

ГУАП

КАФЕДРА № 42

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

старший преподаватель

должность, уч. степень, звание

подпись, дата

Т. В. Семененко

инициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ № 2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

по курсу:

ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ гр. № 4326

подпись, дата

Г. С. Томчук

инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2026

1 Цель работы

Цель работы: освоение методов моделирования одномерных линейных непрерывных систем в пакете Simulink.

2 Задание

Работа включает в себя выполнение следующих задач:

1. научиться строить и редактировать модели систем управления с простейшими регуляторами в пакете Simulink;
2. научиться изменять параметры блоков;
3. научиться строить переходные процессы;
4. научиться оформлять результаты моделирования;
5. изучить метод компенсации постоянных возмущений с помощью ПИД-регулятора.

Вариант работы: № 17 ($T_S = 19.2$ с, $K = 0.08$ рад/с, $T_R = 1$ с, $T_{OC} = 5$ с).

3 Ход выполнения

Собранная в Simulink исследуемая модель системы с включенным П-регулятором изображена на рисунке 1.

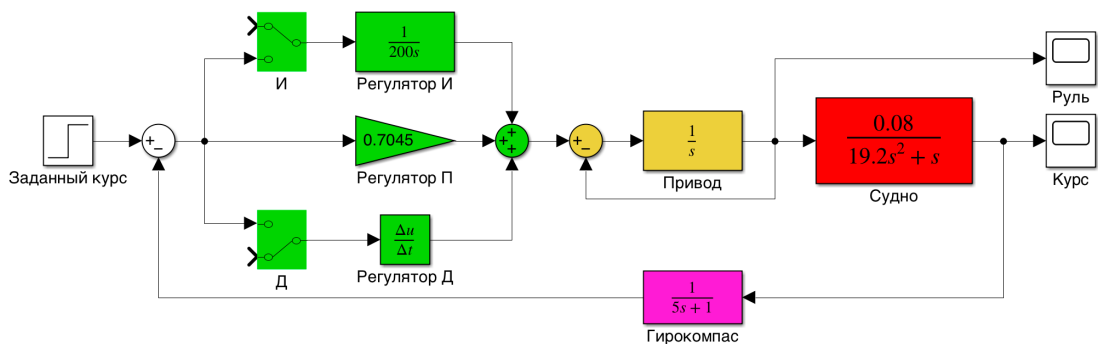


Рисунок 1 — Модель с П-регулятором

Данный регулятор формирует управляющее воздействие, пропорциональное сигналу рассогласования между заданным и текущим курсом судна. Для исследования переходного процесса был задан ступенчатый входной сигнал величиной 10, что соответствует команде на изменение курса судна на 10° .

Далее была добавлена дифференциальная составляющая. Модель системы с ПД-регулятором представлена на рисунке 2.

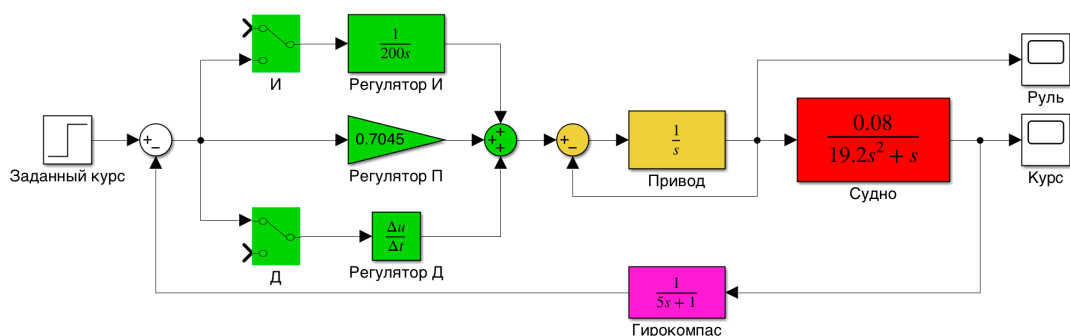


Рисунок 2 — Модель с ПД-регулятором

Д-регулятор реагирует на скорость изменения сигнала рассогласования, что позволяет предугадать поведение системы и сформировать опережающее управляющее воздействие. Это способствует погашению колебаний и уменьшению перерегулирования. Для исследования работы системы в условиях внешних воздействий в модель был добавлен источник постоянного

внешнего воздействия величиной 1, что соответствует углу внешнего возмущающего воздействия в 1° . Модель с подключенным внешним возмущением изображена на рисунке 3.

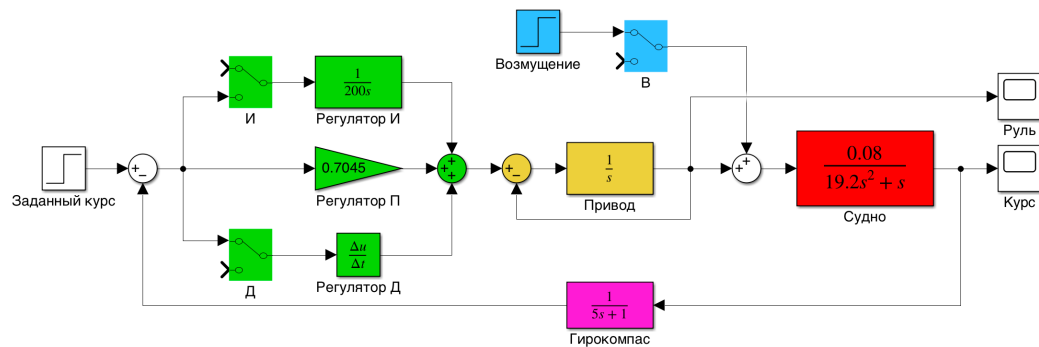


Рисунок 3 — Модель с внешним возмущением

Затем для устранения статической ошибки, вызванной постоянным внешним возмущением, к ПД-регулятору была добавлена интегральная составляющая. Модель системы с ПИД-регулятором представлена на рисунке 4.

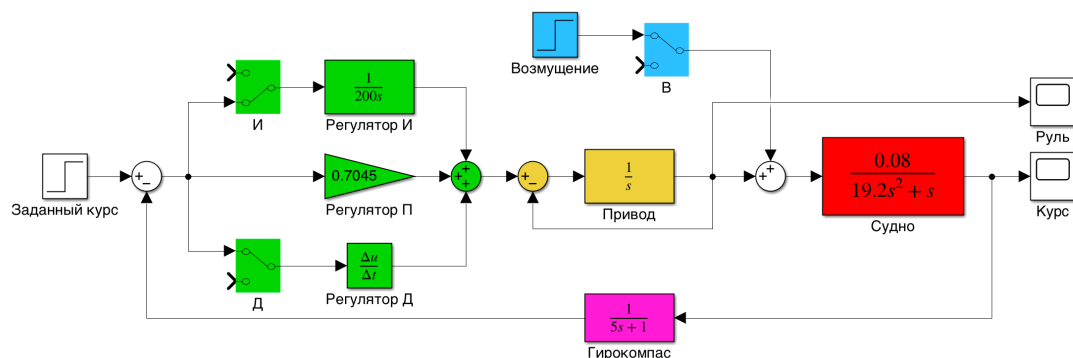


Рисунок 4 — Модель с ПИД-регулятором

Интегральная составляющая регулятора накапливает сигнал рассогласования во времени и формирует управляющее воздействие, направленное на устранение установившейся ошибки.

Далее было проведено моделирование созданных систем. Результаты моделирования системы с П-регулятором представлены на рисунках 5 и 6.

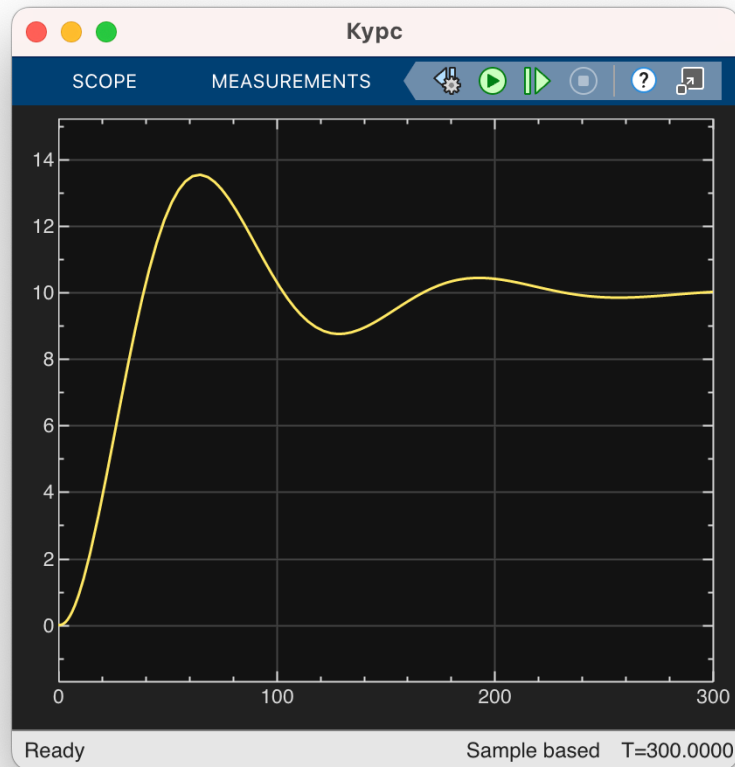


Рисунок 5 — Результат моделирования для блока Курс (П-регулятор)

На графике курса (рисунок 5) наблюдается переходный процесс с перерегулированием. Максимальное значение курса составляет приблизительно 13.5° и достигается в начальной фазе переходного процесса. Система выходит на установившееся значение курса 10° примерно при $t = 280$ с. Величина перерегулирования составляет около 35%.

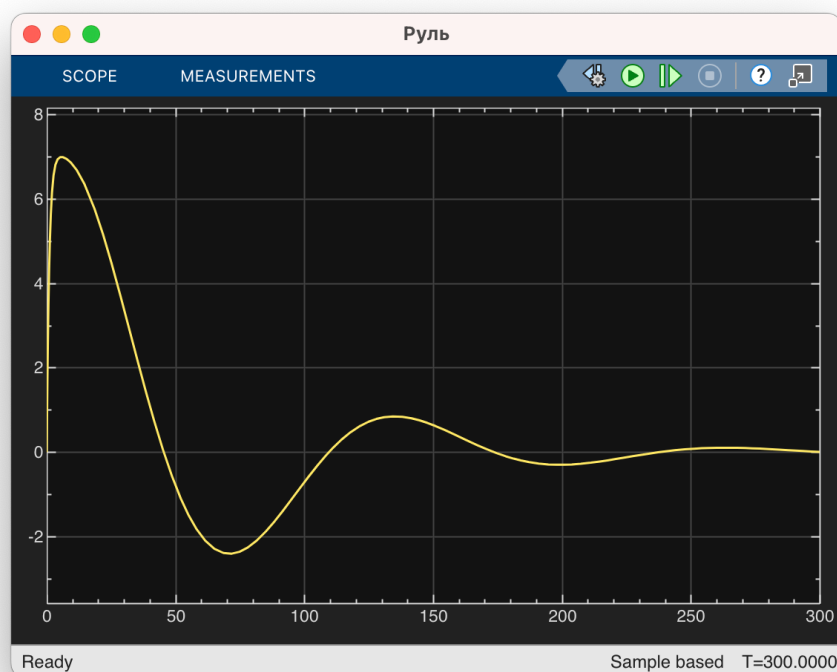


Рисунок 6 — Результат моделирования для блока Руль (П-регулятор)

На графике угла перекладки руля (рисунок 6) наблюдается резкое нарастание угла от 0° до 7° в течение первых 5 секунд моделирования. По мере приближения судна к заданному курсу угол руля уменьшается, и к моменту времени $t \approx 300$ с руль возвращается в нейтральное положение.

Система с П-регулятором обеспечивает устойчивый переходный процесс и выход на заданный курс, однако время регулирования составляет более 280 секунд, что является существенным недостатком при управлении курсом судна.

Результаты моделирования системы с ПД-регулятором представлены на рисунках 7 и 8.

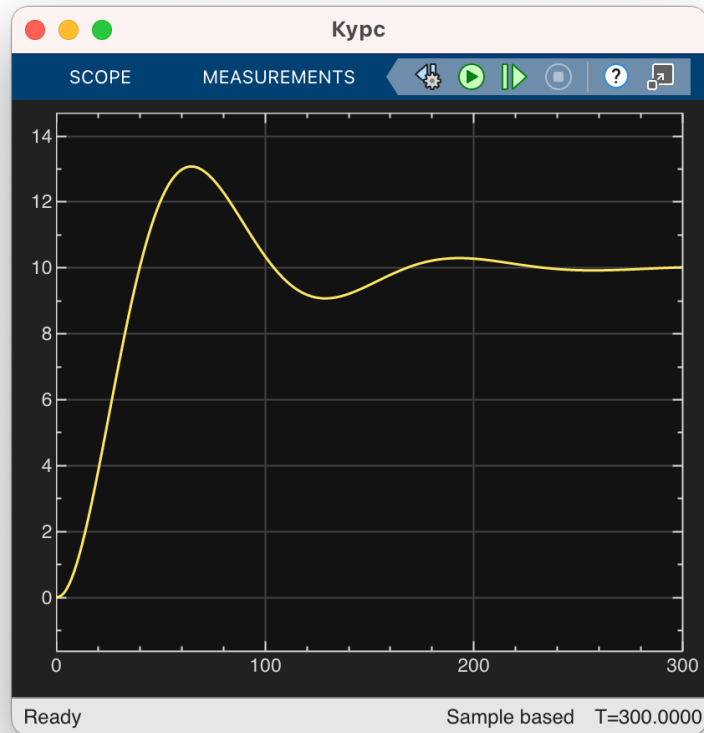


Рисунок 7 — Результат моделирования для блока Курс (ПД-регулятор)

На графике курса (рисунок 7) пиковое значение составляет приблизительно 13° и достигается при $t \approx 65$ с. Система выходит на установившееся значение 10° при $t \approx 240$ с. Сравнивая результаты с П-регулятором, стоит отметить, что включение дифференциальной составляющей уменьшило величину перерегулирования до 30%.

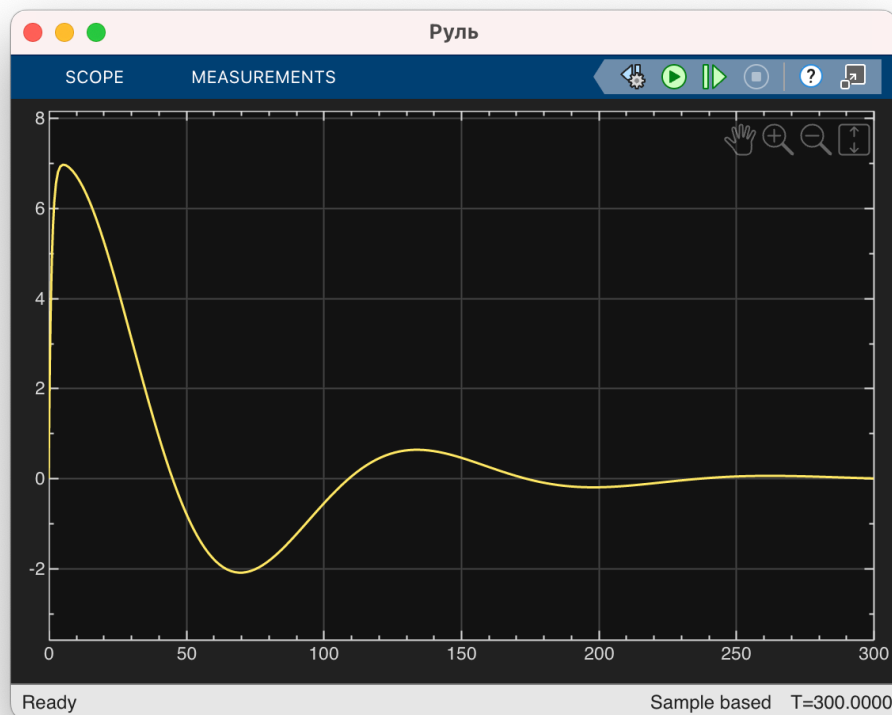


Рисунок 8 — Результат моделирования для блока Руль (ПД-регулятор)

График руля (см. рисунок 8) также слегка отличается от полученного для системы с П-регулятором. Выход руля на нейтральное значение происходит чуть быстрее, к моменту времени $t \approx 260$ с.

Результаты моделирования системы с ПД-регулятором и внешним воздействием представлены на рисунках 9 и 10.

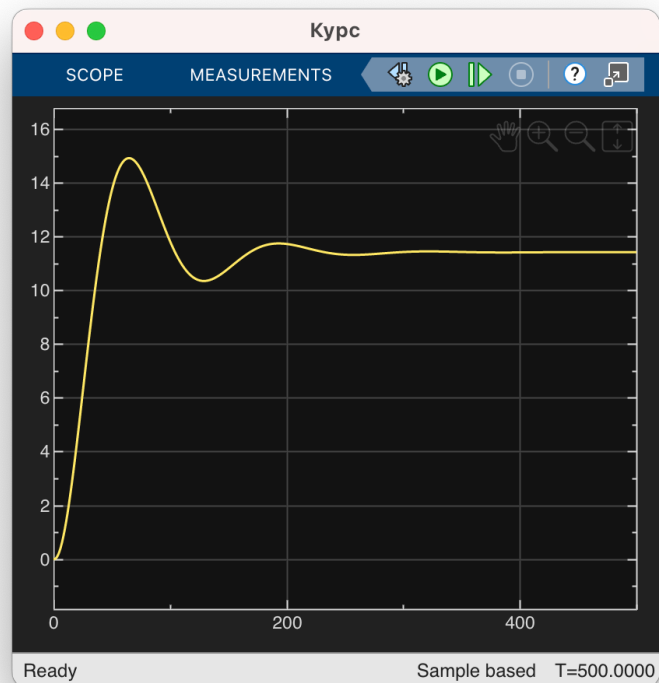


Рисунок 9 — Результат моделирования для блока Курс (ПД-регулятор с внешним возмущением)

На графике курса (рисунок 9) пиковое значение составляет 15° при $t = 60$ с. Система выходит на установившееся значение при $t \approx 280$ с, однако это значение составляет 11.4° , что отличается от заданного курса 10° на 1.4° . Данная статическая ошибка обусловлена наличием постоянного внешнего возмущения, которое система с ПД-регулятором не способна полностью скомпенсировать.

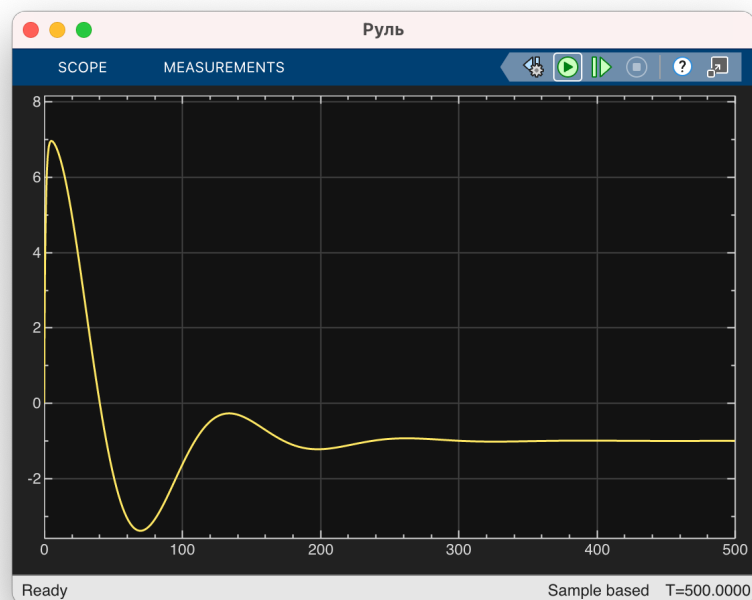


Рисунок 10 — Результат моделирования для блока Руль (ПД-регулятор с внешним возмущением)

На графике руля (рисунок 10) видно, что в установившемся режиме угол перекладки руля составляет -1° , что говорит о постоянном противодействии возмущению.

Результаты моделирования системы с ПИД-регулятором представлены на рисунках 11 и 12. На графике курса (рисунок 11) наблюдается увеличение пикового значения до 17° при $t = 65$ с, что обусловлено действием интегральной составляющей. Система выходит на установившееся значение курса, равное заданному значению 10° , при $t \approx 570$ с. И таким образом, добавление интегральной составляющей позволило полностью скомпенсировать влияние постоянного внешнего возмущения и устранить статическую ошибку, но это привело к увеличению времени переходного процесса и величины перерегулирования.

На графике угла поворота руля (рисунок 12) наблюдается аналогичная начальная динамика с резким ростом до 7° в первые 5 секунд. Установившееся значение угла руля составляет -1° при $t \approx 380$ с, что обеспечивает компенсацию постоянного внешнего возмущения.

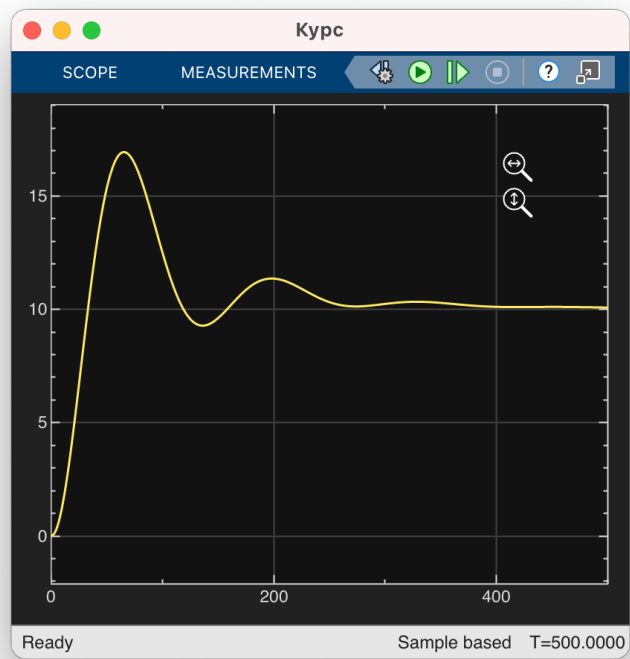


Рисунок 11 — Результат моделирования для блока Курс (ПИД-регулятор с внешним возмущением)

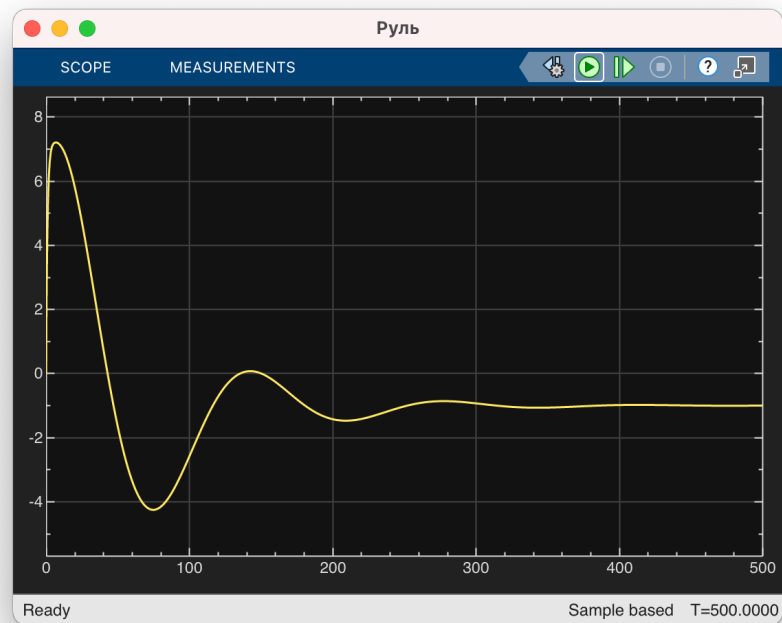


Рисунок 12 — Результат моделирования для блока Руль (ПИД-регулятор с внешним возмущением)

Далее для исследования системы при значительных изменениях курса было проведено моделирование поворота судна на 90° . Результаты моделирования представлены на рисунках 13 и 14.

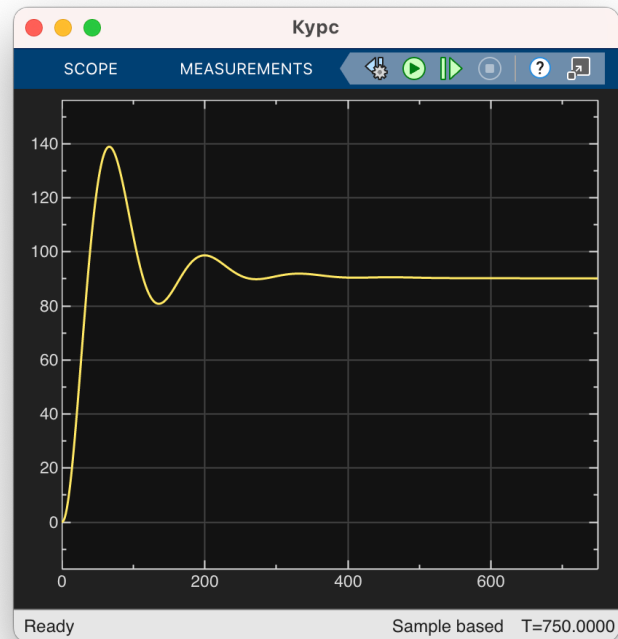


Рисунок 13 — Результат моделирования для блока Курс (поворот на 90°)

На графике курса (рисунок 13) пиковое значение составляет 139° при $t = 65$ с, что соответствует перерегулированию около 54%. Система выходит на заданное установившееся значение курса 90° при $t \approx 580$ с.

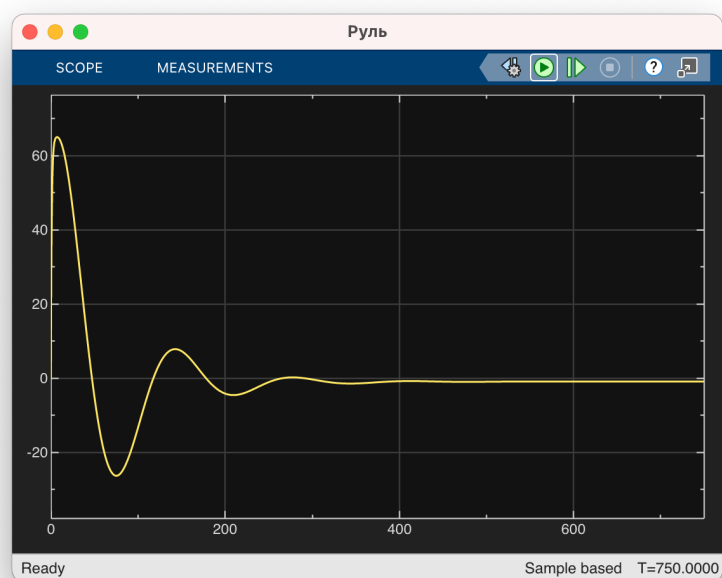


Рисунок 14 — Результат моделирования для блока Руль (поворот на 90°)

На графике угла поворота руля (рисунок 14) наблюдается значительно более интенсивная перекадка — угол возрастает от 0° до 65° при $t \approx 5$ с. Руль выходит на установившееся значение -1° при $t \approx 450$ с.

Полученные результаты демонстрируют, что при больших углах поворота переходный процесс характеризуется значительным перерегулированием и увеличенным временем регулирования, что следует учитывать при проектировании реальных систем управления курсом судна.

4 Вывод

В результате выполнения лабораторной работы была разработана модель системы автоматического управления курсом судна и проведён анализ влияния различных типов регуляторов на характеристики переходных процессов.

Установлено, что система с пропорциональным регулятором обеспечивает устойчивый переходный процесс, однако сопровождается высоким перерегулированием порядка 35%. Введение дифференциальной составляющей (ПД-регулятор) направлено на повышение демпфирования и снижение колебательности за счёт учёта скорости изменения ошибки.

В то же время при наличии постоянного внешнего возмущения система с ПД-регулятором не обеспечивает точного удержания заданного курса, что проявляется в возникновении статической ошибки величиной около 1.4° .

Следовательно, для практических систем управления курсом судна требуется настройка параметров ПИД-регулятора, позволяющая обеспечить рациональное соотношение между быстродействием, уровнем перерегулирования и эффективностью компенсации внешних возмущений.