}} \end{cases} \text{ и } a > A_1 \\ \alpha(t - \Delta t), & \text{если } |x - x_{\text{зад}}| \leq X_1 \text{ и } |V| > V_1 \text{ и } \begin{cases} V > 0 \text{ и } x < x_{\text{зад}} \\ V < 0 \text{ и } x > x_{\text{зад}} \end{cases} \text{ и } a < -A_1 \\ \alpha(t - \Delta t), & \text{если } |x - x_{\text{зад}}| \leq X_1 \text{ и } |V| > V_1 \text{ и } \begin{cases} V > 0 \text{ и } x > x_{\text{зад}} \\ V < 0 \text{ и } x < x_{\text{зад}} \end{cases} \\ 0, & \text{если } |x - x_{\text{зад}}| \leq X_1 \text{ и } |V| \leq V_1 \text{ и } |x - x_{\text{зад}}| \leq X_2 \\ k_2, & \text{если } |x - x_{\text{зад}}| \leq X_1 \text{ и } |V| \leq V_1 \text{ и } x < x_{\text{зад}} \\ -k_2, & \text{если } |x - x_{\text{зад}}| \leq X_1 \text{ и } |V| \leq V_1 \text{ и } x > x_{\text{зад}} \end{cases}$$

Каскадный регулятор



Результаты экспериментов

Эксперимент №1

Подобраны коэффициенты регуляторов. Выбраны крайние состояния системы, в которых получаются лучшие и худшие показатели качества: при $\alpha = 50^\circ$ и $\alpha = 3^\circ$ соответственно. $X = -2$ в обоих случаях.

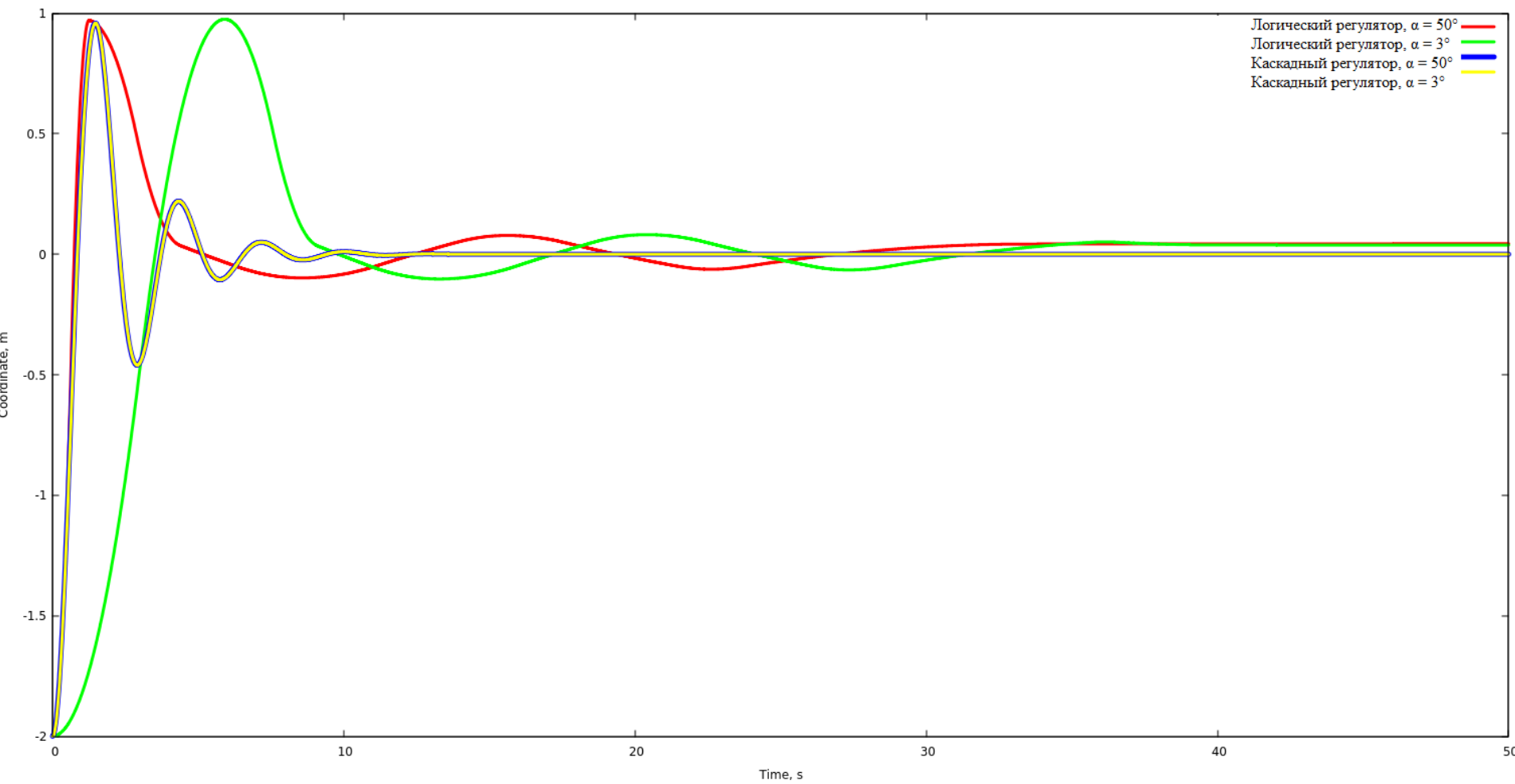


График переходных процессов для объекта и регулятора на одном устройстве

Эксперимент №2

Моделирование системы управления в NS-3. В системе появились задержки, но это не сказалось на качестве управления. При установке соединения задержка составила 0,024 с; среднее значение от 0,0007 до 0,0015 с.

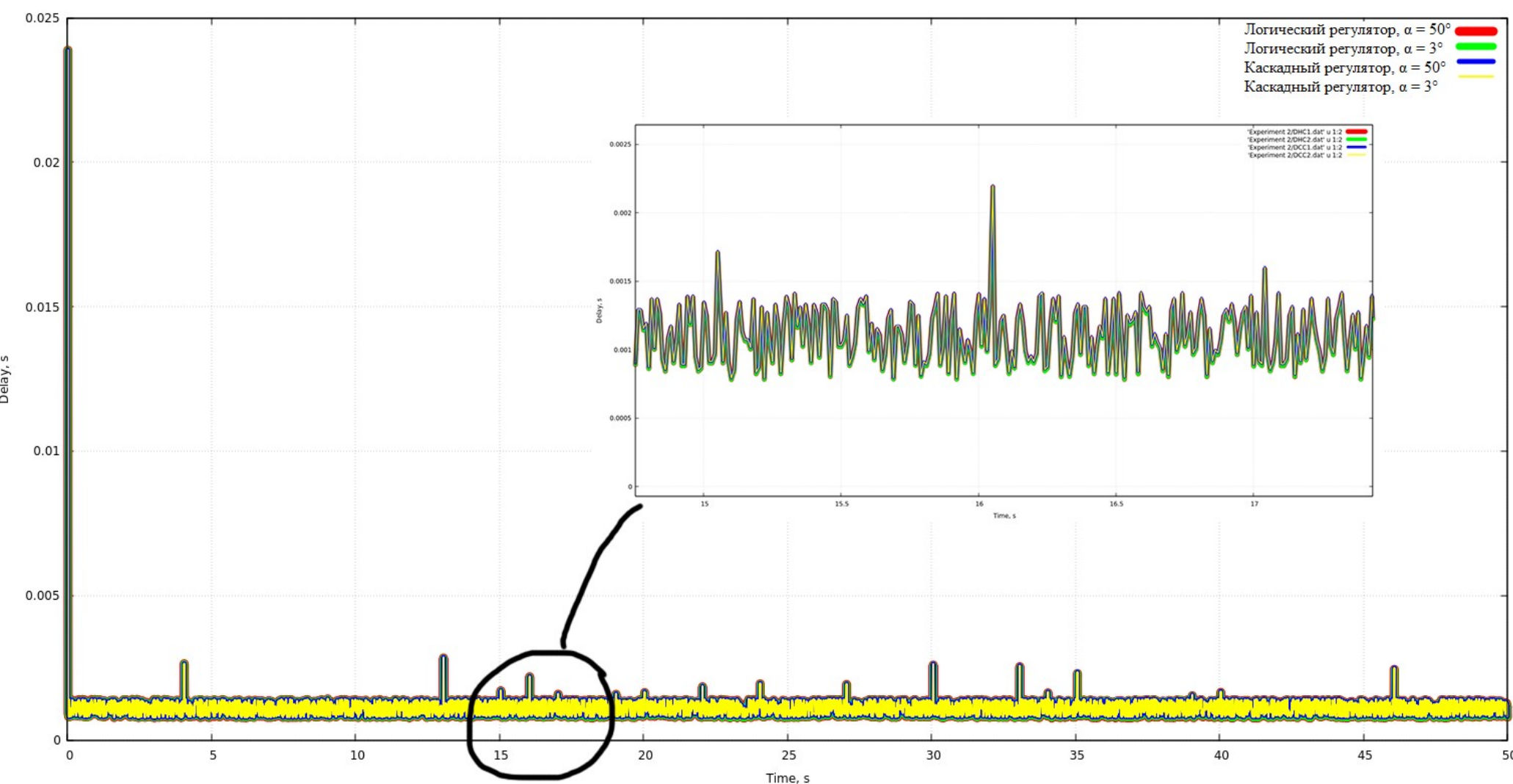


График задержек для системы из двух узлов на расстоянии 10 метров

Эксперимент №3

Добавление подвижности узлов. Появились случайные задержки большей величины, но это не сказалось на качестве управления.

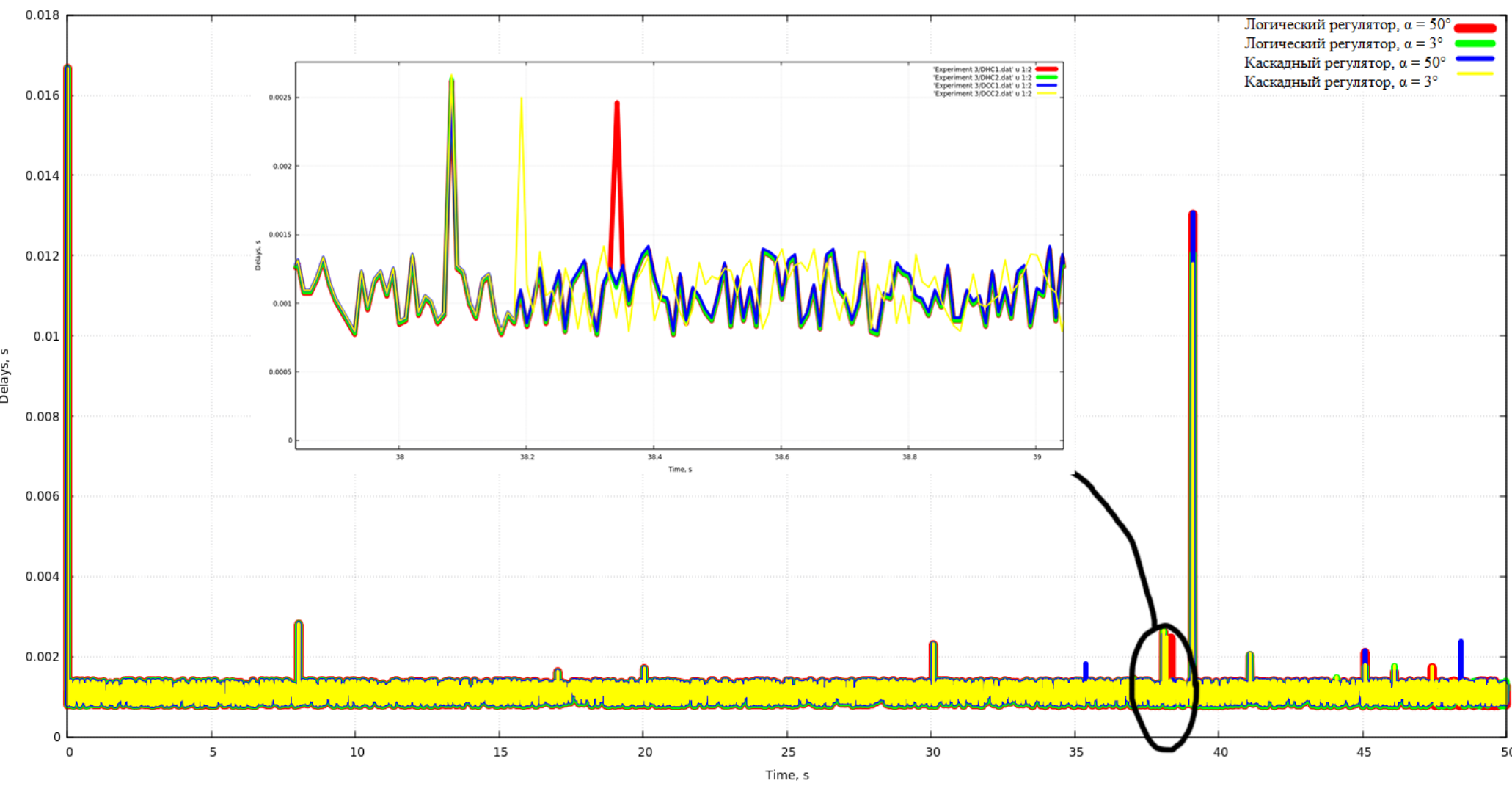


График задержек для системы из двух подвижных узлов

Эксперимент №4

Увеличение количества узлов. При количестве узлов от 2 до 10 показатели качества системы не изменялись. При добавлении более 10 узлов система не удовлетворяла заданным требованиям и даже становилась неустойчивой.

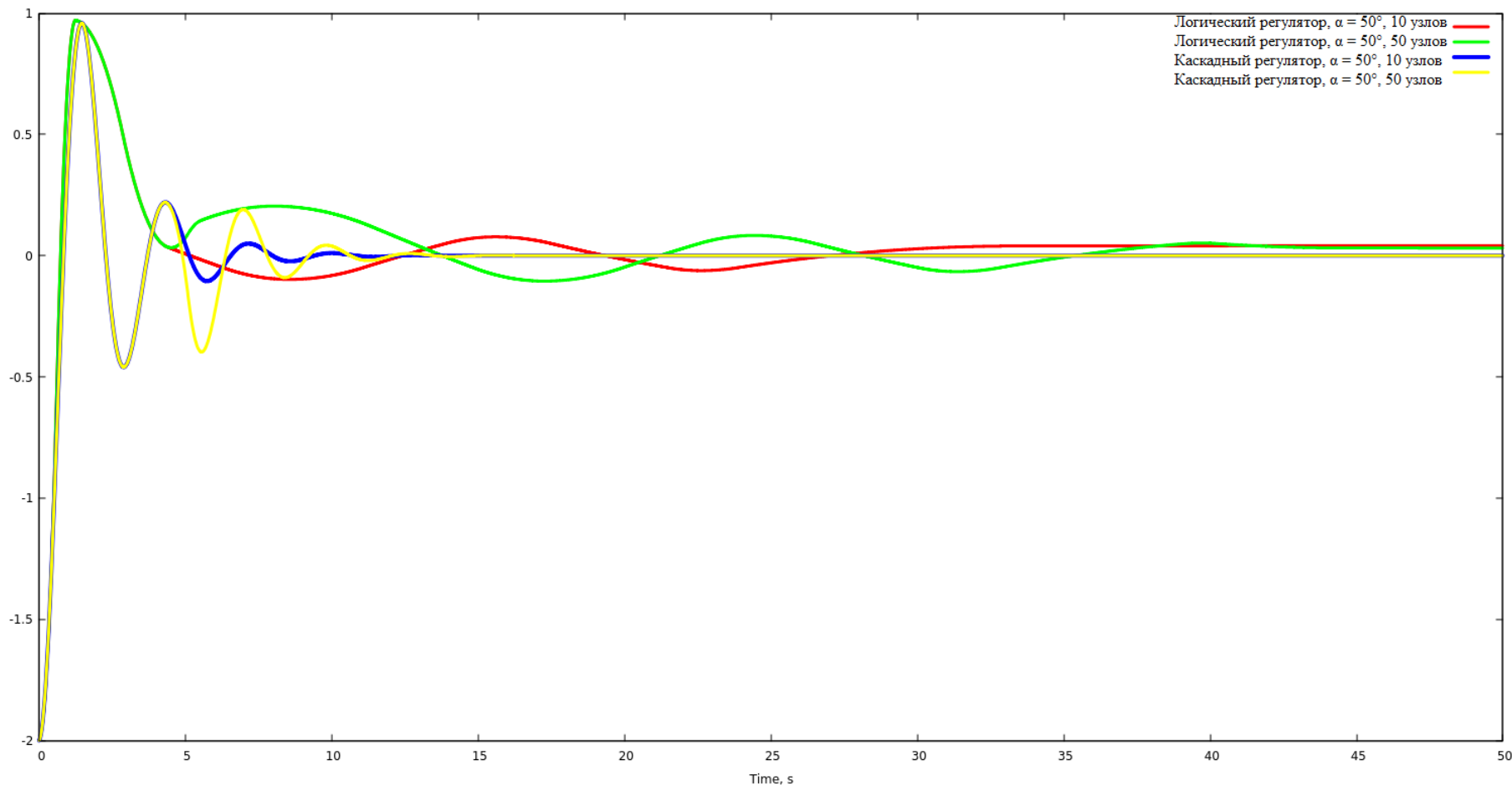


График переходных процессов для 10 и 50 узлов при изначально лучших показателях качества переходных процессов

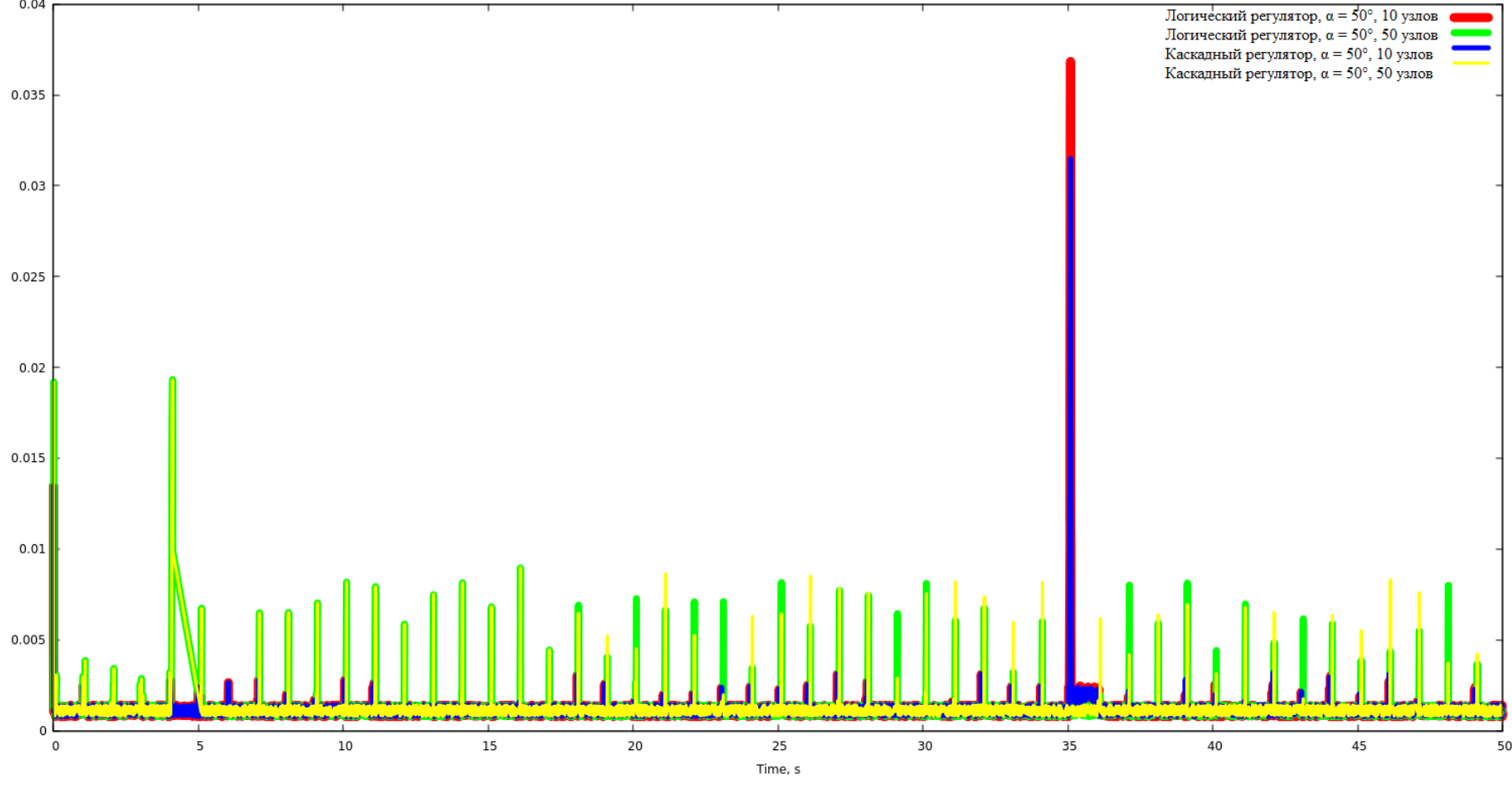


График задержек для 10 и 50 узлов при изначально лучших показателях качества переходных процессов

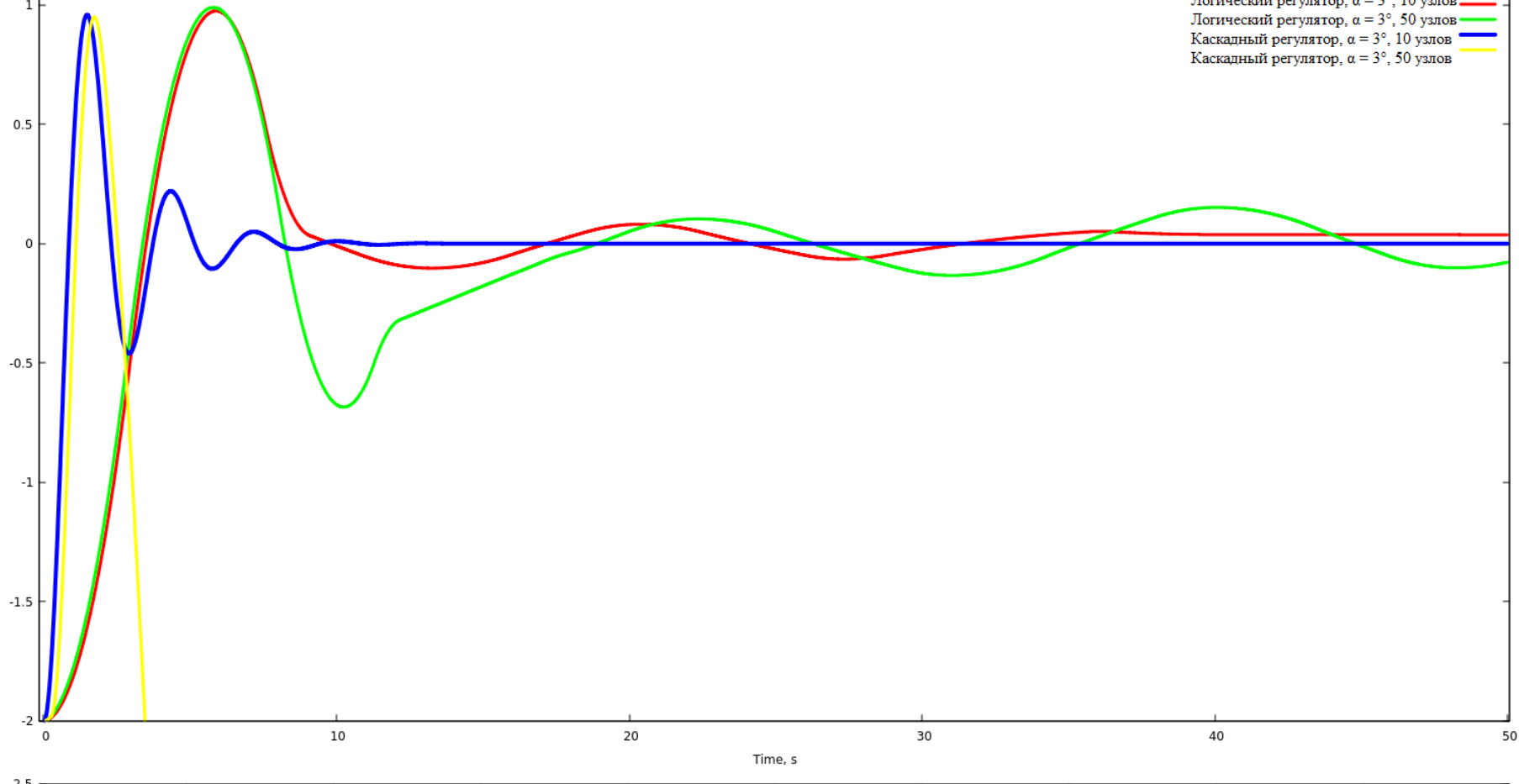


График переходных процессов для 10 и 50 узлов при изначально худших показателях качества переходных процессов

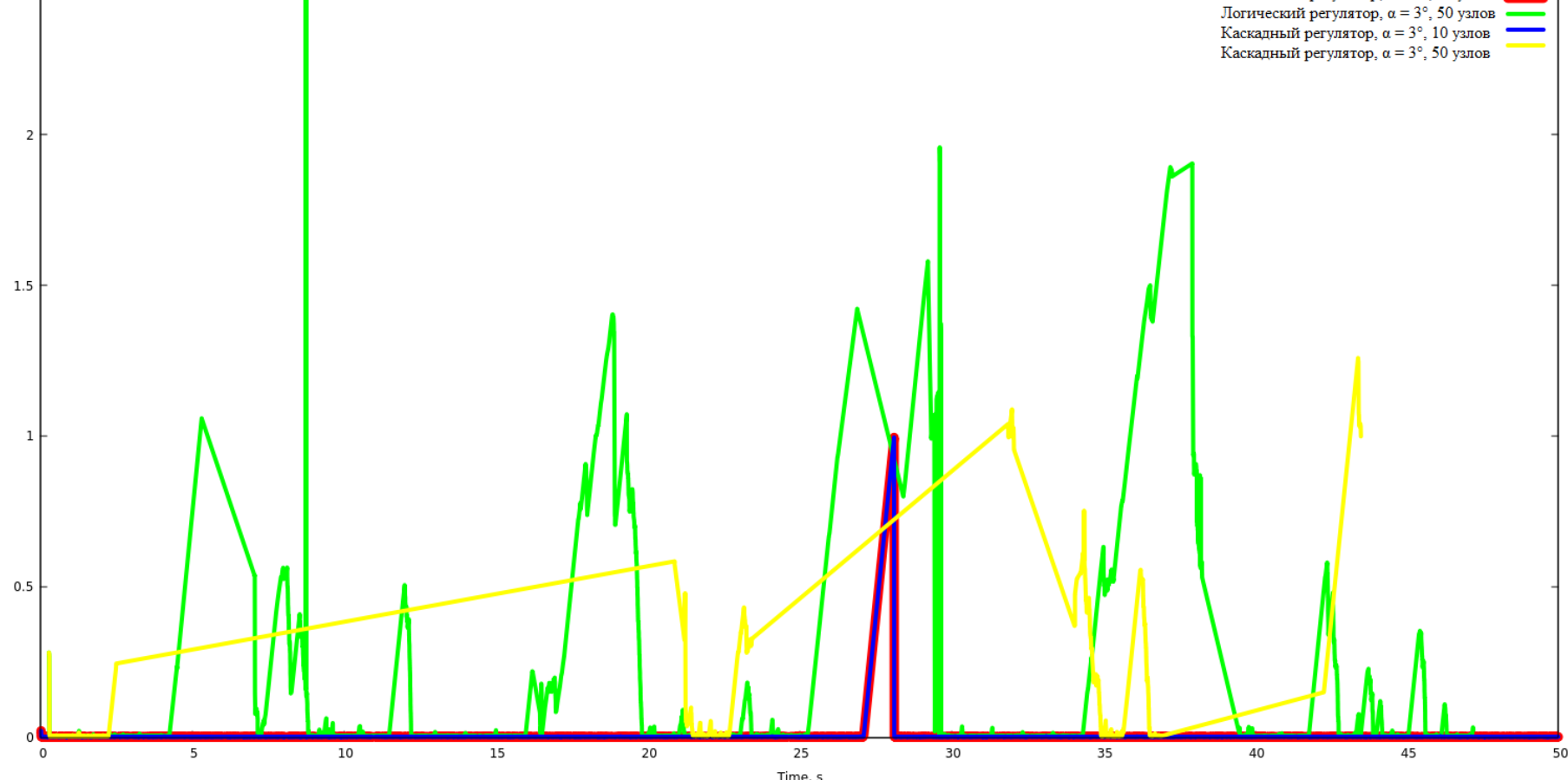


График задержек для 10 и 50 узлов при изначально худших показателях качества переходных процессов

Результаты экспериментов

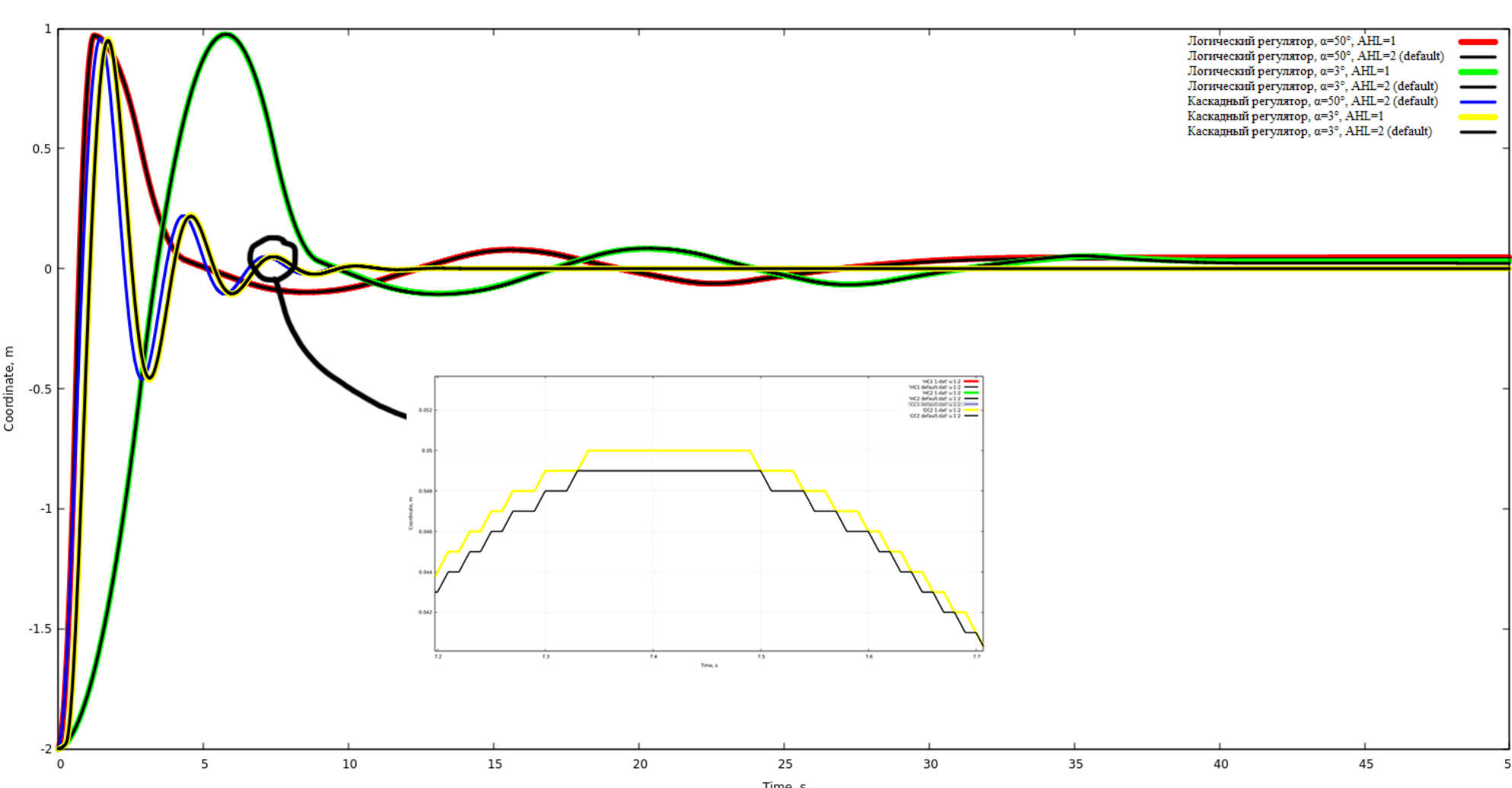
Эксперимент №5

Анализ влияния параметров протокола. Варианты реализации системы:

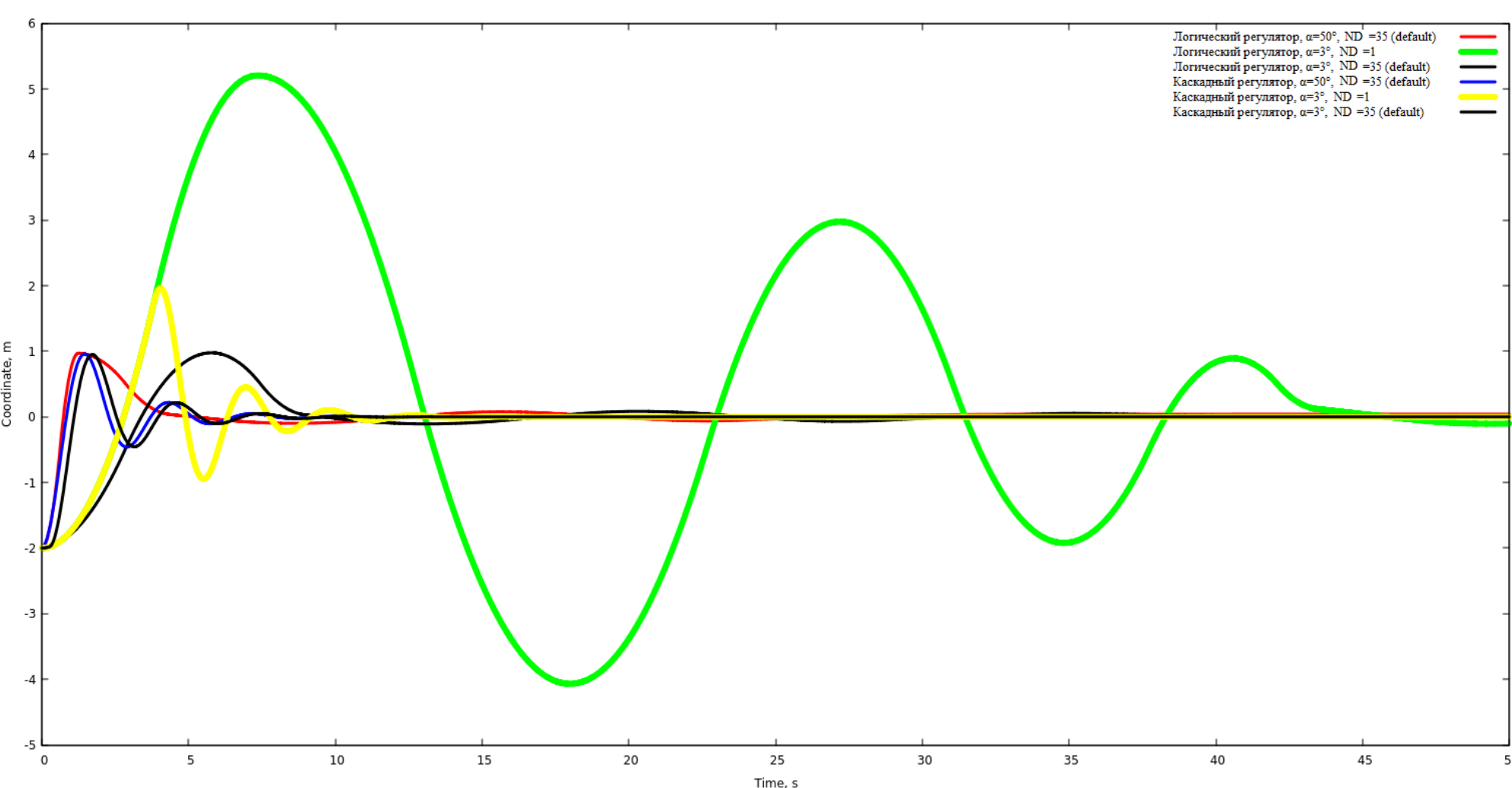
- 1) ЛР, $\alpha = 50^\circ$, 10 подвижных узлов, расстояние 50м;
- 2) ЛР, $\alpha = 3^\circ$, 10 неподвижных узлов, расстояние 50м;
- 3) КР, $\alpha = 50^\circ$, 10 подвижных узлов, расстояние 50м;
- 4) КР, $\alpha = 3^\circ$, 10 неподвижных узлов, расстояние 50м.

1) **Active Route Timeout** - время, в течение которого маршрут считается корректным (3с);

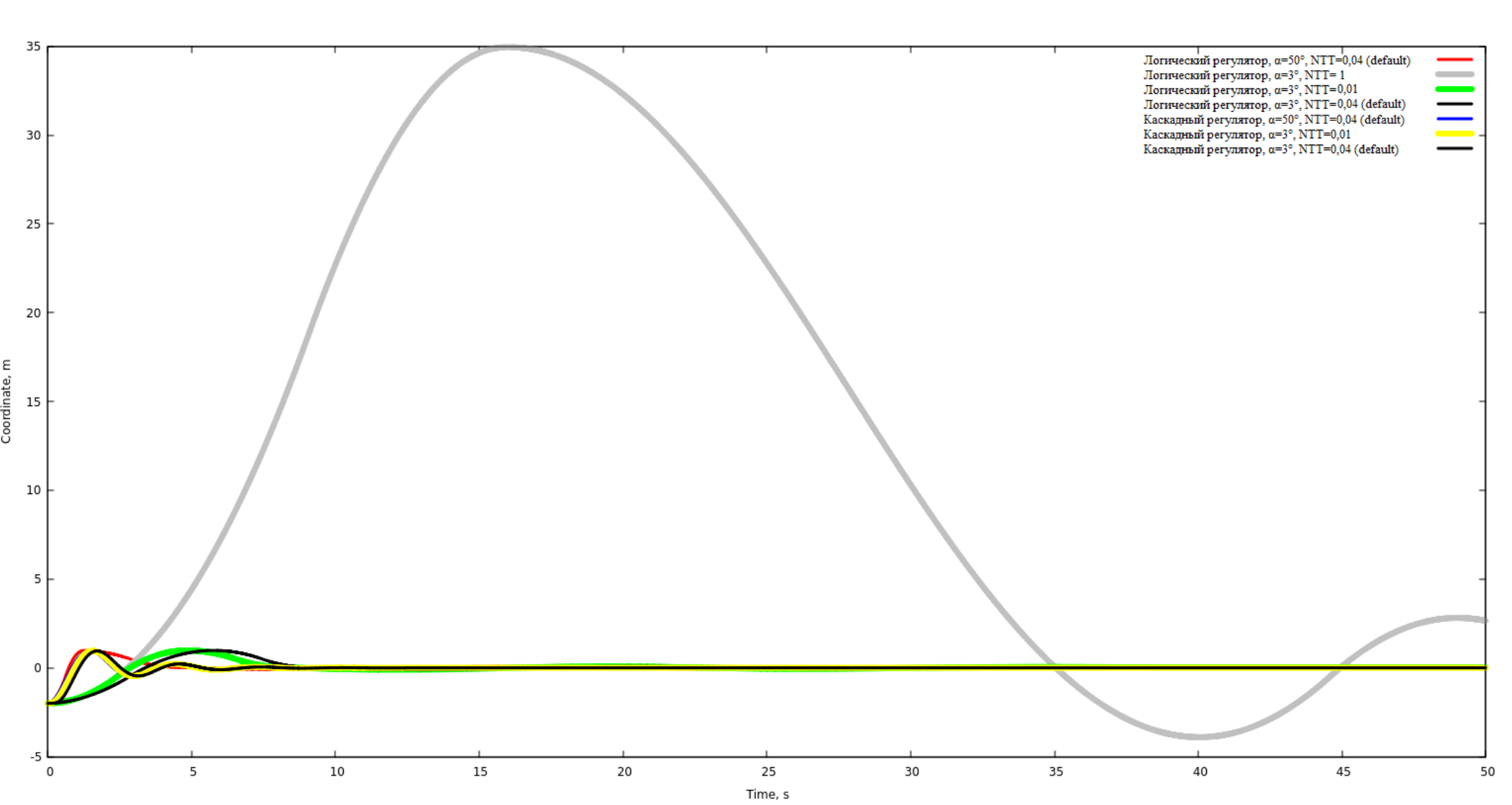
2) **Allowed Hello Loss** - количество пакетов Hello, которые могут быть потеряны (2);



3) **Net Diameter** - максимальное число хопов между узлами (35);

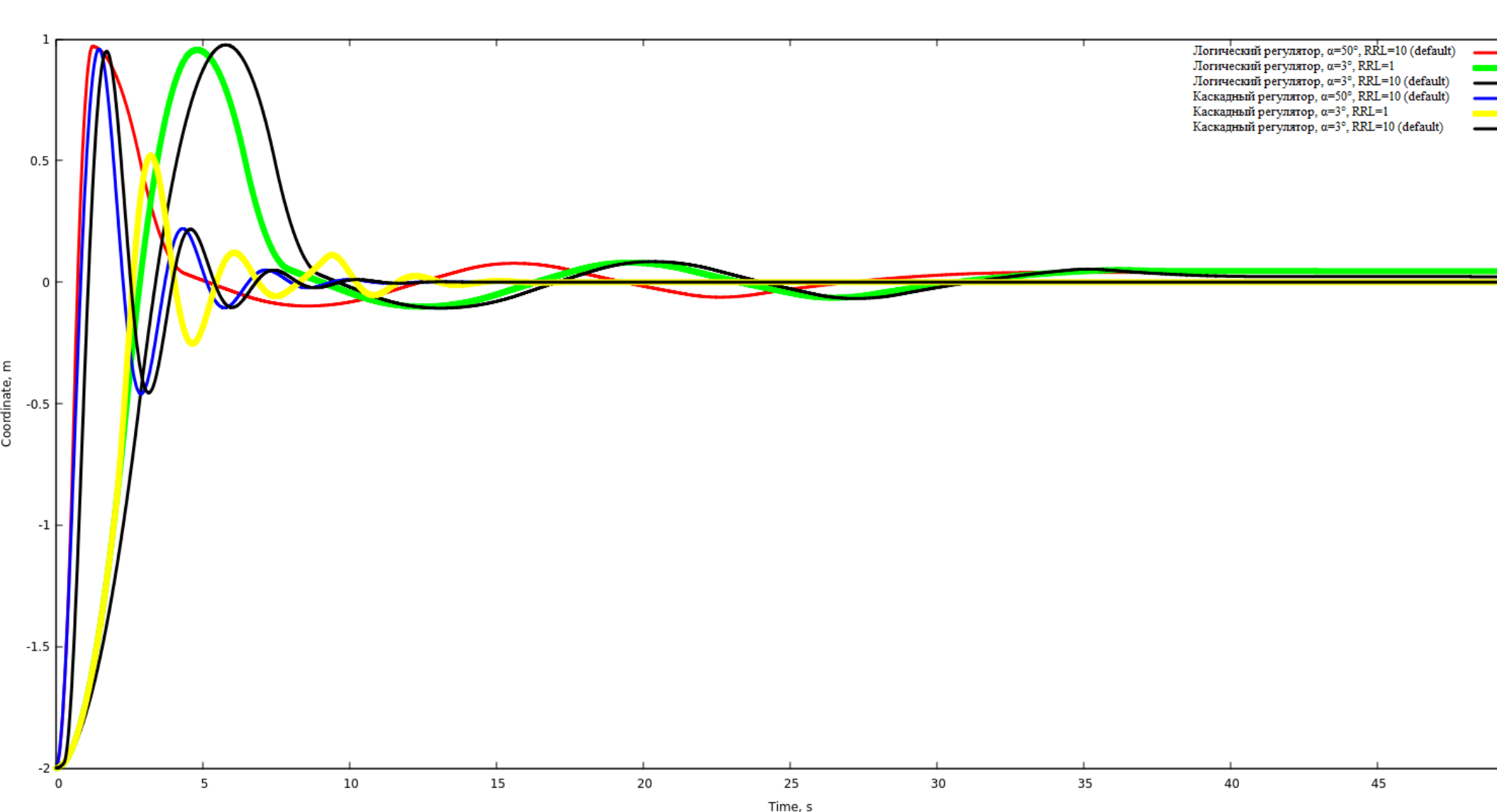


4) **Node Traversal Time** - время прохождения пакетом одного хопа(0,04 с);



5) **Rreq Retries** - максимальное число дополнительных попыток передачи RREQ (2);

6) **Rreq Rate Limit** - максимальное число RREQ в секунду (10);



7) **Ttl Start** - начальное время жизни RREQ (1с);

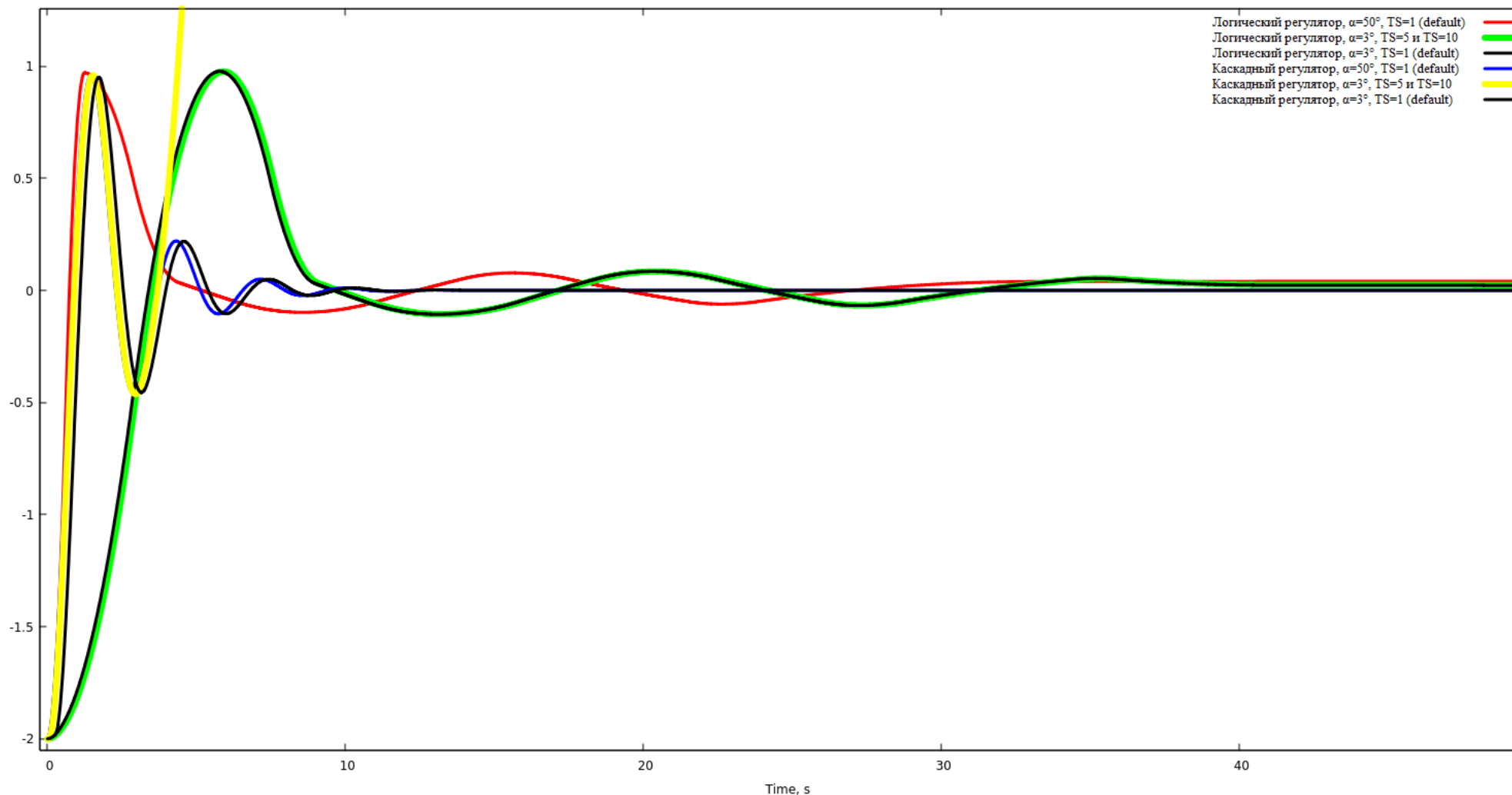
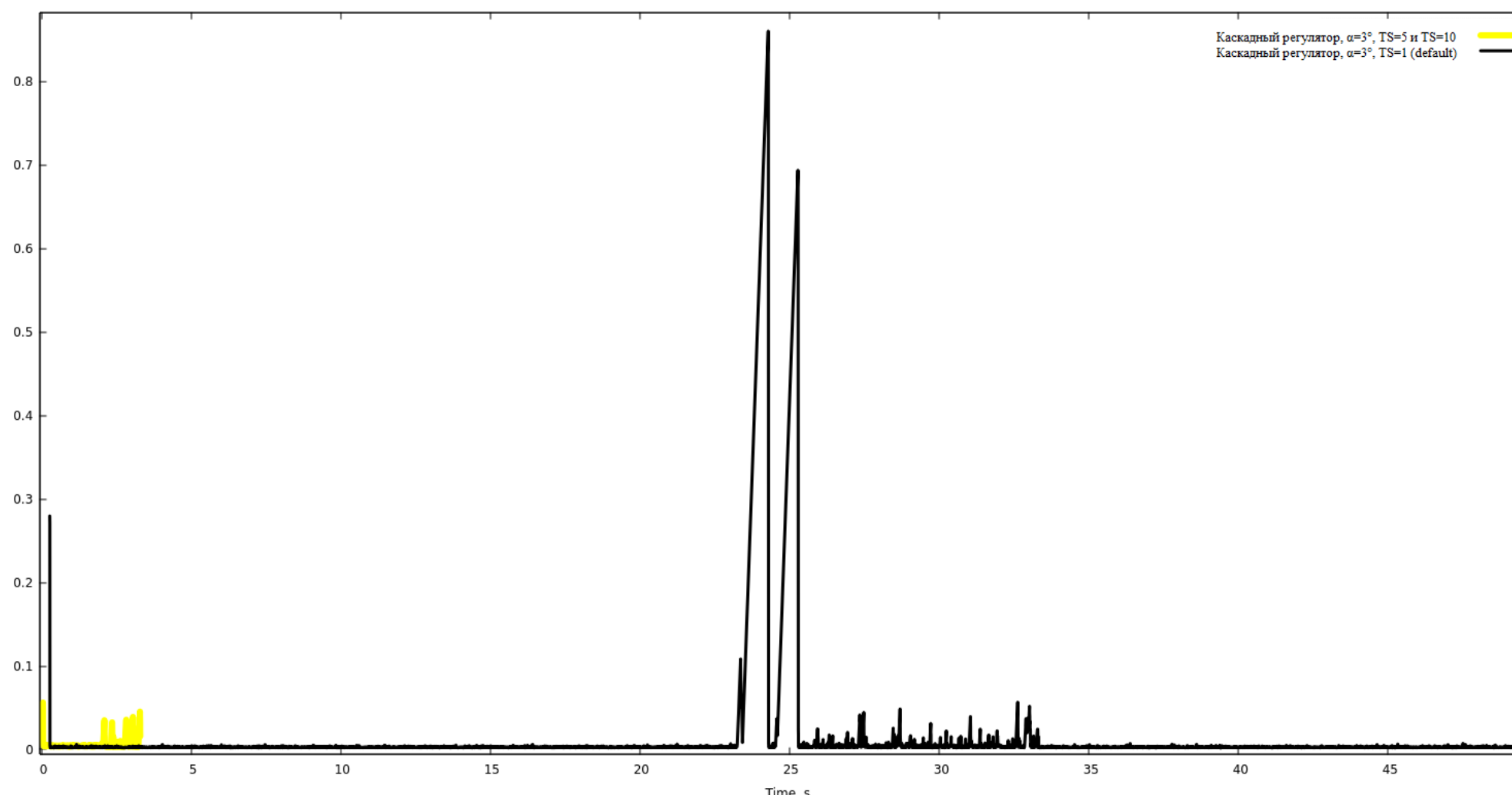


График задержек для каскадного регулятора при $\alpha=3^\circ$ и TS = 5 и 10 с



8) **Ttl Increment** - увеличение времени жизни RREQ (2с);

9) **Ttl Threshold** - предельное время жизни RREQ (7с).