

ГУАП

КАФЕДРА № 42

ОТЧЕТ  
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ \_\_\_\_\_  
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

канд. техн. наук, доцент \_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, звание \_\_\_\_\_  
подпись, дата \_\_\_\_\_

Т.В. Семененко  
ициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3  
МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

по курсу: ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. № \_\_\_\_\_ 4329 \_\_\_\_\_  
подпись, дата \_\_\_\_\_

Д.С. Шаповалова  
ициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2025

## 1. Цель работы

Освоение методов моделирования одномерных нелинейных непрерывных систем в пакете Simulink.

## 2. Задачи работы

- научиться строить и редактировать модели с подсистемами в пакете Simulink,
- научиться использовать нелинейные звенья типа «насыщение»,
- научиться строить несколько графиков одновременно на одном осциллографе, изучить влияние нелинейностей на результаты моделирования.

Параметры блоков, вариант 16:

$$T_s, \text{ с} = 19.0,$$

$$K, \text{ рад/с} = 0.07$$

$$T_R, \text{ с} = 2$$

$$T_{OC}, \text{ с} = 4$$

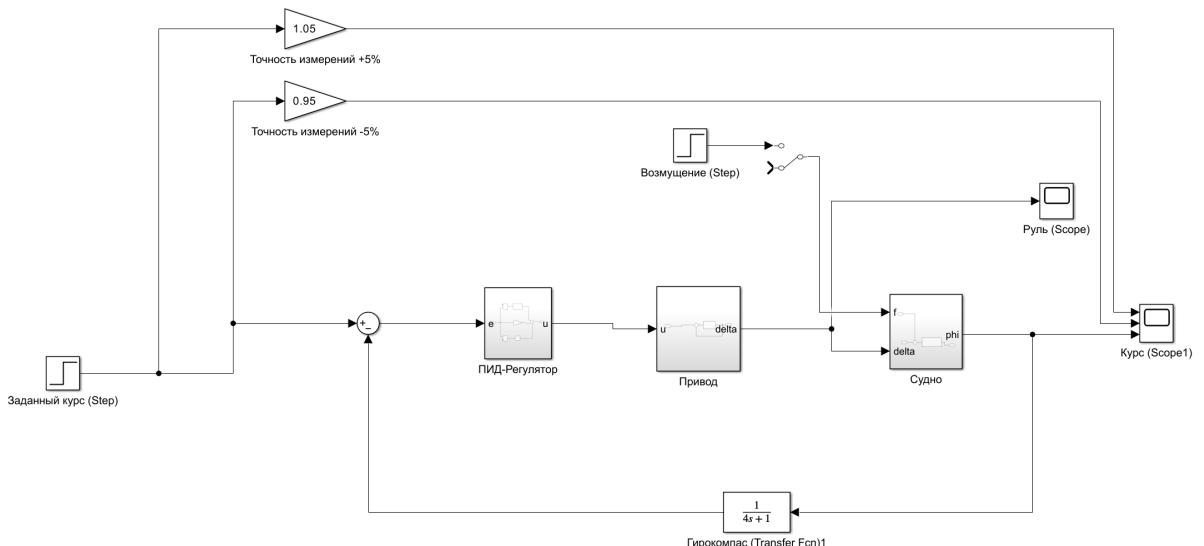


Рисунок 1.1 – Схема линейной системы управления с выделенными подсистемами

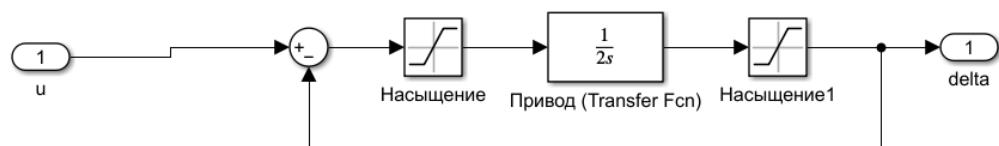


Рисунок 1.2 – Схема привода в нелинейной системе

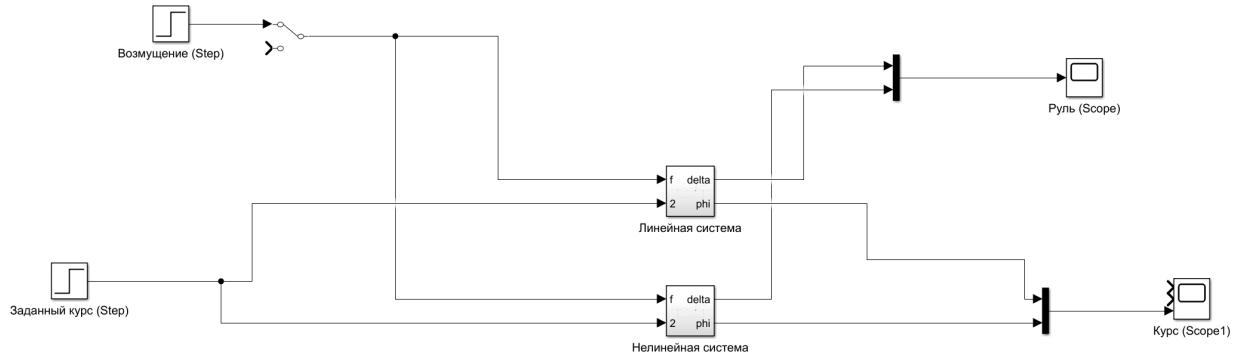


Рисунок 1.3 – Итоговая схема

### 3. Моделирование системы при курсе 10 градусов

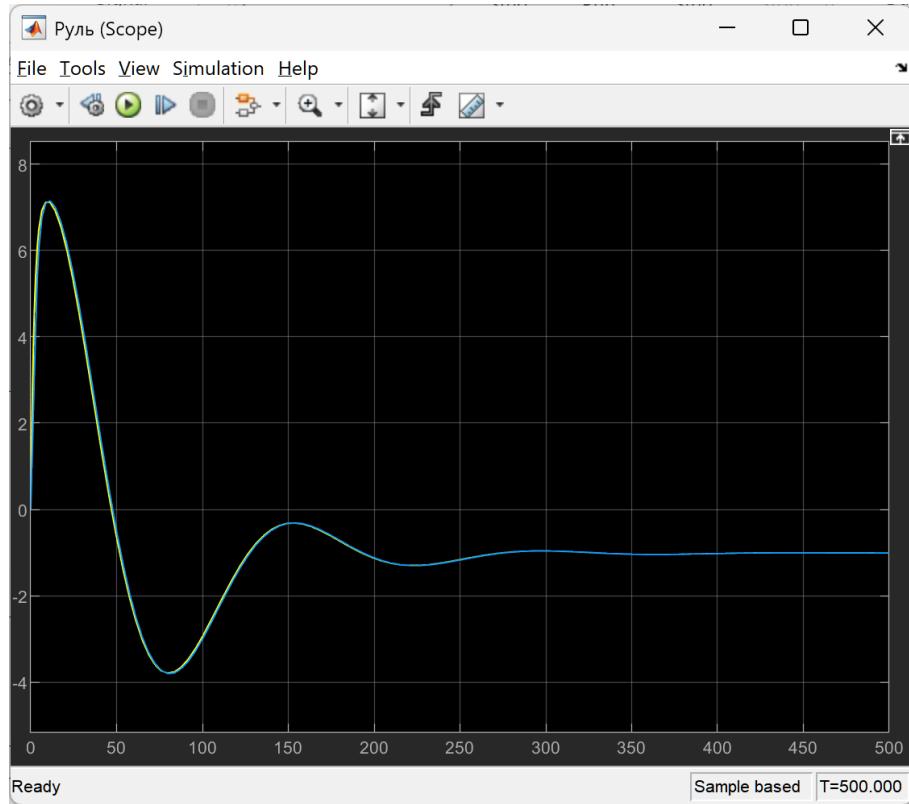


Рисунок 2.1 – График Руля при курсе на 10 градусов

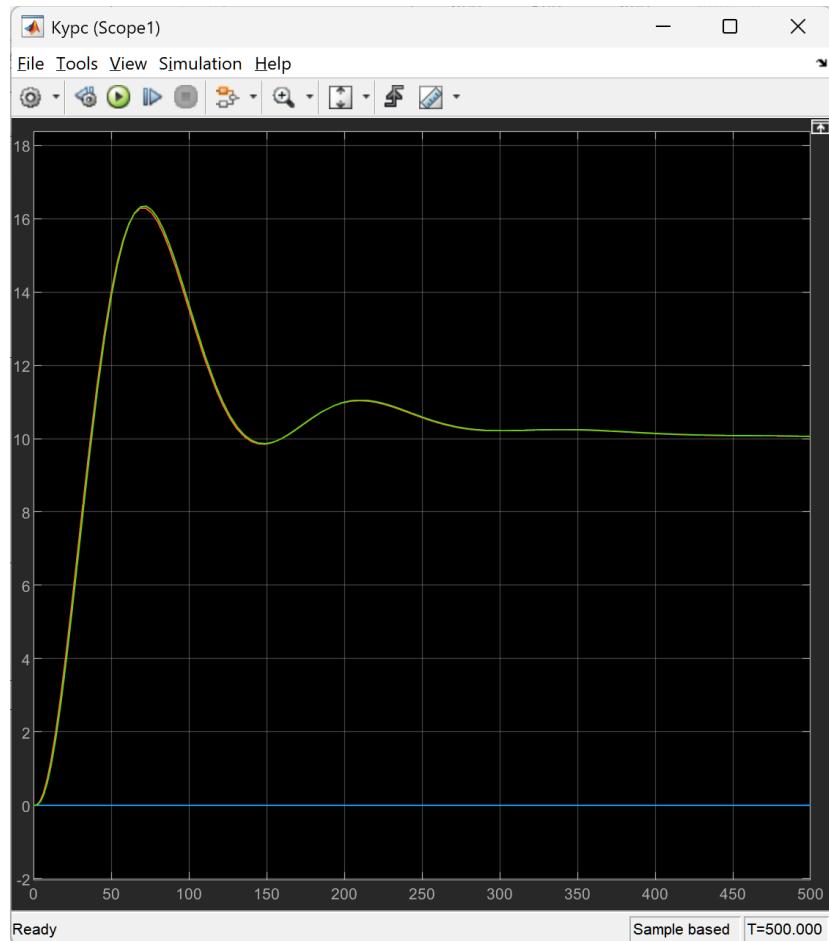


Рисунок 2.2 – График Курса при курсе на 10 градусов

Было смоделировано изменение курса на 10 градусов. Отличия незначительны, что объясняется тем, что малые управляющие сигналы нелинейных элементов привода (ограничение угла и скорости перекладки) не входят в насыщение, а система не достигает тех значений, при которых нелинейности начинают проявляться.

Оценка качества регулирования курса линейной и нелинейной систем:

1. Время регулирования = 250 секунд
2. Перерегулирование =  $((16,5 - 10)/10) * 100 = 65\%$
3. Время достижения первого максимума = 70 секунд
4. Время нарастание переходного процесса = 45 секунд
5. Декремент затухания =  $\frac{|h_{max1} - h_{уст}|}{|h_{max2} - h_{уст}|} = \frac{|16,5 - 10|}{|9,8 - 10|} = \frac{6,5}{0,2} = 32,5$

#### 4. Моделирование системы при курсе 90 градусов

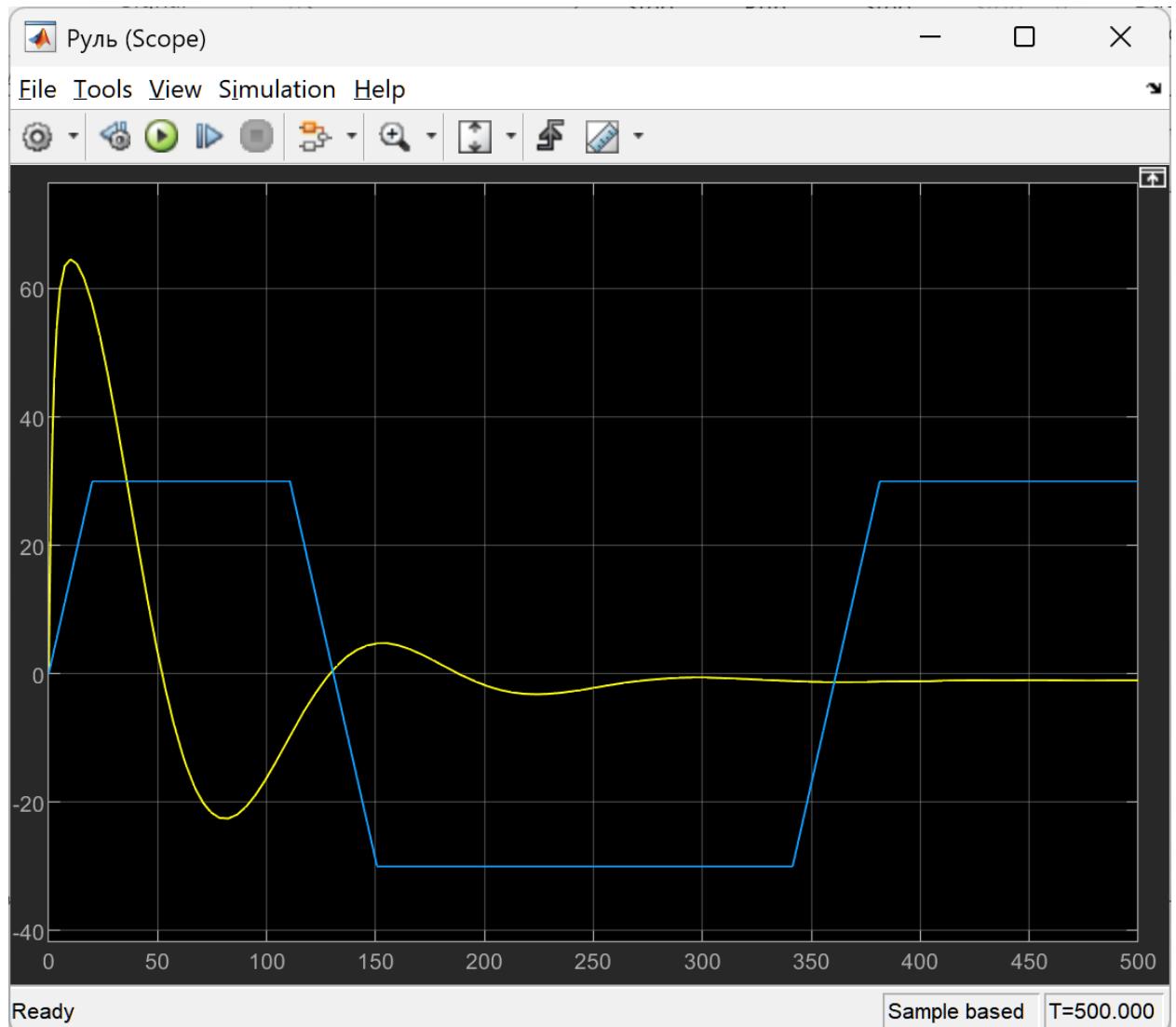


Рисунок 3.1 – График Руля при курсе 90 градусов

Скорость перекладки руля на интервале от 130 сек до 145 =  $40/(145 - 130) = 40/15 = 2,66$  градуса в секунду.

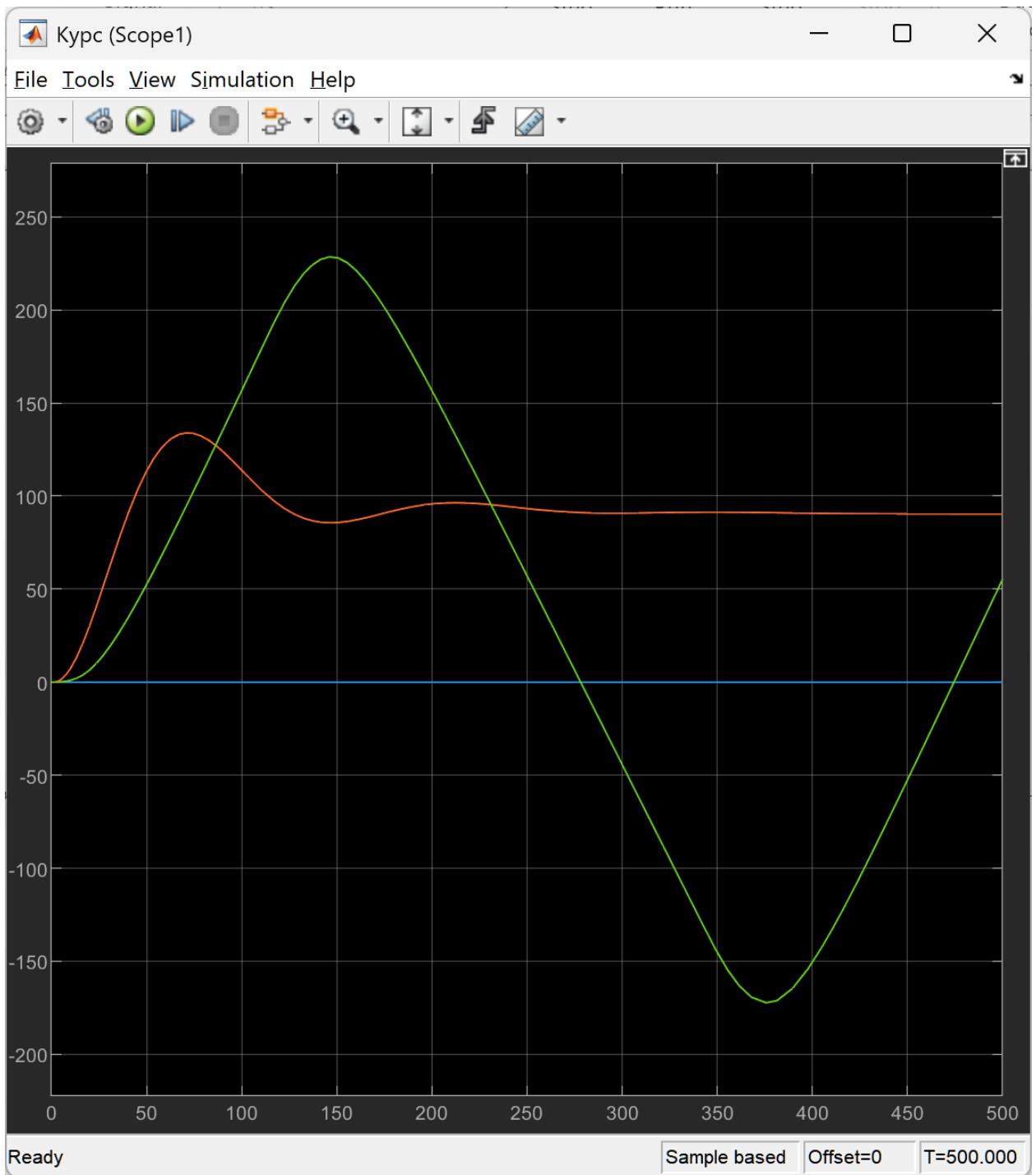


Рисунок 3.2 – График Курса при курсе 90 градусов

Оценка качества регулирования курса линейной системы:

1. Время регулирования = 125 секунд
2. Перерегулирование =  $((130-90)/90) * 100 = 44,4\%$
3. Время достижения первого максимума = 70 секунд
4. Время нарастание переходного процесса = 48 секунд
5. Декремент затухания =  $\frac{|h_{max1} - h_{уст}|}{|h_{max2} - h_{уст}|} = \frac{|130 - 90|}{|85 - 90|} = \frac{40}{5} = 8$

Наблюдается устойчивость линейной системы и неустойчивость нелинейной системы – невозможность установить заданный курс.

Происходящее обусловлено тем, что в модели привода было задано ограничение на угол переклада привода в  $30^\circ$ , эмпирическим путём было выявлено минимальное допустимое значение, приводящее к устойчивости системы и возможности выхода на заданный курс =  $50^\circ$ . При этом увеличение скорости перекладки также применимо для достижения необходимого курса. При курсе в  $90^\circ$  влияние нелинейностей становится выраженным: нелинейная модель, учитывающая физические ограничения привода, показывает значительно большее перерегулирование и более длительное время установления по сравнению с линейной моделью.

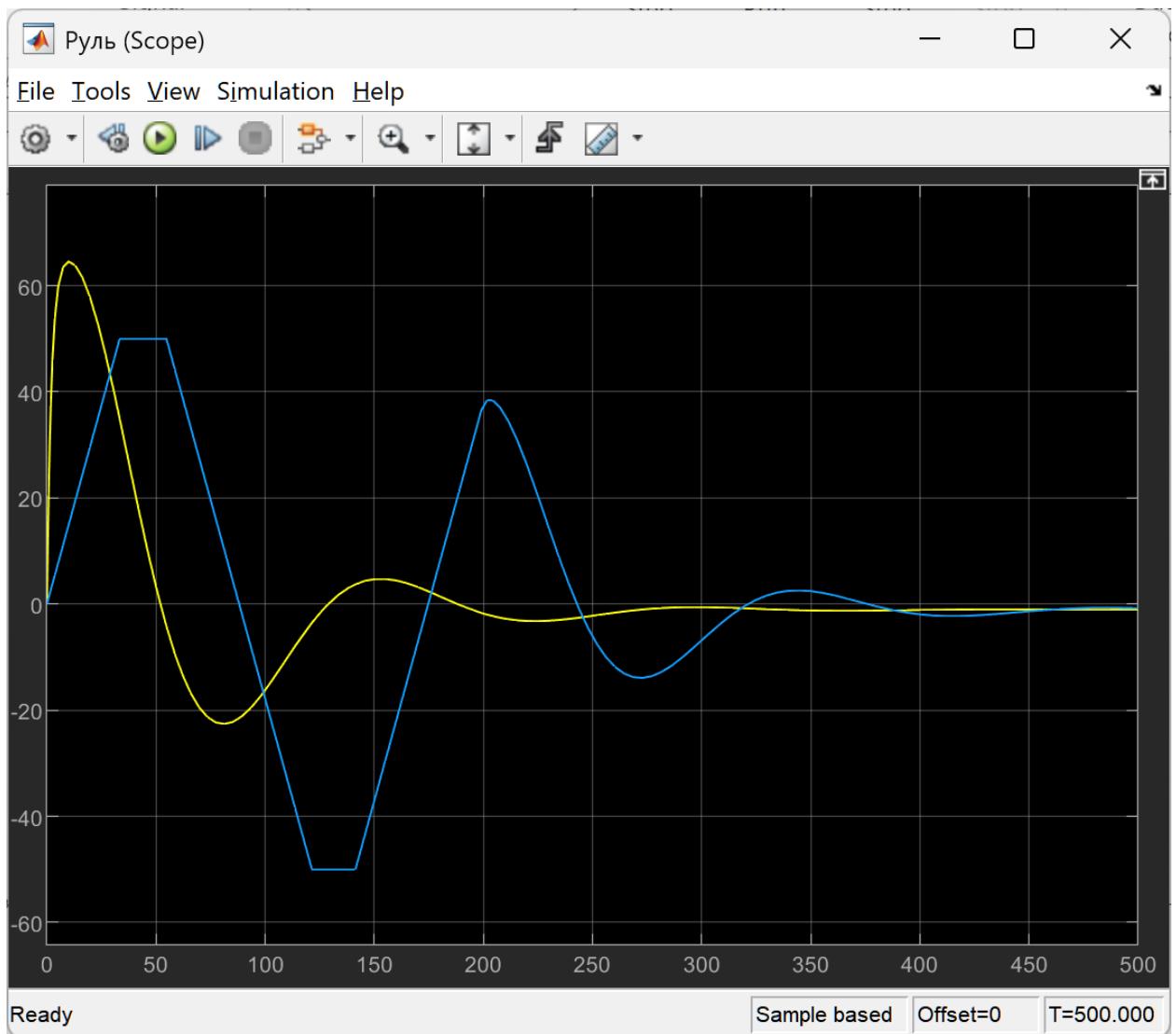


Рисунок 4.1 – График Руля, изменение курса на 90 градусов, ограничение угла перекладки руля в  $50^\circ$

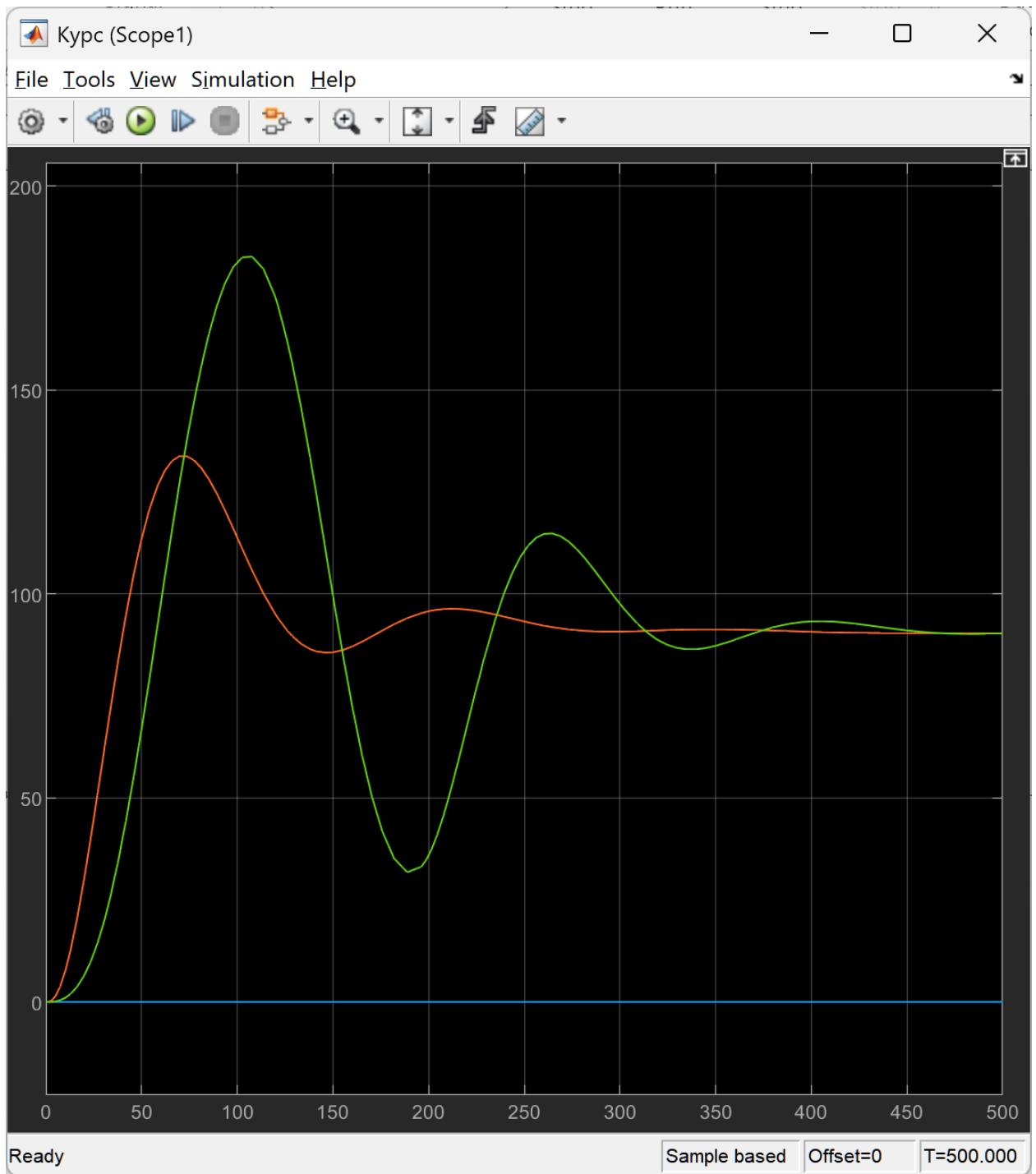


Рисунок 4.2 – График Курса, изменение курса на 90 градусов, ограничение угла  
перекладки руля в 50

Оценка качества регулирования курса нелинейной систем:

1. Время регулирования = 375 секунд
2. Перерегулирование =  $((170 - 90)/90) * 100 = 88,8\%$
3. Время достижения первого максимума = 105 секунд
4. Время нарастание переходного процесса = 60 секунд
5. Декремент затухания =  $\frac{|h_{max1} - h_{yst}|}{|h_{max2} - h_{yst}|} = \frac{|170 - 90|}{|130 - 90|} = \frac{80}{60} = 1,33$

Оценка качества регулирования курса линейной системы:

1. Время регулирования = 175 секунд
2. Перерегулирование =  $((130 - 90)/90) * 100 = 44,4\%$
3. Время достижения первого максимума = 70 секунд
4. Время нарастание переходного процесса = 48 секунд
5. Декремент затухания =  $\frac{|h_{max1} - h_{уст}|}{|h_{max2} - h_{уст}|} = \frac{|130 - 90|}{|80 - 90|} = \frac{40}{10} = 4$

## **ВЫВОД**

В ходе лабораторной работы было выполнено моделирование нелинейной системы управления курсом судна в Simulink с учётом ограничений на угол и скорость перекладки руля.

При моделировании поворота на  $10^\circ$  различия между линейной и нелинейной моделями оказались незначительными, поскольку управляющие сигналы не достигали зоны насыщения нелинейных элементов.

При увеличении задания до  $90^\circ$  влияние нелинейностей стало существенным: нелинейная модель показала большее перерегулирование, более длительное время регулирования и невозможность выхода на заданный курс при ограничении руля в  $30^\circ$ . Увеличение предела насыщения до  $50^\circ$  позволило системе стать устойчивой, однако качество переходного процесса ухудшилось по сравнению с линейной моделью.

Таким образом, учёт нелинейных ограничений является критически важным при проектировании систем управления, особенно при больших управляющих воздействиях, так как линейные модели могут давать нереалистичные результаты.