МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»
(Университет ИТМО)

Факультет систем управления и робототехники

Отчет по лабораторной работе №5
по дисциплине
«Адаптивное и робастное управление»

по теме:
«АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫМ ОБЪЕКТОМ ПО ВЫХОДУ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА АДАПТАЦИИ С РАСШИРЕННОЙ ОШИБКОЙ»

Вариант №13

Студенты:
Нгуен Тоан
Буй Динь Кхай Нгуен
Хюинь Тан Куонг

Научный руководитель:
Козачёк Ольга Андреевна

Санкт-Петербург – 2025

Содержание

Глава 1. Введение

Работа №8. Адаптивное управление линейным объектом по выходу на основе алгоритма адаптации с расширенной ошибкой.

1.1. Цель работы

Освоение метода расширенной ошибки в задачах адаптивного управления по выходу

1.2. Методические рекомендации.

До начала работы студенты должны ознакомиться с методом расширенной ошибки [7, 8, 20] и его применением в задачах адаптивного управления линейными объектами. Работа основана на результатах работы №7 и является ее логическим продолжением.

1.3. Теоретические сведения

Рассмотрим минимально-фазовую линейную модель объекта, представленную в форме «вход-выход»:

$$y^{(n)} + a_{n-1}y^{(n-1)} + ... + a_0 y = b_m u^{(m)} + ... + b_0 u \tag{1.1}$$

Вместе с моделью рассмотрим динамические фильтры:

$$\dot{\nu}_1 = \Lambda\nu_1 + e_{n-1}u \tag{1.2}$$

$$\dot{\nu}_2 = \Lambda\nu_2 + e_{n-1}y \tag{1.3}$$

где $\nu_1, \nu_2 \in \mathbb{R}^{n-1}$ — векторы состояния фильтров, $e_{n-1} = \mathrm{col}(0, ..., 0, 1)$, $e_{n-1} \in$ $\mathbb{R}^{n-1}$,

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -k_0 & -k_1 & -k_2 & \dots & -k_{n-2} \end{bmatrix}$$

Матрица Λ имеет сопровождающий полином:

$$K(s) = s^{n-1} + k_{n-2}s^{n-2} + k_{n-3}s^{n-3} + \dots + k_0$$

Лемма (R. V. Monopoli, 1974) Существует постоянный вектор $\Psi \in \mathbb{R}^{2n-1}$

$$y(t) = \frac{1}{K_M(s)}\left[\Psi^T\omega(t) + b_m u(t)\right] + \delta(t) \tag{1.4}$$

Где $\omega^T = \begin{bmatrix} v_1^T & v_2^T & y \end{bmatrix}$, $\delta(t)$ – экспоненциально затухающая функция, определяемая ненулевыми начальными условиями.

Постановка задачи управления по выходу. Рассмотрим задачу слежения выходной переменной y за эталонным сигналом y_M , формируемым эталонной моделью вида:

$$y_M(t) = \frac{k_0}{K_M(s)}[g(t)] \tag{1.5}$$

Цель управления:

$$\lim_{t\to\infty}(y_M(t) - y(t)) = 0 \tag{1.6}$$

Закон управления формируется в виде

$$u = \frac{1}{\hat{b}_m}\left(\hat{\Psi}^T\omega_p + k_0 g\right) \tag{1.7}$$

Введем в рассмотрение сигнал расширенной ошибки:

$$\hat{\varepsilon} = \varepsilon - \hat{\Psi}^T\overline{\omega}_p + \frac{1}{K_M(s)}\left[\hat{\Psi}^T\omega_p\right] \tag{1.8}$$

где $\varepsilon = y_M - y$, $\omega_p = -\omega$, $\overline{\omega}_p = \frac{1}{K_M(s)}\left[\omega_p\right]$.

Тогда с учетом (8.1) (см. методическое пособие) последнее равенство примет следующий вид:

$$\hat{\varepsilon} = \tilde{\Psi}^T\overline{\omega}_p \tag{1.9}$$

Последнее выражение представляет собой статическую модель ошибки, на базе которой строится алгоритм адаптации

$$\dot{\hat{\Psi}} = \gamma\Gamma\frac{\overline{\omega}_p}{1+\overline{\omega}_p^T\overline{\omega}_p}\hat{\varepsilon} \tag{1.10}$$

где:

$$\Gamma = \begin{cases} I_{2n} \text{ если } \hat{b}_{m(t)} \geq b_{\min} \\ I_{2n} - \xi_{2n}\xi_{2n}^T \text{ если } \hat{b}_{m(t)} < b_{\min} \end{cases} \tag{1.11}$$

Глава 2. Порядок выполнения работы

$$a_0 = 6, \quad a_1 = 7, \quad b_0 = 6$$

$$k_{M1} = 2, \quad k_{M2} = 1, \quad k_0 = 3$$

$$g(t) = 3 \ \mathrm{sign}(\sin(0.5t))$$

2.1. Задание 1

На основе фильтров (7.2), (7.3), настраиваемого регулятора (7.8), алгоритма адаптации (8.4), расширенной ошибки (8.2) и данных, представленных в Таблице 8.1, построить стабилизирующее адаптивное управление ($g = 0$). Начальное условие в алгоритме адаптации (8.4) $\hat{b}_{m(0)} = 1$. Согласно вариантам заданий $m = 1$, $\hat{b}_m \equiv \hat{b}_1$, $b_m \equiv b_1$.

Провести моделирование для трех различных коэффициентов γ. По результатам моделирования построить три графика. На первом графике отобразить выходную переменную y, на втором графике □ управляющее воздействие u, на третьем γ оценки параметров $\hat{\Psi}_p$.

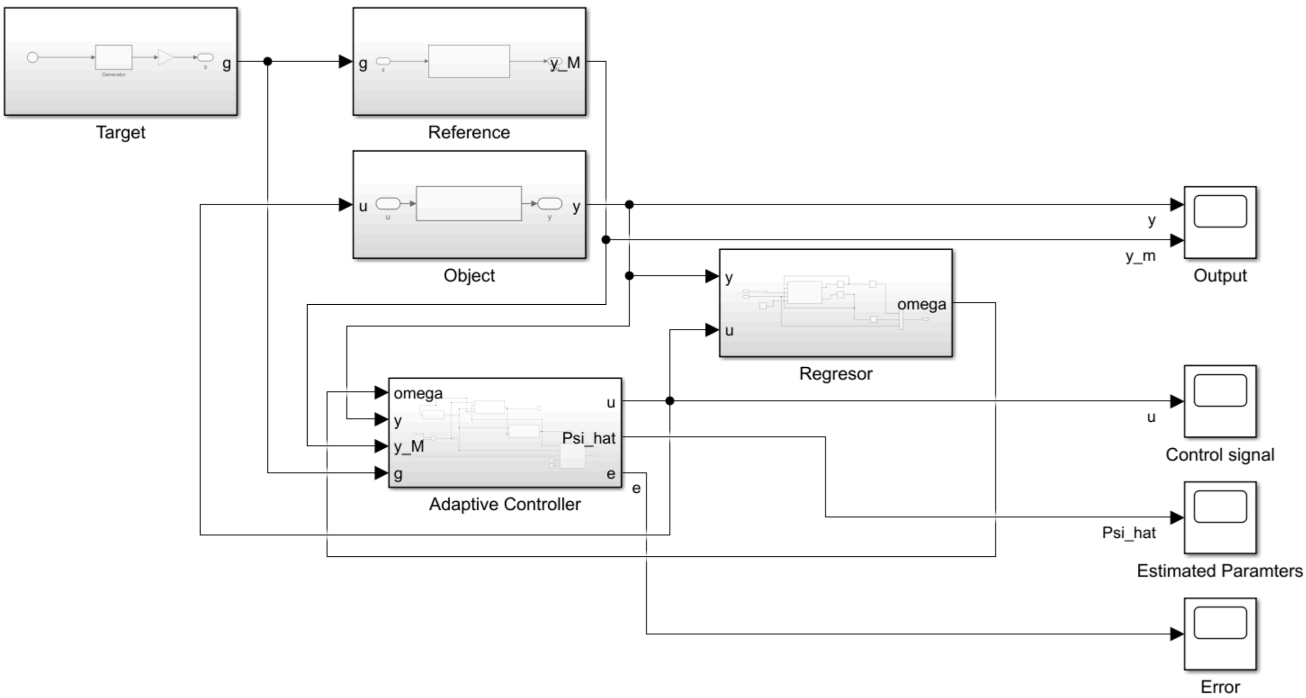

Рисунок 2.1 – График моделирования

Результаты эксперимента:

- При $\gamma = 1$:

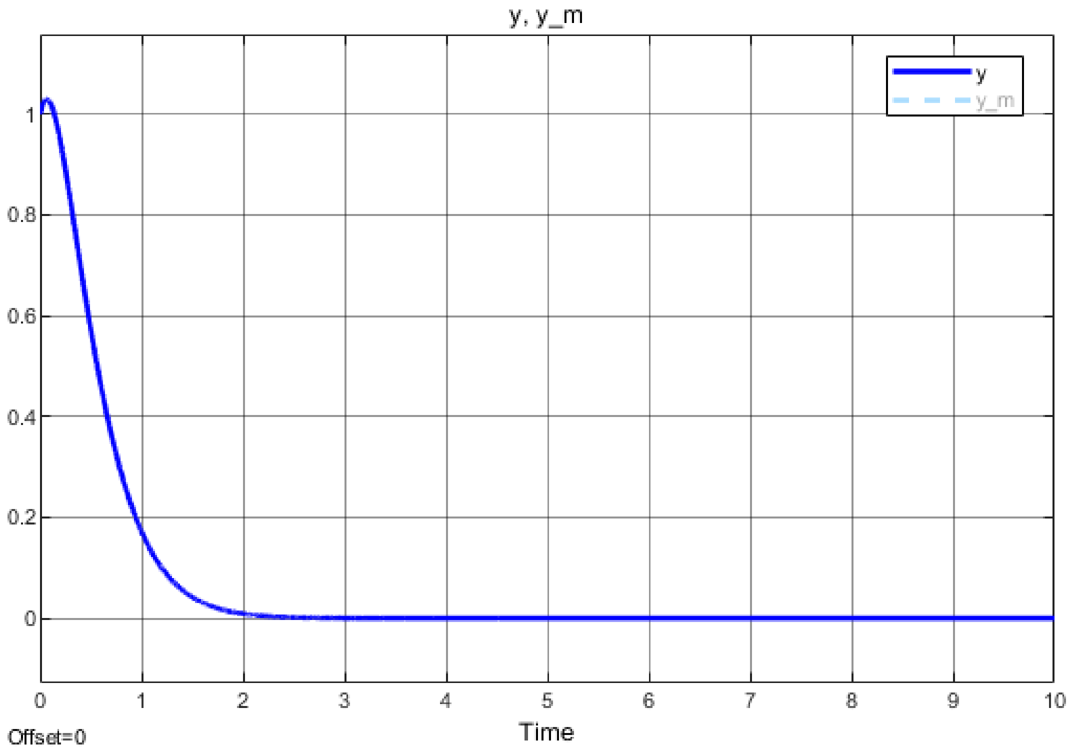

Рисунок 2.2 – График выходной переменной y при $\gamma = 1$

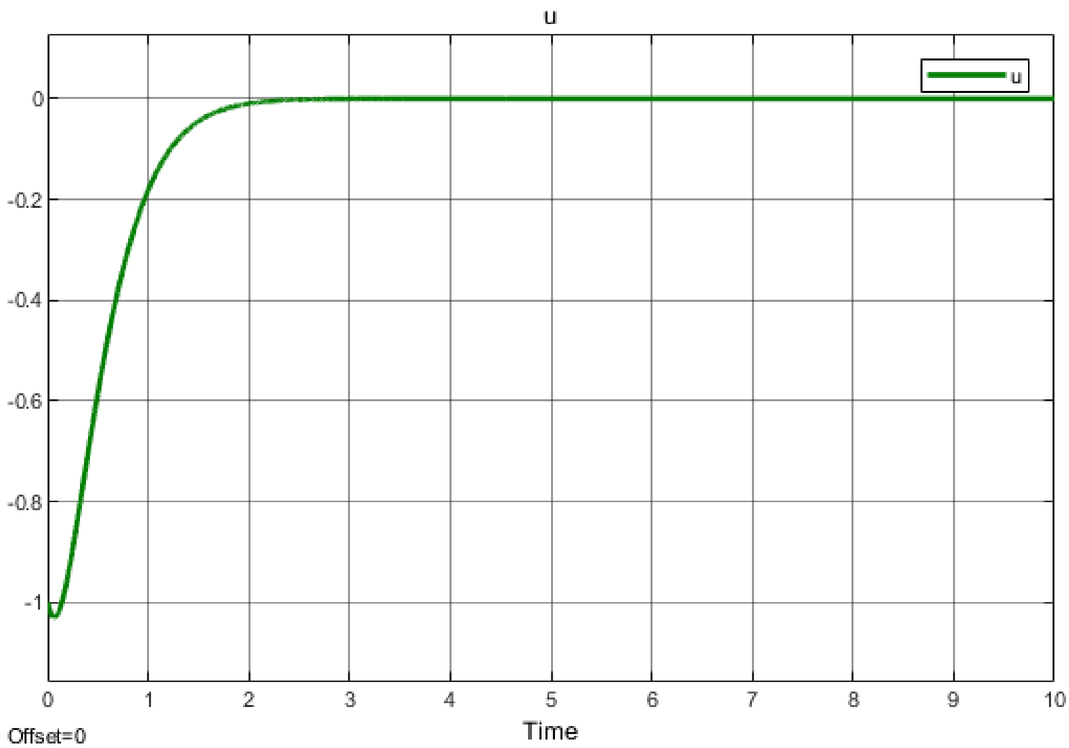

Рисунок 2.3 – График управляющего воздействия u при $\gamma = 1$

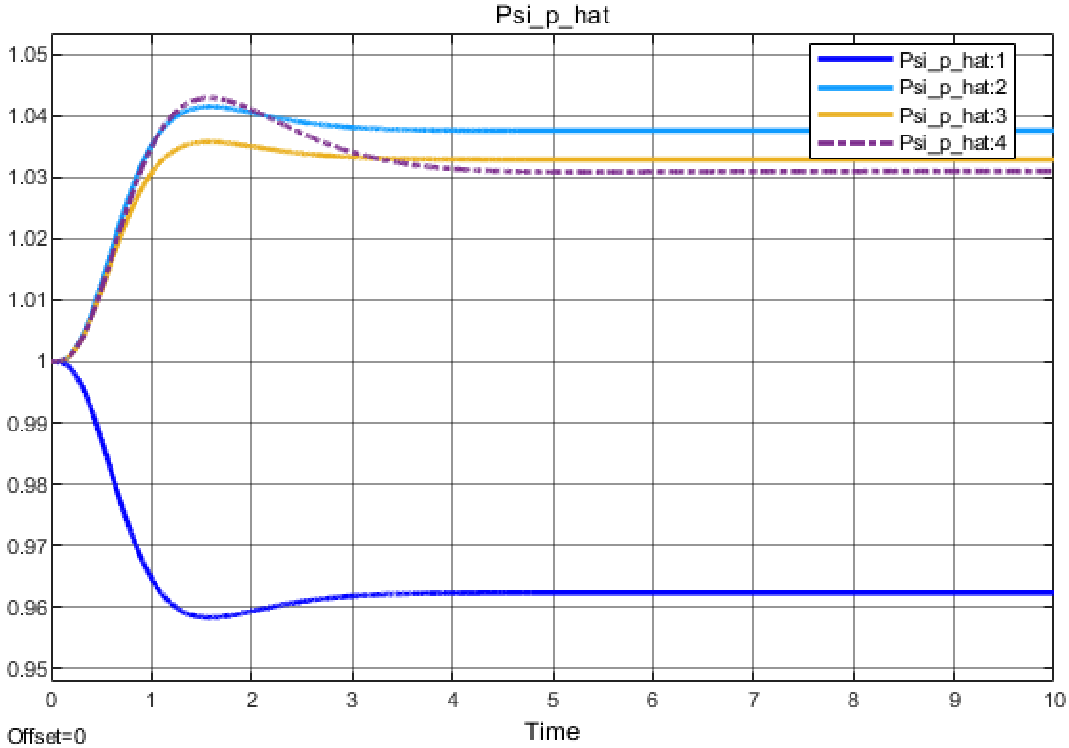

Рисунок 2.4 – График оценки параметров $\hat{\Psi}_p$ при $\gamma = 1$

- При $\gamma = 10$:

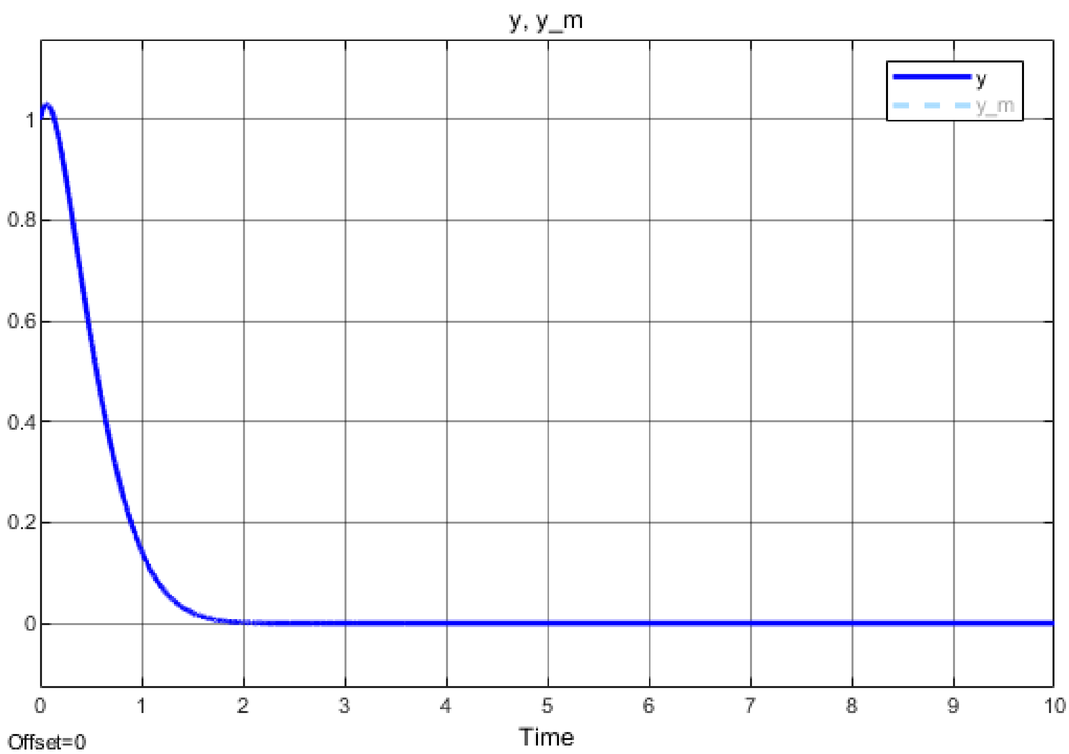

Рисунок 2.5 – График выходной переменной y при $\gamma = 10$

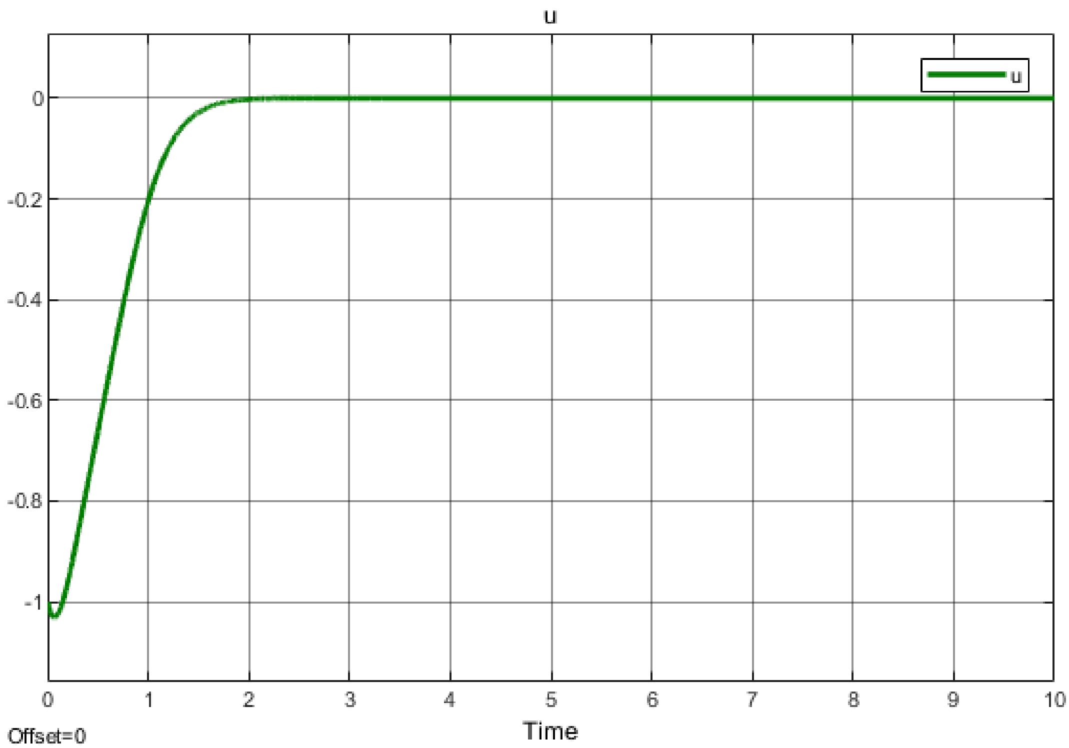

Рисунок 2.6 – График управляющего воздействия u при $\gamma = 10$

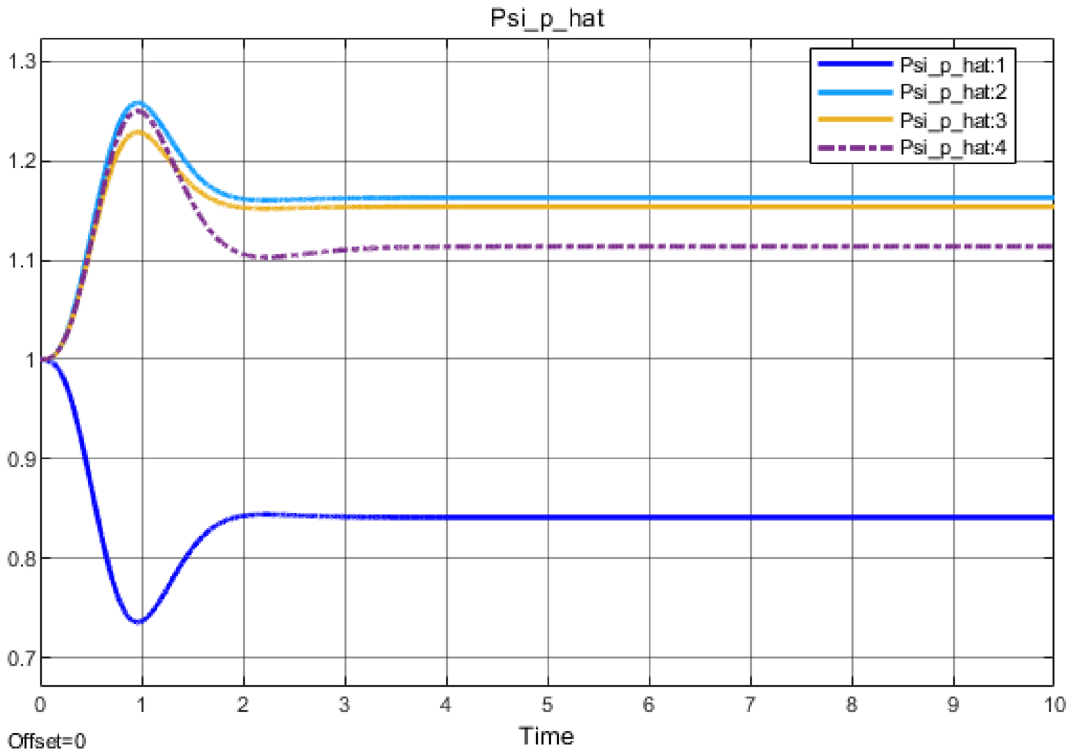

Рисунок 2.7 – График оценки параметров $\hat{\Psi}_p$ при $\gamma = 10$

- При $\gamma = 100$:

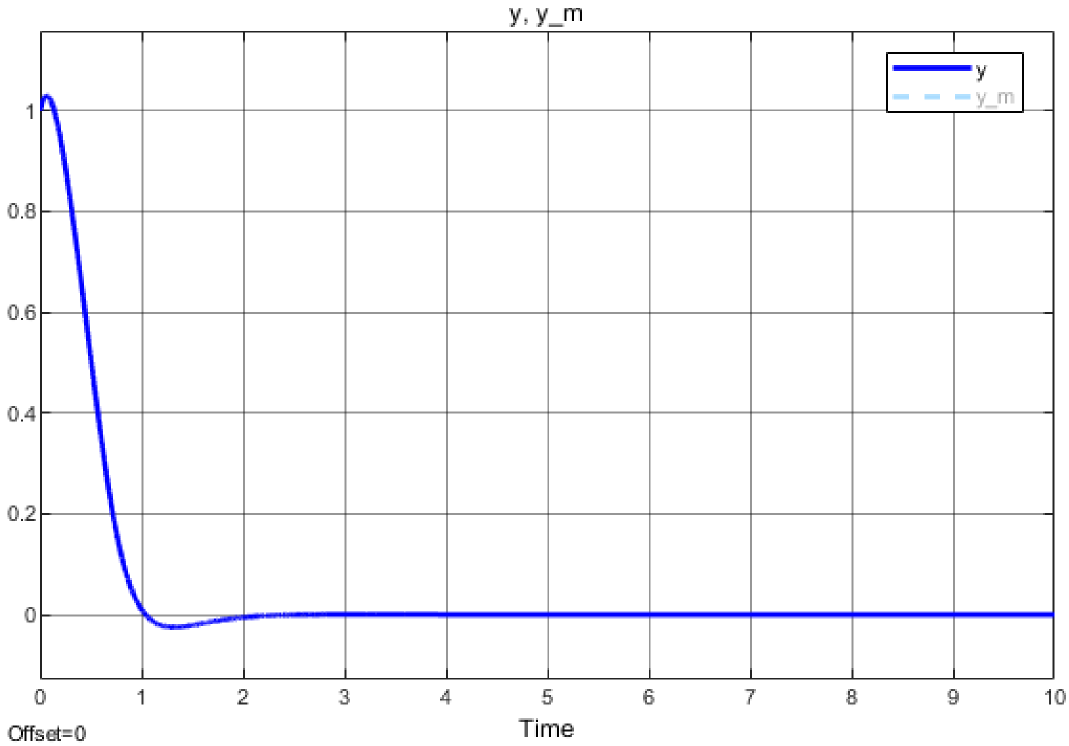

Рисунок 2.8 – График выходной переменной y при $\gamma = 100$

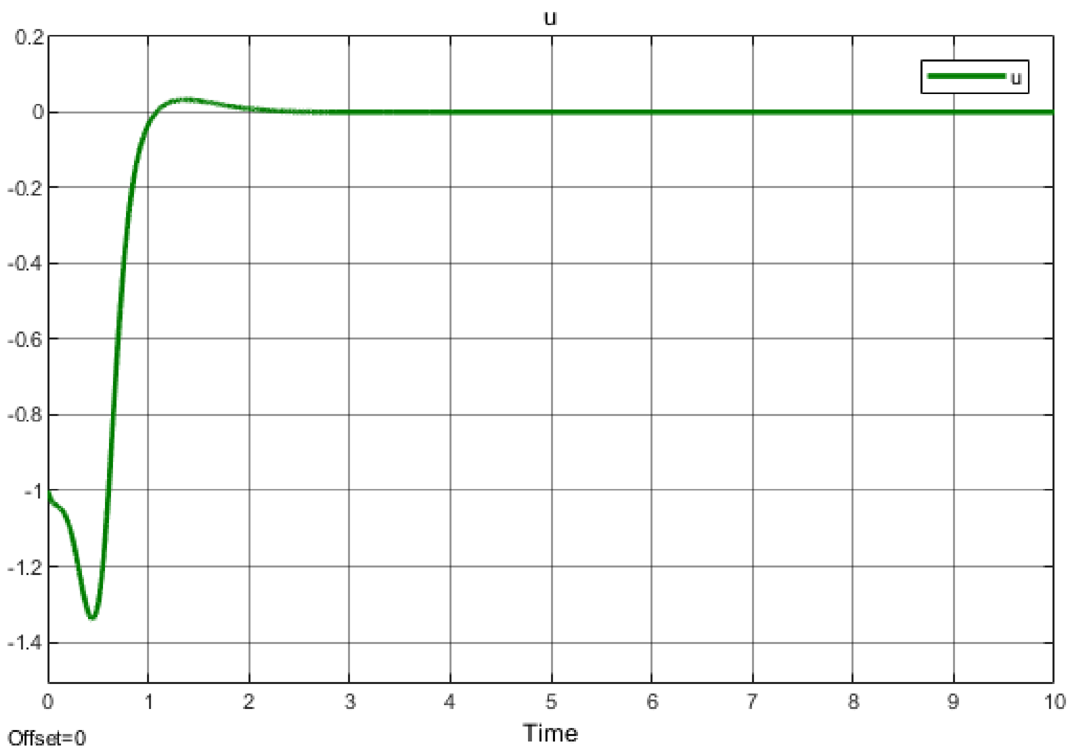

Рисунок 2.9 – График управляющего воздействия u при $\gamma = 100$

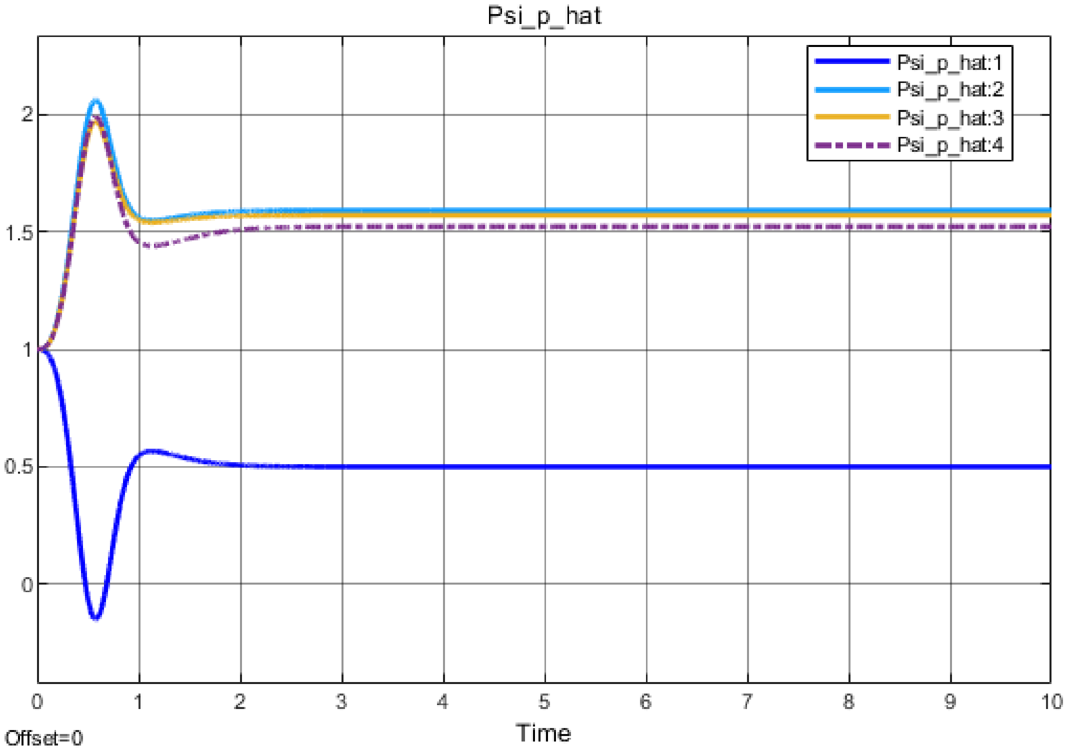

Рисунок 2.10 – График оценки параметров $\hat{\Psi}_p$ при $\gamma = 100$

2.2. Задание 2

На основе эталонной модели (7.5), фильтров (7.2), (7.3), настраиваемого регулятора (7.8), алгоритма адаптации (8.4) и данных, представленных в Таблице 8.1, построить следящий адаптивный регулятор.

Провести моделирование для трех различных коэффициентов γ. По результатам моделирования построить три графика моделирования. На первом графике отобразить выходную переменную y и ее желаемое значение y_M, на втором графике – управляющее воздействие u , на третьем – оценки параметров $\hat{\Psi}_p$.

Результаты экспериментов:

1. Удерживая $\gamma_2 = 0.05$

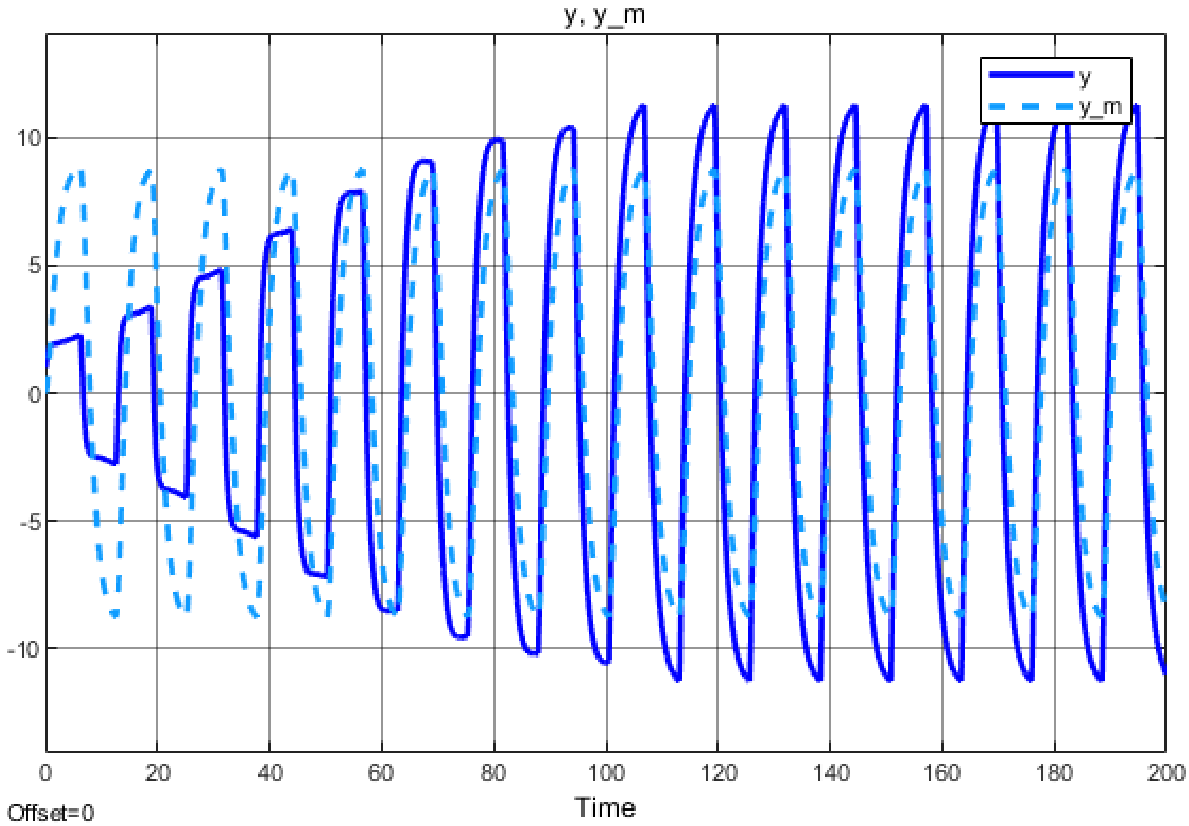

Рисунок 2.11 – График выходной переменной y и желаемого значения y_M при $\gamma = 0.05$

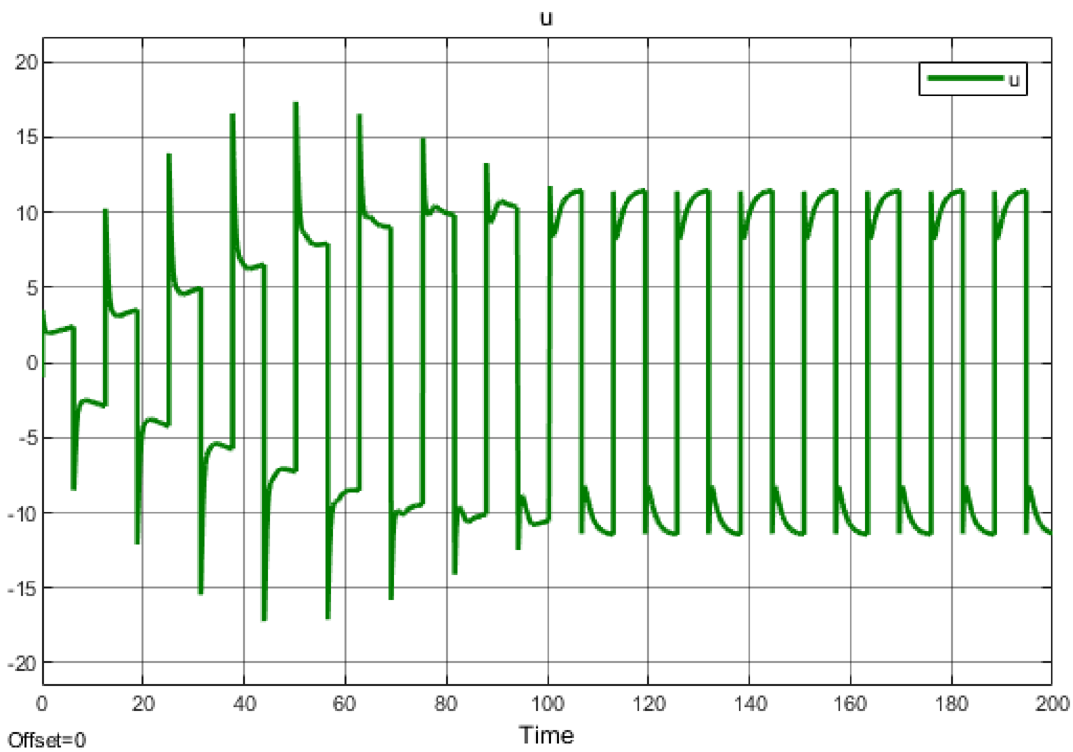

Рисунок 2.12 – График управляющего воздействия u при $\gamma = 0.05$

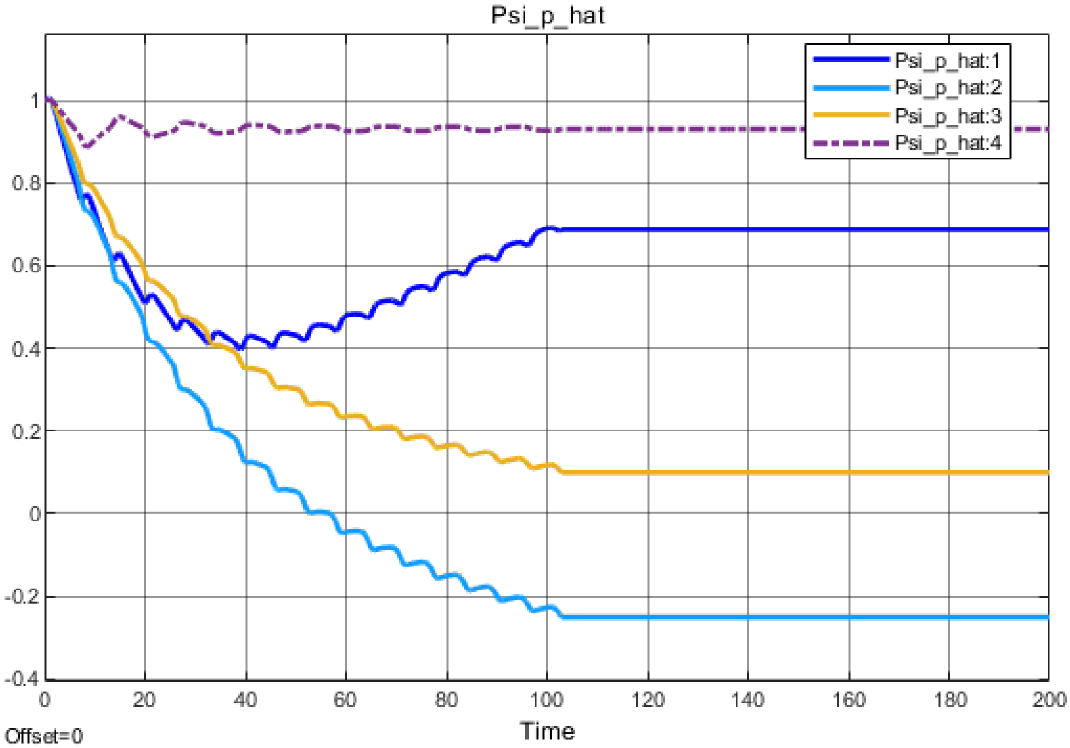

Рисунок 2.13 – График оценки параметров $\hat{\Psi}_p$ при $\gamma = 0.05$

2. Удерживая $\gamma_2 = 0.1$

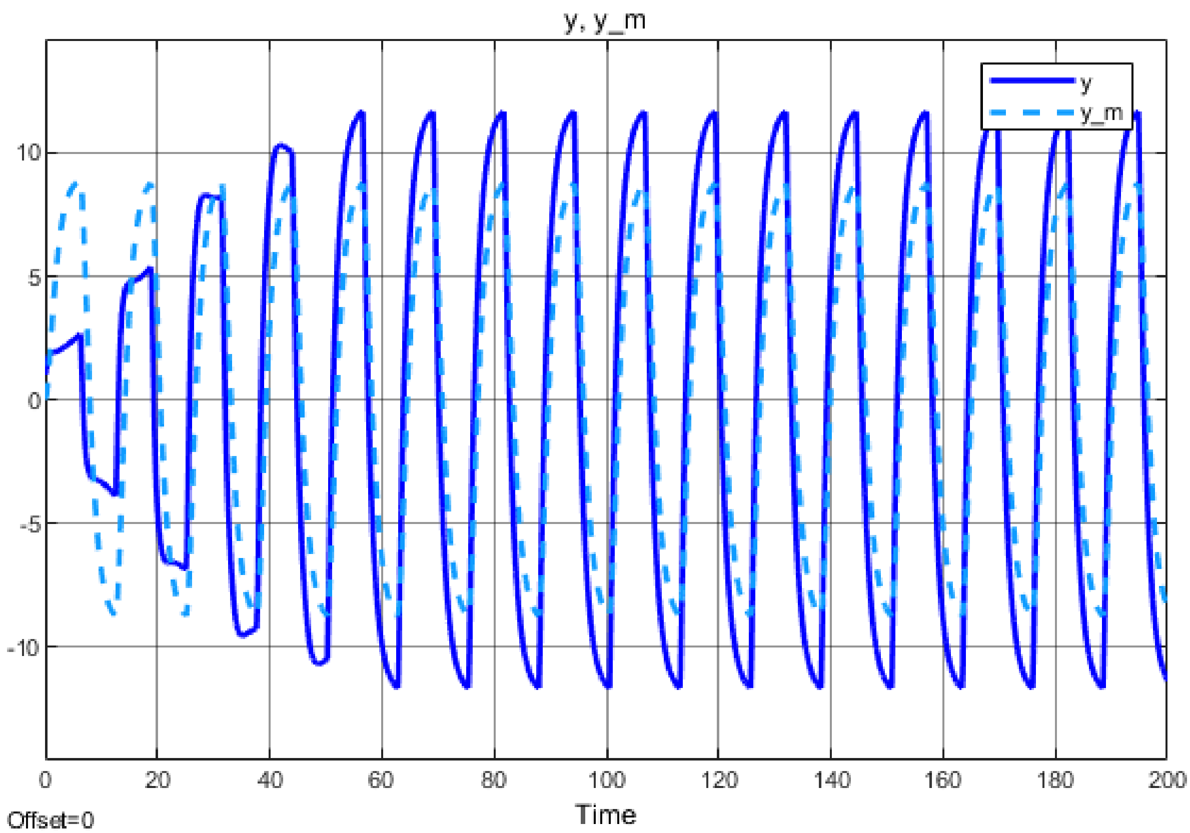

Рисунок 2.14 – График выходной переменной y и желаемого значения y_M при $\gamma = 0.5$

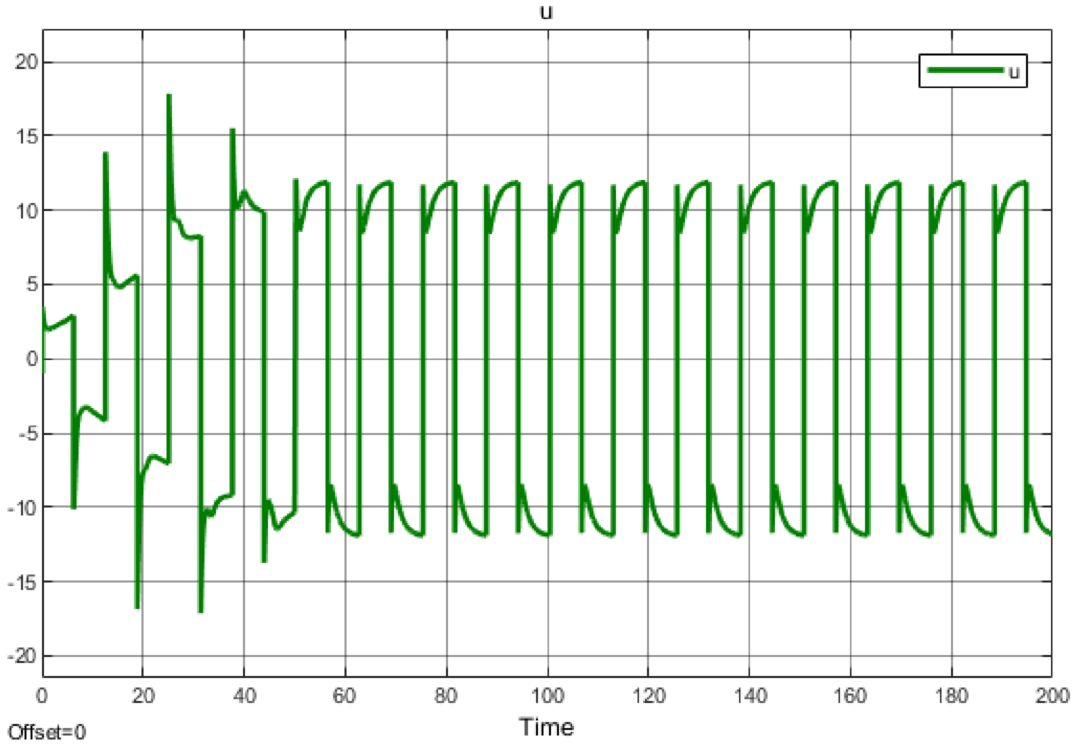

Рисунок 2.15 – График управляющего воздействия u при $\gamma = 0.1$

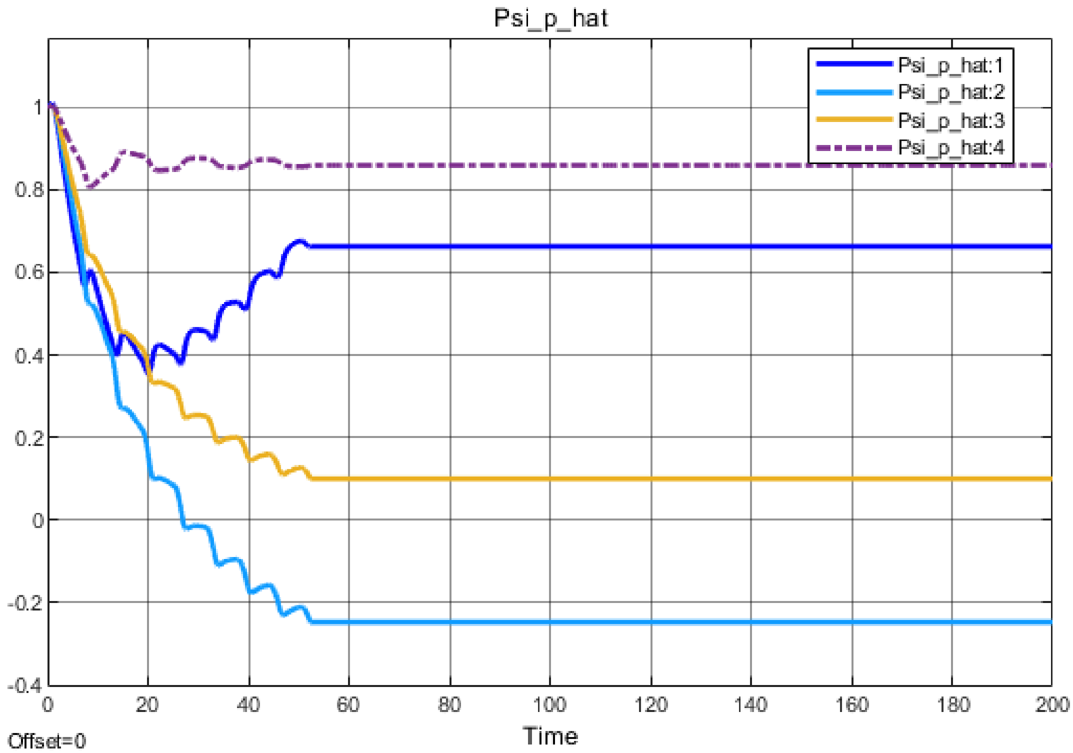

Рисунок 2.16 – График оценки параметров $\hat{\Psi}_p$ при $\gamma = 0.1$

3. Удерживая $\gamma_2 = 0.5$

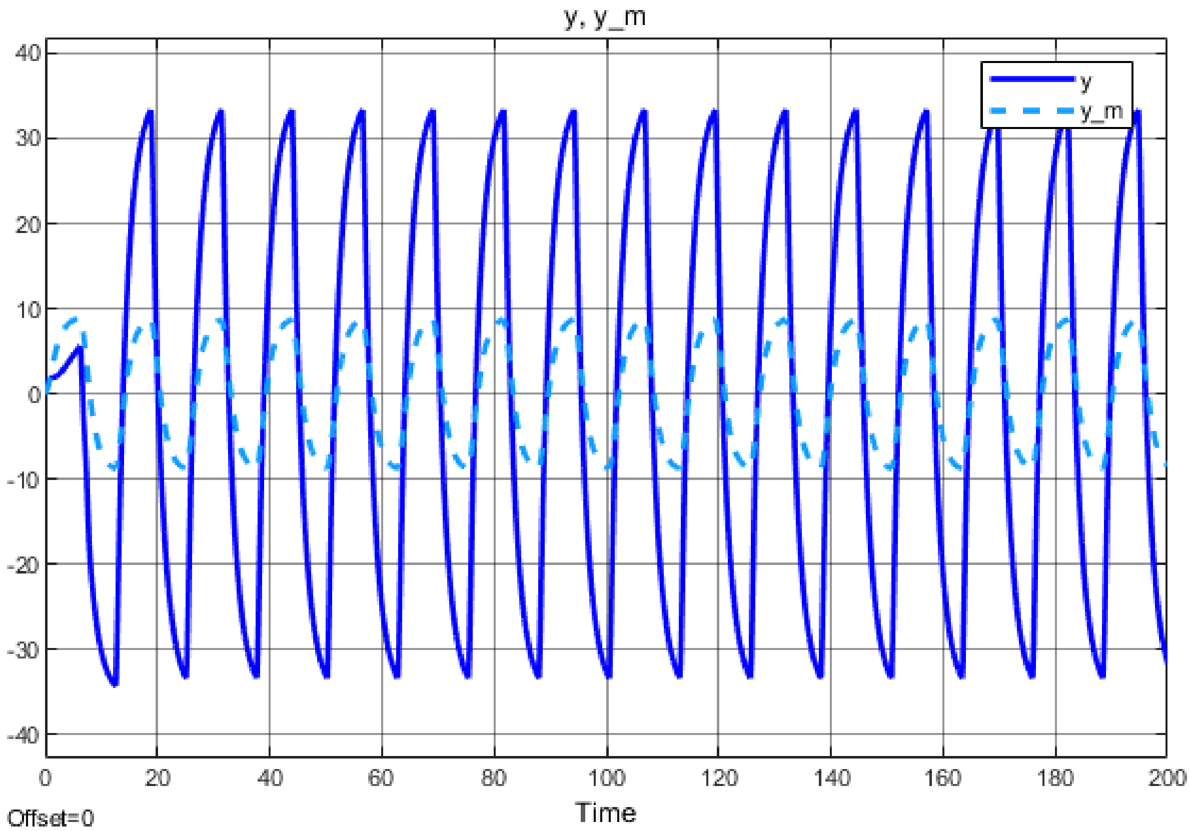

Рисунок 2.17 – График выходной переменной y и желаемого значения y_M при $\gamma = 0.5$

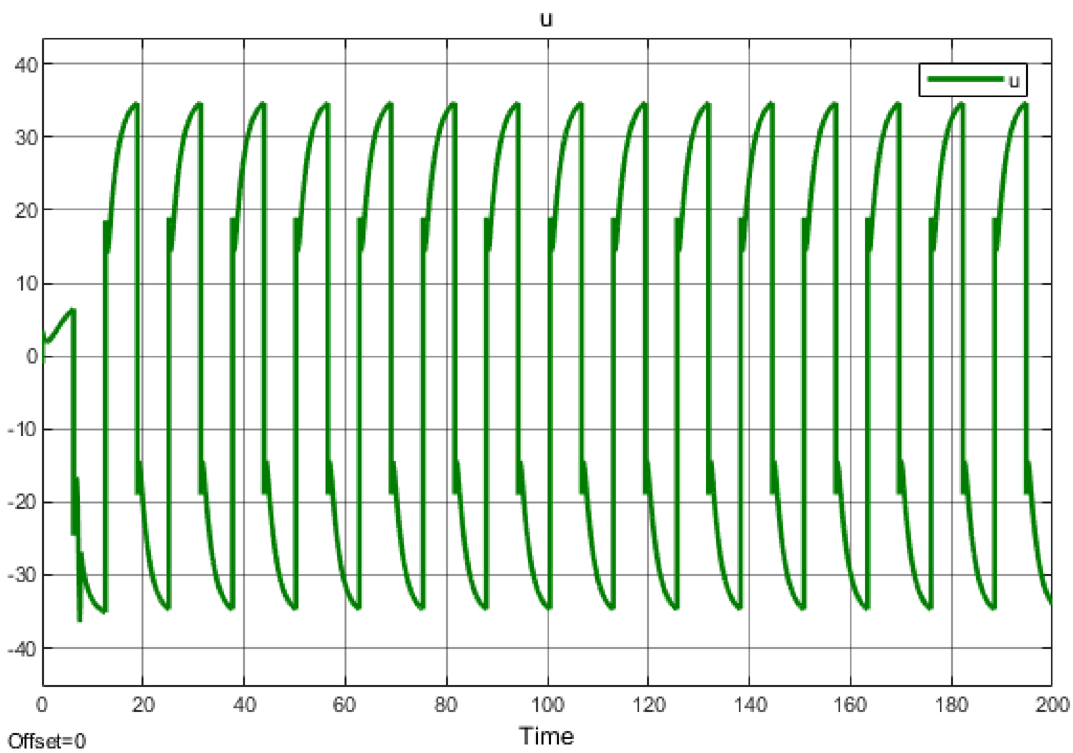

Рисунок 2.18 – График управляющего воздействия u при $\gamma = 0.5$

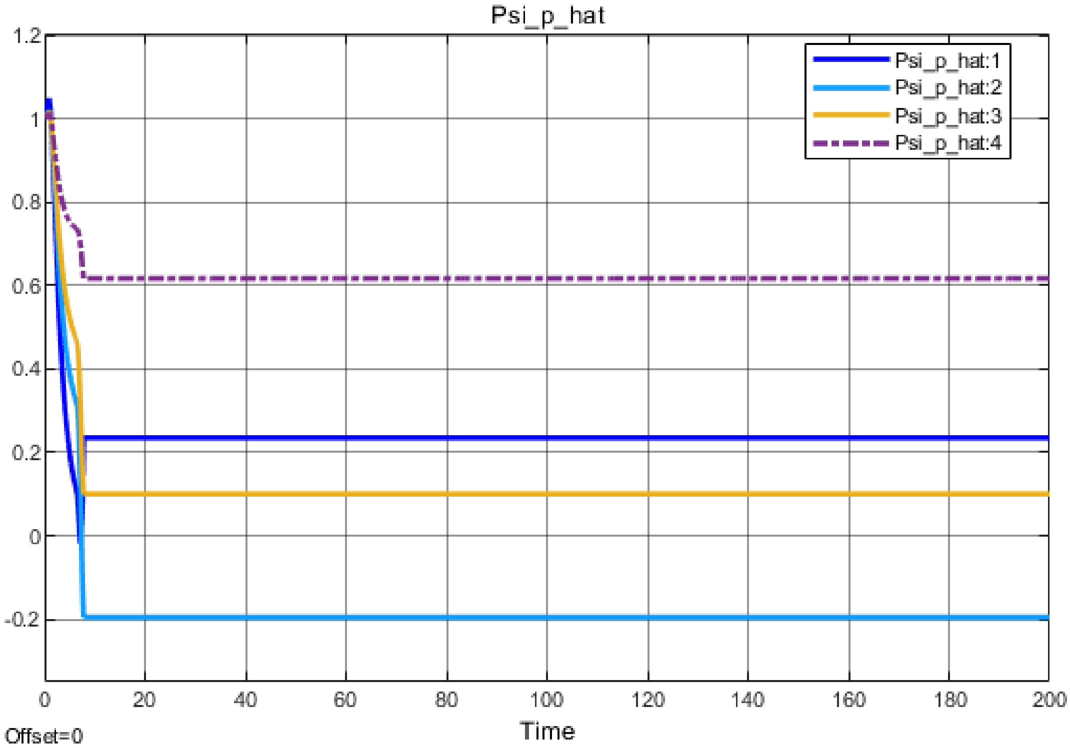

Рисунок 2.19 – График оценки параметров $\hat{\Psi}_p$ при $\gamma = 0.5$

Выводы

Для первого задания, когда $g = 0$: моделирование эквивалентно управлению системой к состоянию 0. При увеличении значения γ система стабилизируется быстрее, но перерегулирование будет выше.

Для второго задания: мы осуществляем управление системой, следуя эталонной модели. При увеличении значения γ значение Ψ_p стабилизируется быстрее, но ошибка между y и y_M увеличивается, и управляющий сигнал также возрастает.

Список рисунков

Список таблиц