Примечание: *В данной лабораторной работе считается, что для прямого измерения доступна только величина $y(t)$, все ее производные $\dot{y}(t)$, $\ddot{y}(t)$ и т.д. к измерению недоступны и не могут быть использоваться в регуляторе напрямую. Общая схема системы, замкнутой регулятором, приведена на рис. 1. Все значения коэффициентов входного воздействия необходимо выбрать самостоятельно. Приведите, на ваш взгляд, достаточное для исследования количество графиков для каждого пункта лабораторной работы. Сделайте выводы по каждому из пунктов.*

Рис. 1: Общая схема системы, замкнутой регулятором

Задание 1. Задача стабилизации с идеальным дифференцирующим звеном. Придумайте такие коэффициенты a_0, a_1 и a_2 для системы вида

$$a_2\ddot{y} + a_1\dot{y} + a_0 y = u,$$

чтобы она содержала хотя бы один неустойчивый полюс. Возьмите регулятор вида

$$u = k_0 y + k_1 \dot{y}$$

и задайте такие отличные от нуля значения k_0 и k_1, при которых замкнутая система будет устойчивой. Выполните моделирование с отличными от нуля начальными условиями $y(0)$, $\dot{y}(0)$ и постройте графики выхода разомкнутой и замкнутой системы.

Примечание: *При построении схемы моделирования для дифференцирования в регуляторе используйте блок SIMULINK Derivative.*

Задание 2. Задача стабилизации с реальным дифференцирующим звеном. Измените систему из предыдущего задания, заменив блок Derivative на передаточную функцию вида

$$W_{\text{р.дифф.}}(s) = \frac{s}{Ts+1}.$$

Определите аналитически критическое значение параметра T, при котором система становится неустойчивой. Проведите аналогичное первому заданию моделирование для нескольких различных значений T, соответствующих устойчивой системе. Приведите соответствующие графики выхода $y(t)$.

Задание 3. Исследование влияния шума. Исследуйте влияние шума на работоспособность замкнутой системы с идеальным и реальным дифференцирующими звеньями. Для этого добавьте шум ко входам регуляторов каждой из систем предыдущих пунктов (рис. 2). Для генерации шума используйте блок *Band-Limited White Noise* со следующими параметрами: noise power = 0.01 и sample time = 0.01.

Сопоставьте выходы систем с шумом и без и сделайте вывод о поведении дифференцирующего звена при наличии шума, приведите соответствующие графики выходов $y(t)$.

Исследуйте влияние параметра T на чувствительность системы, замкнутой реальным дифференцирующим звеном, к шуму, проведя моделирование для нескольких различных значений параметра T, соответствующих устойчивой системе. Приведите соответствующие графики выхода $y(t)$.

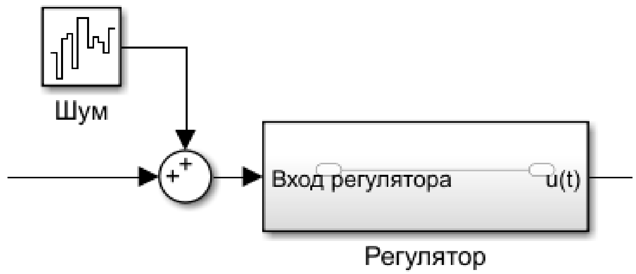

Рис. 2: Ввод шума для задания 3

Задание 4. Задача слежения для системы с астатизмом нулевого порядка. Придумайте ненулевые коэффициенты a_0, a_1, b_0 и b_1 для передаточной функции объекта вида

$$W(s) = \frac{b_1 s + b_0}{s^2 + a_1 s + a_0}$$

такие, чтобы система была устойчивой. Замкните систему П-регулятором вида

$$W_{\text{рег}}(s) = k.$$

Исследуйте поведение системы в установившемся режиме при задающем воздействии $g(t) = \alpha = const$. Исследуйте влияние значения коэффициента k на выход системы: постройте графики переходных процессов для различных значений коэффициента регулятора k и определите значение установившейся ошибки $\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$.

Аналогично исследуйте режим движения с постоянной скоростью при задающем воздействии $g(t) = \beta t + \alpha$ и с синусоидальным воздействием вида $g(t) = \alpha \cdot \sin(\omega t + \varphi)$.

Задание 5. Задача слежения для системы с астатизмом первого порядка. Придумайте ненулевые коэффициенты a_0, a_1, b_0 и b_1 для передаточной функции объекта вида

$$W(s) = \frac{b_1 s + b_0}{s^2 + a_1 s + a_0}$$

такие, чтобы система была устойчивой. Замкните систему ПИ-регулятором вида

$$W_{\text{рег}}(s) = \frac{k_1}{s} + k_0.$$

Исследуйте поведение системы в установившемся режиме при задающем воздействии $g(t) = \alpha = const$. Постройте графики переходных процессов для различных значений коэффициентов регулятора k_0, k_1 и определите значение установившейся ошибки $\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$. Исследуйте влияние значения коэффициентов k_0, k_1 на выход системы.

Аналогично исследуйте режим движения с постоянной скоростью при задающем воздействии $g(t) = \beta t + \alpha$ и с синусоидальным воздействием вида $g(t) = \alpha \cdot \sin(\omega t + \varphi)$.

Задание 6. *(Необязательное)* **Исследование линейной системы замкнутой регулятором общего вида.** Исследуйте рассмотренную на лекции модель тележки

$$\ddot{y} = u,$$

где в качестве управляющей переменной u подразумевается горизонтальная силу, приложенную к тележке. Задающее воздействие будет описываться функцией $g(t) = \alpha \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \cos(\omega_2 t),\ \omega_1 \neq \omega_2$. Придумайте регулятор общего вида

$$W(s) = \frac{\sum_{k=0}^{m} (b_k s^k)}{\sum_{k=0}^{m} (a_k s^k)},$$

способный свести ошибку замкнутой системы к нулю. Приведите графики ошибки $\varepsilon(t)$ и выхода $y(t)$.

Подсказка: *Вам потребуется регулятор общего вида не ниже пятого порядка. Попробуйте самостоятельно разобраться, почему, и обосновать это.*

Задание 7. *(Необязательное+)* **Исследование нелинейной системы замкнутой регулятором общего вида.** Исследуйте и постройте модель перевернутого маятника. Дифференциальное уравнение такой системы имеет вид

$$\ddot{\theta} - \frac{g_0}{l} \cdot \sin(\theta) = u.$$

Где g_0 – ускорение свободного падения, а l – длина маятника. В качестве управляющей переменной u примите момент силы, действующий на маятник. Задающее воздействие будет описываться функцией $g(t) = \alpha \cdot \sin(\omega_1 t)$. Придумайте регулятор общего вида

$$W(s) = \frac{\sum_{k=0}^{m} (b_k s^k)}{\sum_{k=0}^{m} (a_k s^k)},$$

способный свести ошибку замкнутой *линеаризованной* системы к нулю. Для поиска регулятора необходимо использовать линеаризированную модель обратного маятника, которая имеет дифференциальное уравнение вида

$$\ddot{\theta} - \frac{g_0}{l} \cdot \theta = u.$$

Приведите графики ошибки $\varepsilon(t)$ и выхода $y(t)$ для *нелинейной* системы.

Подсказка: *Рекомендуется рассмотреть как (относительно) малые, так и (относительно) большие значения α и ω_1.*