

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Кафедра Систем управления и информатики Группа P4235

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3
**по курсу: «Адаптивное и робастное управление нелинейными
системами»**

Адаптивное управление линейным многомерным объектом
по состоянию

Вариант №2

Авторы работы:

Антонов Е.С.,
Артемов К.А.

Преподаватель:

Герасимов Д.Н.

«15» сентября 2017 г.

Работа выполнена с оценкой _____

Дата защиты «__» 2017 г.

Санкт-Петербург
2017 г.

1 Цель работы

Освоение принципов построения адаптивной системы управления многомерным объектом.

2 Теоретические сведения

Рассматриваемый объект управления:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + bu, \\ y &= Cx,\end{aligned}\tag{1}$$

где $x \in \mathbb{R}^n$ — вектор состояния, $y, u \in \mathbb{R}^1$ — регулируемая переменная и сигнал управления соответственно,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 & \dots & -a_{n-1} \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ b_0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix},\tag{2}$$

$a_i, i = \overline{0, n-1}$ — неизвестные параметры, b_0 — известный параметр.

Задача управления заключается в компенсации параметрической неопределенности объекта и обеспечении следующего целевого равенства:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (x_m(t) - x(t)) = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0,\tag{3}$$

где $e = x_m - x$ — вектор ошибки управления, $x_m \in \mathbb{R}^n$ — вектор, генерируемый эталонной моделью

$$\begin{aligned}\dot{x}_M &= A_M x_M + b_M g, \\ y_M &= C_M x_M,\end{aligned}\tag{4}$$

с задающим воздействием $g(t)$ и матрицами вида

$$A_M = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_{M0} & -a_{M1} & -a_{M2} & \dots & -a_{Mn-1} \end{bmatrix}, \quad b_M = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ a_{M0} \end{bmatrix}, \quad C_M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix},\tag{5}$$

Решающие поставленную задачу настраиваемый регулятор

$$u = \frac{1}{b_0} (\hat{\theta}^T x + a_{M0} g),\tag{6}$$

и алгоритм адаптации

$$\dot{\hat{\theta}} = \gamma x k^T P e.\tag{7}$$

где $k = [0 \dots 0 1]^T$, $P = P^T \succ 0$ — матрица, являющаяся решением уравнения $A_M^T P + P A_M = -Q$, где $\forall Q : Q = Q^T \succ 0$

3 Исходные данные

Варианту №2 соответствует следующий набор исходных данных:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad b_0 = 2, \quad t_{\text{п}} = 0.3 \text{ с}, \quad \sigma = 0\%, \quad g(t) = \cos t + 3 \sin 2t + 5. \quad (8)$$

4 Результаты расчетов и моделирования

4.1 Построение эталонной модели

Для обеспечения требуемых показателей качества в качестве характеристического полинома матрицы A_M выбран стандартный полином Ньютона второго порядка

$$(\lambda + \omega_0)^2 = \lambda^2 + 32\lambda + 256 \quad (9)$$

где

$$\omega_0 = \frac{4.8}{t_{\text{п}}} = \frac{4.8}{0.3} = 16 \quad (10)$$

где, в свою очередь, 4.8 с — стандартное время переходного процесса. Итого матрица A_M имеет следующий вид

$$A_M = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -256 & -32 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

График переходной функции эталонной модели и ее схема моделирования показаны на рисунке 1.

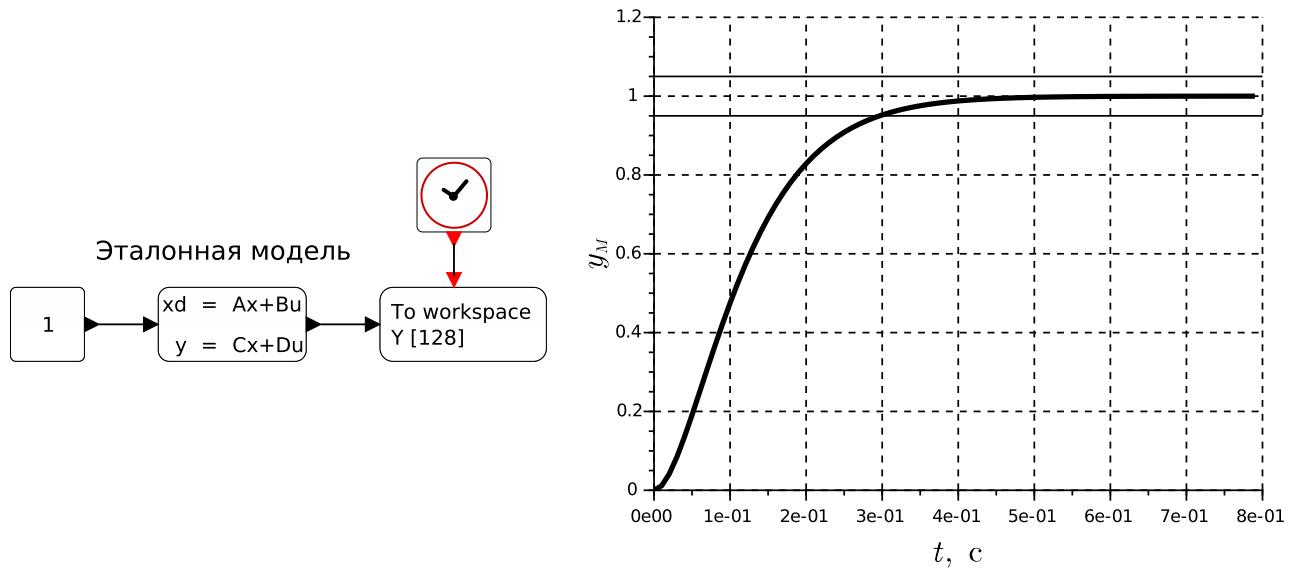
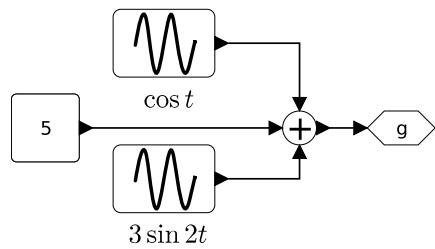


Рисунок 1 – Схема моделирования и график переходной функции эталонной модели.

4.2 Моделирование работы неадаптивной системы

Результаты моделирования неадаптивной системы управления и соответствующая схема моделирования показаны на рисунках 2–5.

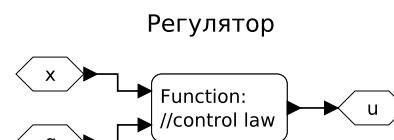
Формирование сигнала задания



Эталонная модель

$$g \rightarrow \begin{cases} xd = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases}$$

$A = \text{eye}(2,2)$



Объект управления

$$u \rightarrow \begin{cases} x = \begin{matrix} xd = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \\ C = \text{eye}(2,2) \end{matrix} \end{cases}$$

Сохранение результатов

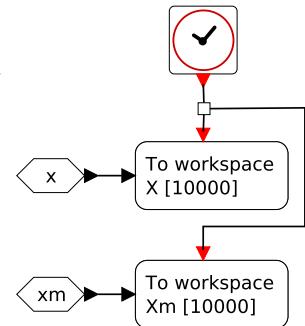


Рисунок 2 – Схема моделирования процесса работы рассматриваемой системы под управлением ненастраиваемого регулятора.

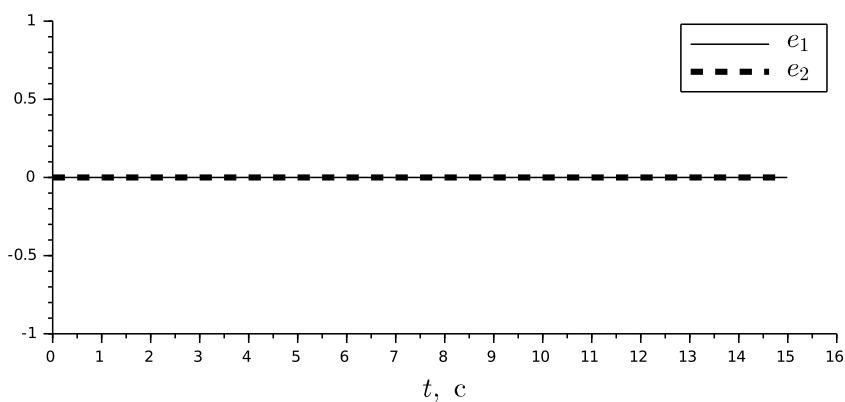
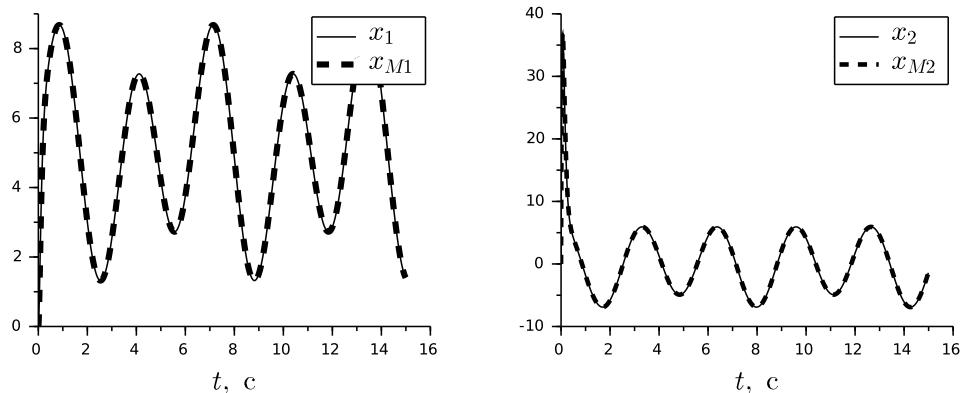


Рисунок 3 – Графики переходных процессов при $a_0 = -1$, $a_1 = 1$ ($\theta_1 = -257$, $\theta_2 = -31$).

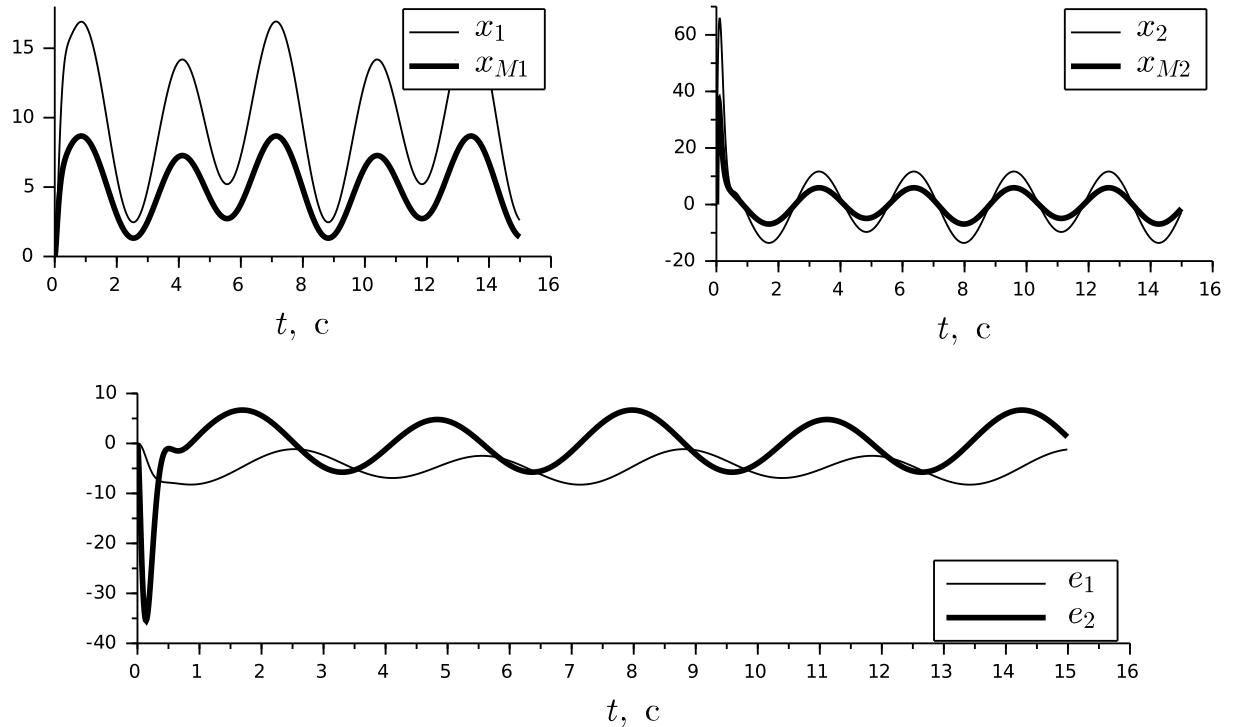


Рисунок 4 – Графики переходных процессов при $a_0 = -125$, $a_1 = -15$ ($\theta_1 = -381$, $\theta_2 = -47$).

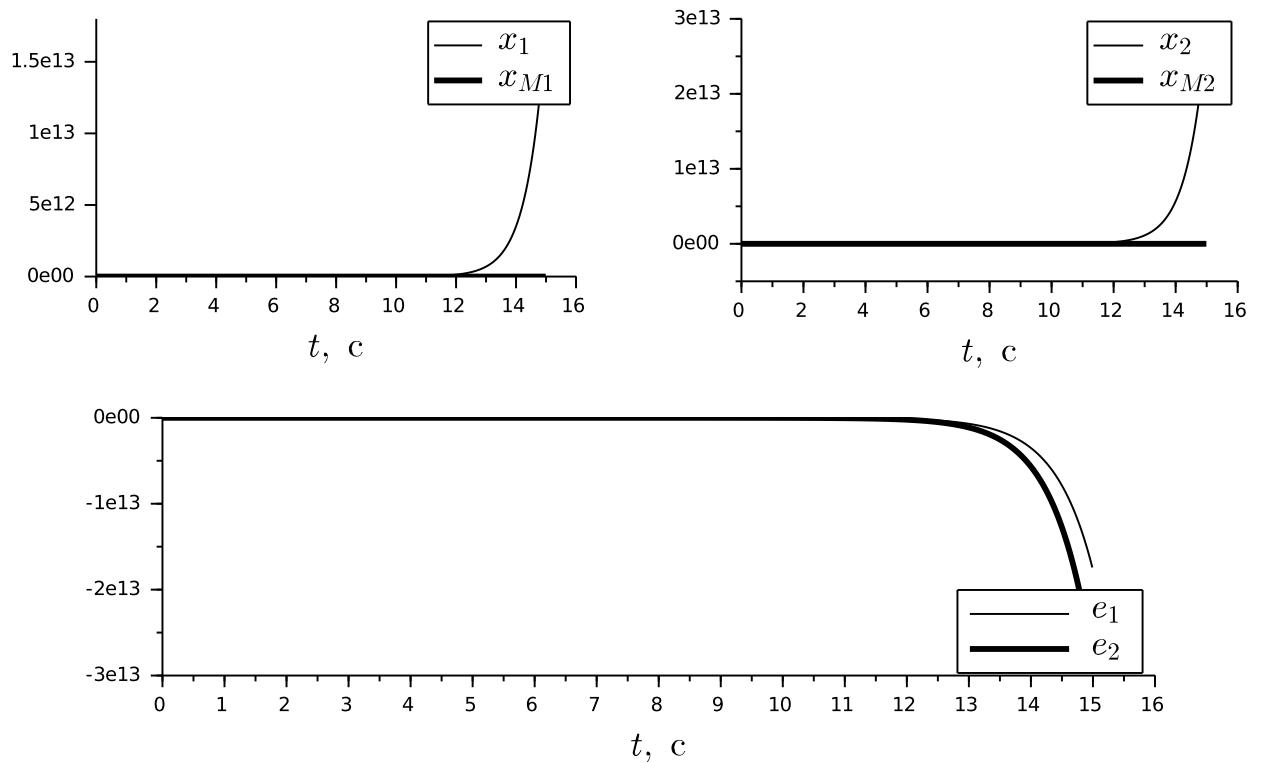


Рисунок 5 – Графики переходных процессов при $a_0 = -258$, $a_1 = -32$ ($\theta_1 = -514$, $\theta_2 = -64$).

4.3 Моделирование работы адаптивной системы

Результаты моделирования работы адаптивной системы управления и соответствующая схема моделирования показаны на рисунках 6–13.

Матрица P , которая использовалась в экспериментах, равна:

$$P = \arg\{A_M^T P + PA_M = -I\} = \begin{bmatrix} 4.078125 & 0.0019531 \\ 0.0019531 & 0.0156860 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Экспериментам, чьи результаты изображены на рисунках 7–9, соответствует значение коэффициента адаптации, равное $\gamma = 1000$.

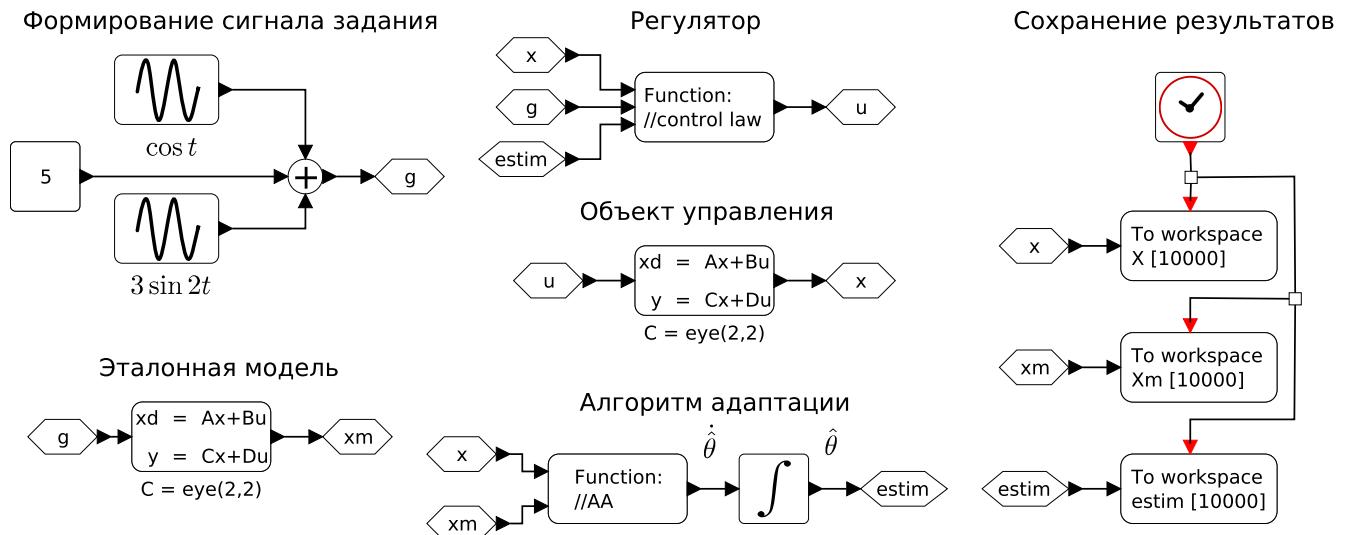


Рисунок 6 – Схема моделирования процесса управления с помощью настраиваемого регулятора.

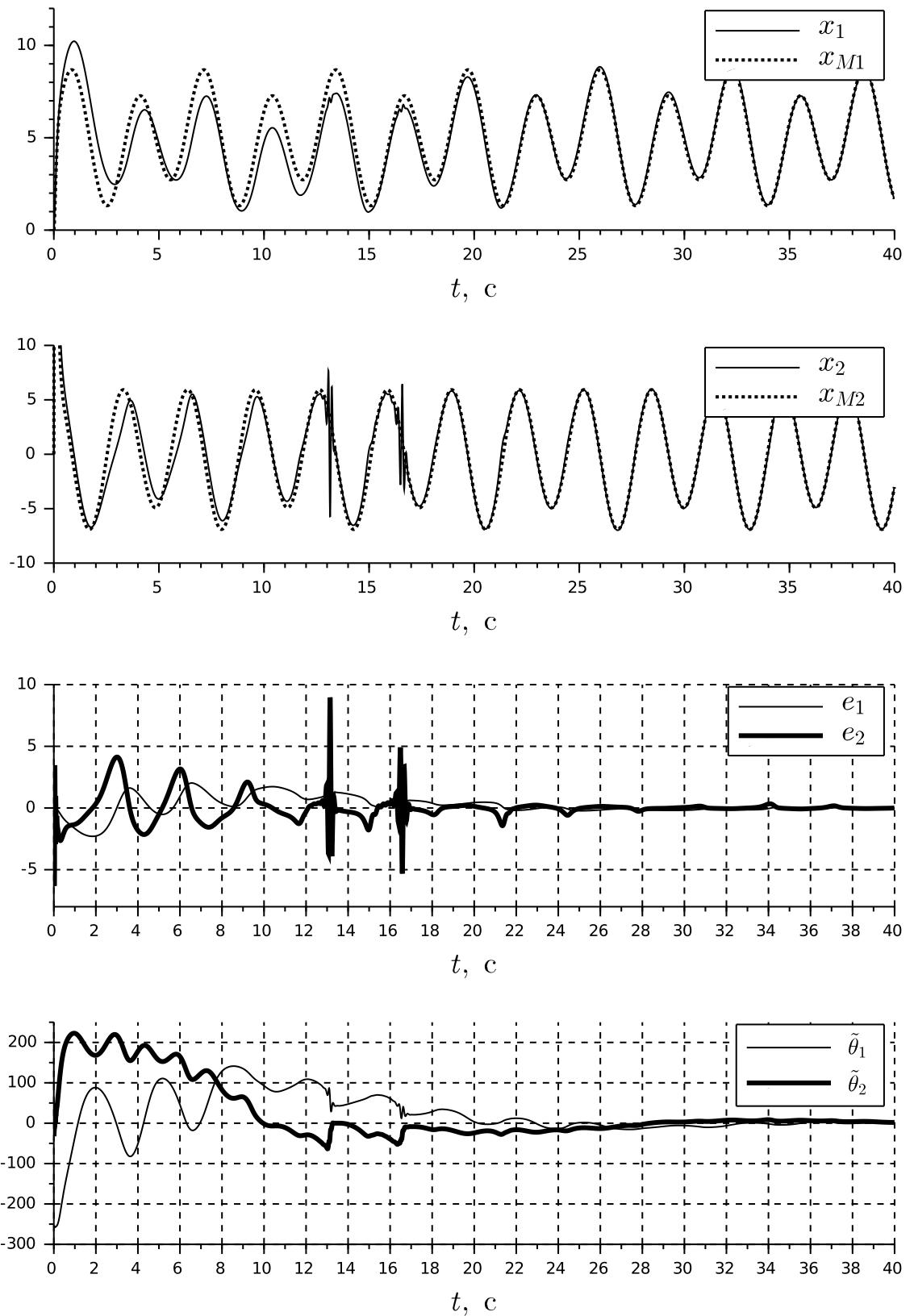


Рисунок 7 – Графики переходных процессов при $a_0 = -1$, $a_1 = 1$ ($\theta_1 = -257$, $\theta_2 = -31$).

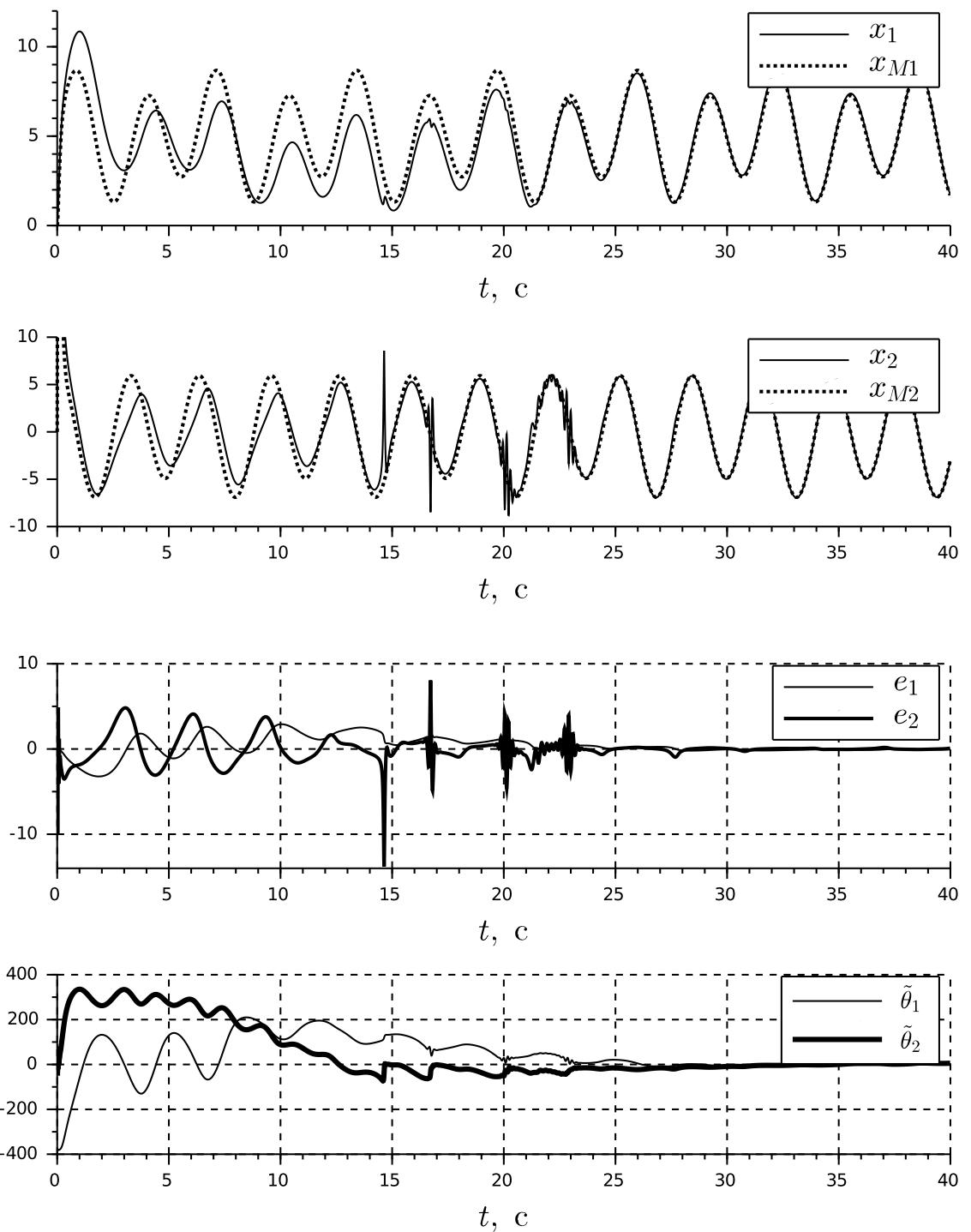


Рисунок 8 – Графики переходных процессов при $a_0 = -125$, $a_1 = -15$ ($\theta_1 = -381$, $\theta_2 = -47$).

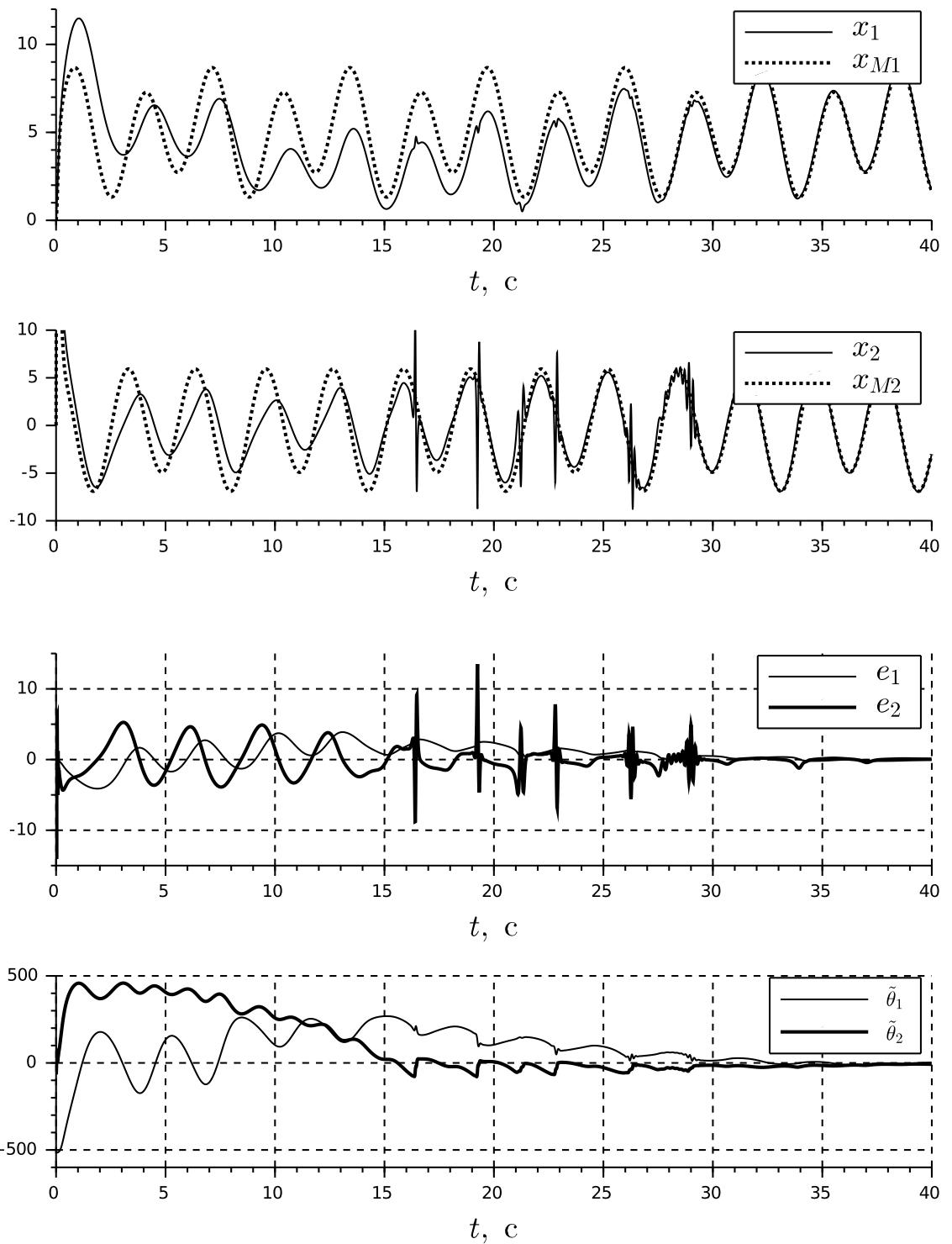


Рисунок 9 – Графики переходных процессов при $a_0 = -258$, $a_1 = -32$ ($\theta_1 = -514$, $\theta_2 = -64$).

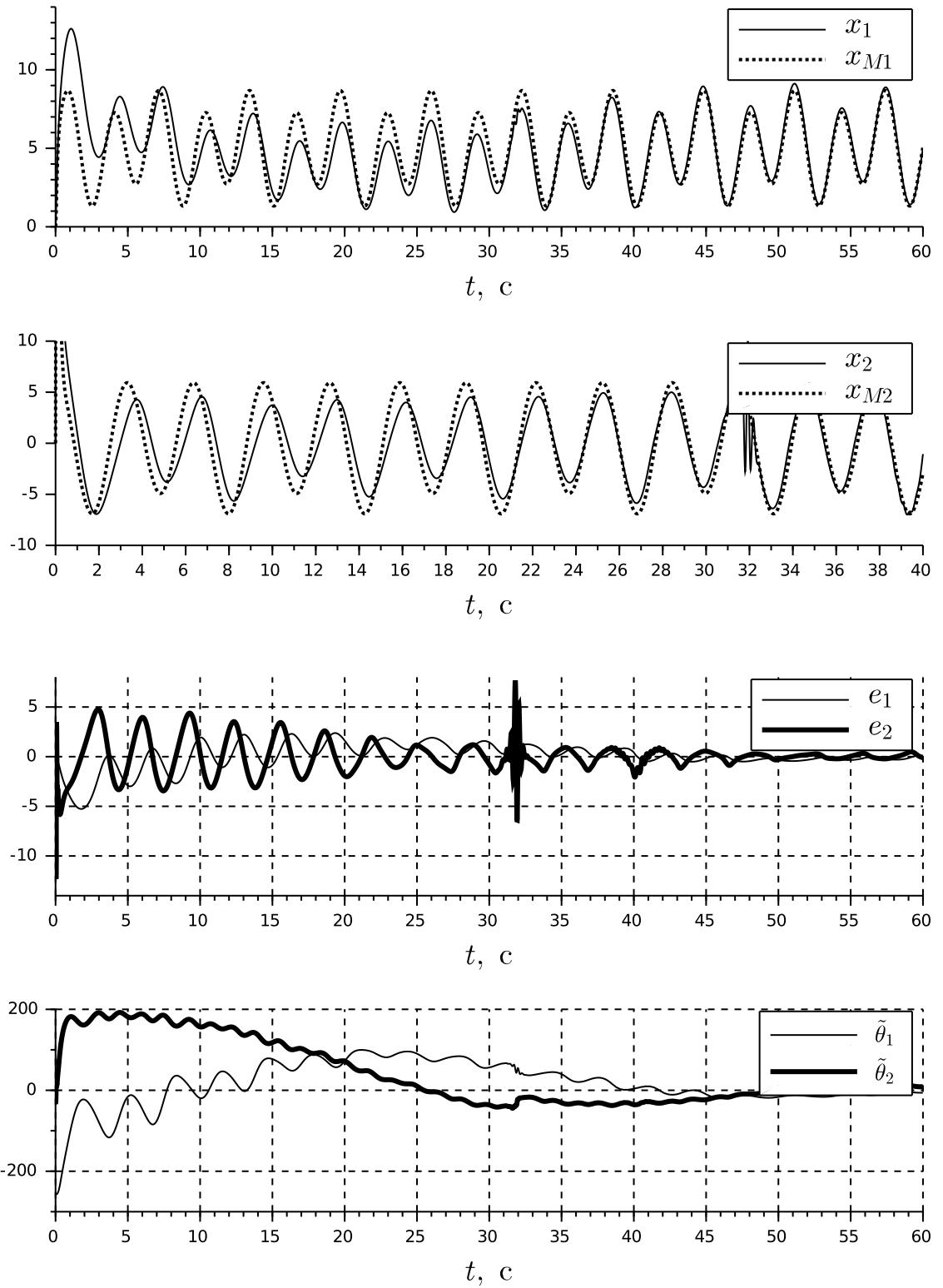


Рисунок 10 – Графики переходных процессов при $a_0 = -1$, $a_1 = 1$, $\gamma = 250$.

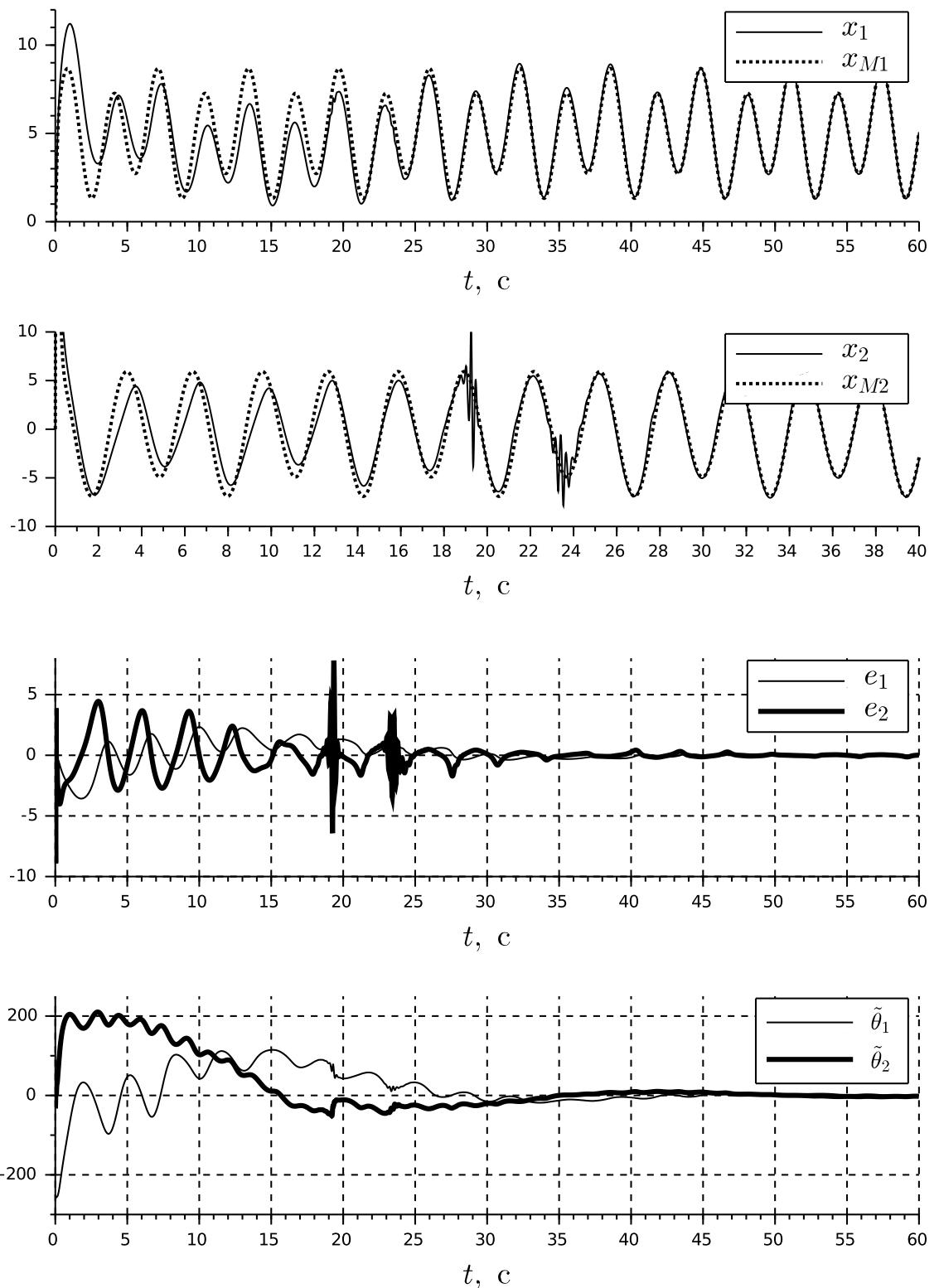


Рисунок 11 – Графики переходных процессов при $a_0 = -1$, $a_1 = 1$, $\gamma = 500$.

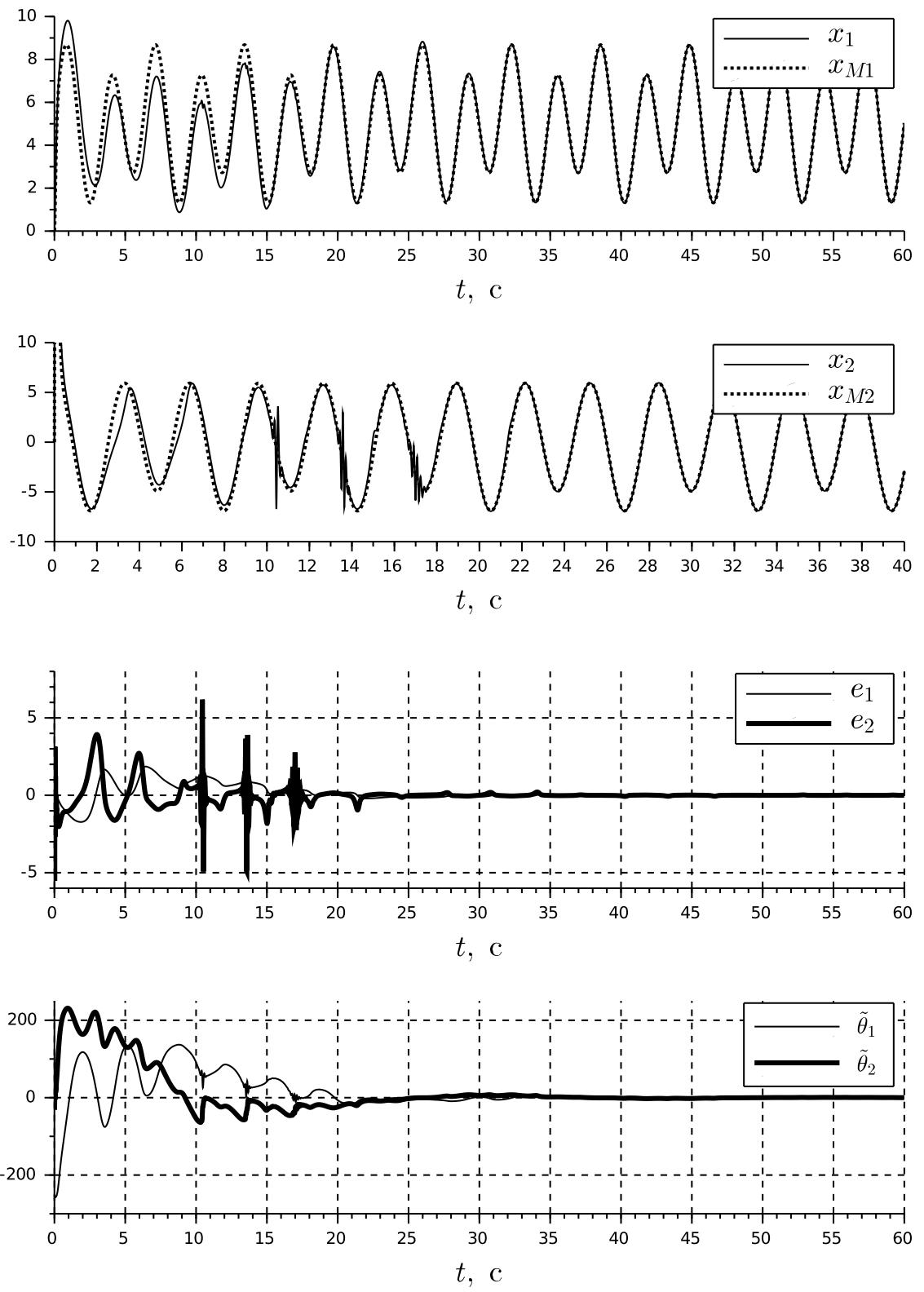


Рисунок 12 – Графики переходных процессов при $a_0 = -1$, $a_1 = 1$, $\gamma = 1500$.

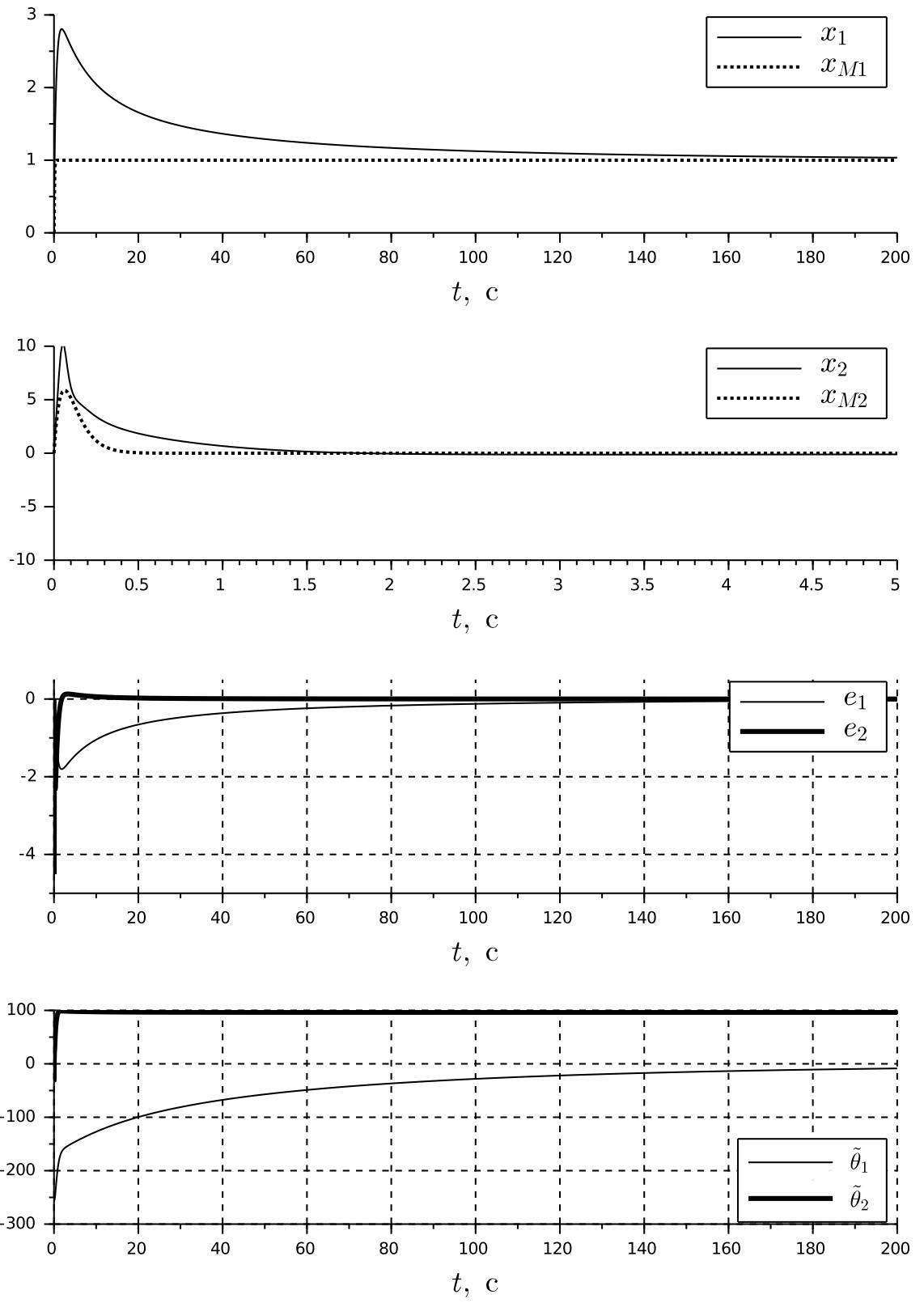


Рисунок 13 – Графики переходных процессов при $a_0 = -1$, $a_1 = 1$ ($\theta_1 = -257$, $\theta_2 = -31$), $\gamma = 1500$ и $g(t) = 1$.

5 Выводы по работе

В результате проделанной работы

- была построена эталонная система, график переходной функции которой удовлетворяет заданным в работе показателям качества ($t_{\pi} = 0.3$ с, $\sigma = 0\%$) — см. рисунок 1;
- было установлено, что
 - a) ненастраиваемый регулятор, получающийся из (6) заменой $\hat{\theta}$ на θ , обеспечивает целевое равенство (3) только в том случае, если параметры объекта управления совпадают с заложенными в закон управления значениями; в противном случае регулятор не только не обеспечивает выполнение соотношения (3), но и может не гарантировать устойчивость итоговой системы (см. рисунки 3–5);
 - b) применение адаптивного закона управления дает управляемому объекту способность достигать цели (3), а следовательно и обеспечивает его устойчивость (см. рисунки 7–9);
 - c) значение коэффициента адаптации влияет на скорость сходимости вектора оценок $\hat{\theta}$ к истинному значению (см. рисунки 7 и 10–12);
 - d) при сигнале задания $g(t) = 1$ резко снижается скорость движения вектора оценок $\hat{\theta}$ к некоторому установившемуся значению, а последнее к тому же оказывается не совпадающим с истинным значением вектора параметра θ (см. рисунок 13).