

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

Диссертационный совет Д.05.11.030

На правах рукописи  
УДК 681.51/.54:514.157.3

**ЖУМАТАЕВА ЖАНАТ ЕСИРКЕПОВНА**

**РАЗРАБОТКА РОБАСТНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ В КЛАССЕ КАТАСТРОФ  
«ГИПЕРБОЛИЧЕСКАЯ ОМБИЛИКА»**

Специальность 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Бишкек 2013**

**Работа выполнена  
в Кызылординском Государственном Университете имени  
Коркыт Ата и Институте автоматике и информационных технологий  
Национальной Академии Наук Кыргызской Республики**

**Научный руководитель:** академик НАН КР,  
заслуженный деятель науки  
**Шаршеналиев Ж.**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук,  
доцент **Миркин Е.Л.**  
кандидат технических наук,  
профессор **Акматабеков Р.А.**

**Ведущая организация:** **Кыргызско-Российский  
Славянский университет имени  
Б.Н. Ельцина  
720000, г.Бишкек, ул. Киевская, 44**

Защита состоится 31 мая 2013г. в 10.00 часов на заседании Диссертационного совета Д.05.11.30 при Институте автоматике и информационных технологий Национальной Академии наук Кыргызской Республики по адресу: 720071, г.Бишкек, пр.Чуй, 265, ауд.118.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национальной Академии наук Кыргызской Республики, 720071, г.Бишкек, пр.Чуй, 265.

Автореферат разослан « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета к.т.н., с.н.с.



Брякин И.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Большинство современных систем управления функционируют в условиях неопределенности. Это связано с различными факторами, такими как неточное знание математической модели объекта, старение элементов объекта при эксплуатации, при воздействии на объект внешних возмущений и т.п. Поэтому возникает необходимость построения таких автоматических систем, которые при изменяющихся параметрах объекта и влиянии внешних возмущений оставались бы не только в устойчивом состоянии, но и обеспечивали требуемое качество функционирования. Применение в теории управления современных компьютерных технологий позволяет моделировать робастно устойчивые системы, проводить численные эксперименты, результаты которых подтверждают эффективность выбранных методик.

**Связь темы диссертации с научными программами и научно-исследовательскими работами.** Данная работа выполнялась в соответствии с научными проектами научно-исследовательских работ Кызылординского Государственного Университета имени Коркыт Ата и Института автоматизации и информационных технологий Национальной Академии наук Кыргызской Республики

**Цель работы.** Целью исследования является разработка основ построения систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика» и их применение в актуальных задачах управления.

**Методы исследования.** В ходе решения поставленных задач использовался аппарат теории катастроф, теории автоматического управления, теории матриц, теории дифференциальных уравнений, теории устойчивости, теории динамических систем, а также современные компьютерные технологии. Полученные научные положения подтверждены результатами численных экспериментов, проведенных на моделях с использованием программного комплекса Vissim 6.0 и применением для построения систем управления технологическими процессами.

**Научная новизна.** Научная новизна предлагаемых результатов заключается в следующих положениях:

- Впервые предложен подход к построению систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика» для линейных объектов общего вида;
- Построены одномерные системы управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости для объектов второго и высокого порядков с единственным входом и единственным выходом, с  $m$ - входами и единственным выходом, размерности  $m \times n$  для объектов общего вида с матрицей с группами вещественных простых, кратных и комплексно-сопряженных собственных значений в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика», обеспечивающих широкую

область устойчивости по неопределенным параметрам объекта и устанавливаемым параметрам регулятора;

- Доказана теорема об асимптотической устойчивости систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости в классе катастроф «гиперболическая омбилика» для динамических объектов  $n$ -го порядка размерности  $m \times n$ ;
- Разработан метод параметрического синтеза систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости в классе катастроф «гиперболическая омбилика» при неполной управляемости объектов по Калману. Предложен способ синтеза модального регулятора в области переменных канонического преобразования по отдельности для групп вещественных простых, кратных и комплексно-сопряженных собственных значений матрицы объекта;
- Впервые получены условия управляемости и наблюдаемости координат объекта управления систем с повышенным потенциалом робастной устойчивости, построенных в классе катастроф «гиперболическая омбилика», заданных уравнениями в пространстве состояний.

**Степень новизны.** Дано дальнейшее развитие методам исследования робастной устойчивости систем управления, построенных на основе функций катастроф «гиперболическая омбилика».

**Теоретическая и практическая значимость полученных результатов.**

Полученные в диссертационной работе результаты были использованы при создании систем автоматического управления технологическими процессами и позволяют:

- Повысить точность управления;
- Улучшить робастную устойчивость микропроцессорных систем автоматического управления при неконтролируемом изменении параметров технологических процессов и технических объектов;
- Повысить нечувствительность системы управления к внешним и внутренним возмущениям.

Численные эксперименты, проведенные на основе программы-симулятора Vissim 6.0, подтверждают полученные результаты.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту**

На защиту выносятся следующие результаты:

- метод построения систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости в классе катастроф «гиперболическая омбилика» для линейных объектов с неопределенными параметрами;
- метод исследования робастной устойчивости систем управления, построенных в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика»;
- метод построения одномерных систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости для объектов второго и высокого

порядков с единственным входом и единственным выходом, с  $m$ - входами и единственным выходом, размерности  $m \times n$ ;

- алгоритм параметрического синтеза систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости в классе катастроф «гиперболическая омбилика» при неполной управляемости объектов по Калману;
- методы исследования робастной устойчивости систем управления, построенных в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика», основанные на применении первого и второго методов А.М. Ляпунова.

**Личный вклад соискателя.** Основные результаты по построению систем управления в классе катастроф «гиперболическая омбилика», вычислительным экспериментам, графики получены соискателем самостоятельно. Формулировка общей цели работы принадлежит в совместных работах с Шаршеналиевым Ж.Ш. [20,21]. Конкретные методы анализа робастной устойчивости систем управления в классе катастроф «гиперболическая омбилика» на основе второго метода А.М. Ляпунова разработаны автором совместно с Бейсенби М.А. в совместных работах [6,11]. Таким образом, основной объем работы выполнен лично автором.

**Апробация результатов диссертации.** Результаты данной диссертационной работы докладывались на конференциях и семинарах:

- Международная научная конференция студентов, магистрантов и молодых ученых. – Астана: КФ МГУ имени М.В. Ломоносова, 2009;
  - X Международная Четаевская конференция, Казань, 2012;
  - расширенный научный семинар Кызылординского Государственного Университета имени Коркыт Ата, 2012;
  - расширенный научный семинар кафедры «Компьютерные информационные системы и управление» Международного университета Кыргызстана, 2013;
- научный семинар Института автоматизации и информационных технологий НАН КР, 2013.

**Опубликованность результатов.** Результаты работы опубликованы в 23 научных статьях в открытой печати. Имеются заключения об использовании в КГУ имени Коркыт Ата и Акт о внедрении результатов работы в ГКУ «Инженерные работы» г.Байконур.

**Полнота решения указанных задач.** Поставленные в диссертации задачи решены с достаточной полнотой.

**Обоснованность и достоверность полученных результатов.** Обоснованность и достоверность полученных результатов следуют из обоснованности и достоверности используемого известного теоретического материала, из многократной проверки новых формул и численных расчетов, из результатов численных экспериментов.

**Внутреннее единство работы** состоит в том, что весь материал диссертации посвящен одному типу задач – задачам анализа и синтеза систем

управления, выполняется определение условий устойчивости, и во всех задачах на основании этих условий делается вывод об устойчивости системы управления в условиях неопределенности.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 105 наименований и приложения. Основная часть работы изложена на 175 страницах машинописного текста и содержит 45 рисунков.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы основная цель и задачи исследования. Кратко изложены научная новизна, практическая ценность и апробация работы. Описаны структура и объем диссертации.

**В первой главе** кратко рассмотрена проблема повышения потенциала робастности в современной теории управления, приведены определения в классической формулировке. Приведено описание современных направлений исследования робастной устойчивости систем управления и теории катастроф. Поставлена задача анализа и синтеза систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика». Приводится краткий сравнительный анализ применения одно-, двух- и трехпараметрических структурно-устойчивых отображений при построении регулятора.

Рассматривается система управления второго порядка:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= \frac{1}{T_1} x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} &= \frac{1}{T_2} U\end{aligned}\tag{1}$$

где  $U$  - закон управления, реализованный в виде катастрофы.

При использовании линейного закона управления, катастроф «сборка», «складка», «ласточкин хвост» и «эллиптическая омбилика» соответственно, где система (1) не является устойчивой.

При использовании катастрофы «гиперболическая омбилика», где

$$U = -x_1^3 - x_2^3 - k_1 x_1 x_2 + k_2 x_2 + k_3 x_1$$

система (1), как будет показано далее, становится робастно устойчивой.

Рассмотрим систему управления второго порядка

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= \frac{1}{T_1} x_2 + U \\ \frac{dx_2}{dt} &= \frac{1}{T_2} U\end{aligned}\tag{2}$$

В этом случае при использовании приведенных выше одно-, двух- и трехпараметрических структурно-устойчивых отображений система (2) является робастно устойчивой. Но рассмотренные первые пять по показателям качества уступают шестому.

На рисунке 1 представлены переходные графики систем при одинаковых параметрах объекта управления и регулятора.

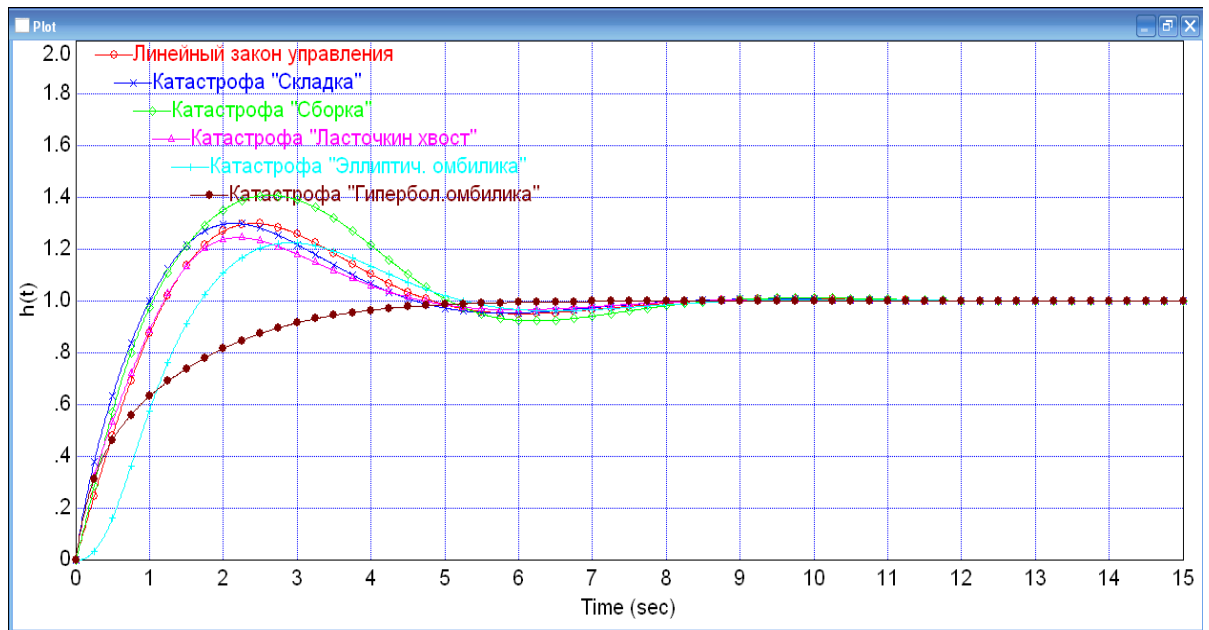


Рис. 1. Графики переходных процессов при различных законах управления.

Согласно представленным на рисунке 1 графикам переходных процессов можно сделать вывод, что по колебательности, перерегулированию, быстродействию системы, построенные в классе катастроф «складка», «сборка» и «ласточкин хвост», уступают остальным. Система, построенная в классе катастроф «гиперболическая омбилика», в этом смысле является наилучшей, также она наилучшая по быстродействию.

**Во второй главе** предлагаются различные варианты построения одномерных систем управления второго и  $n$ -го порядка с одним входом и одним выходом в классе структурно-устойчивых отображений для объектов с неопределенными параметрами. Доказывается асимптотическая устойчивость систем управления в классе трехпараметрических структурно-устойчивых отображений. Предлагается метод построения функций А.М.Ляпунова для исследования устойчивости стационарных состояний системы управления, построенных в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика».

**В разделе 2.1** рассматривается система управления второго порядка, построенная в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика»:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= \frac{1}{T_1} x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} &= \frac{1}{T_2} (-x_1^3 - x_2^3 - k_1 x_1 x_2 + k_2 x_2 + k_3 x_1) \end{aligned} \quad (3)$$

Система (3) имеет установившиеся состояния:

$$\begin{aligned} x_{2S} &= 0, x_{1S}^1 = 0 \\ x_{2S} &= 0, x_{1S}^{2,3} = \pm \sqrt{k_3} \end{aligned} \quad (4)$$

Исследуем устойчивость стационарных состояний (4) на основе принципа устойчивости линеаризованной системы (первый метод Ляпунова).

Анализ показывает [3,4,6], что система (3) устойчива при любых значениях параметров из области:  $T_1 > 0, T_2 > 0, -\infty < k_1 < \infty, -\infty < k_2 < \infty$  и  $-\infty <$

$k_3 < \infty$ . По параметру  $k_3$  происходит бифуркация при  $k_3 = 0$ . Полученные результаты подтверждены численными экспериментами, проведенного с помощью программного комплекса Vissim 6.0 (рис. 2) при значении параметров  $k_1 = 0.8, k_2 = 1, k_3 = \pm 2, T_1 = 10, T_2 = 2$ .

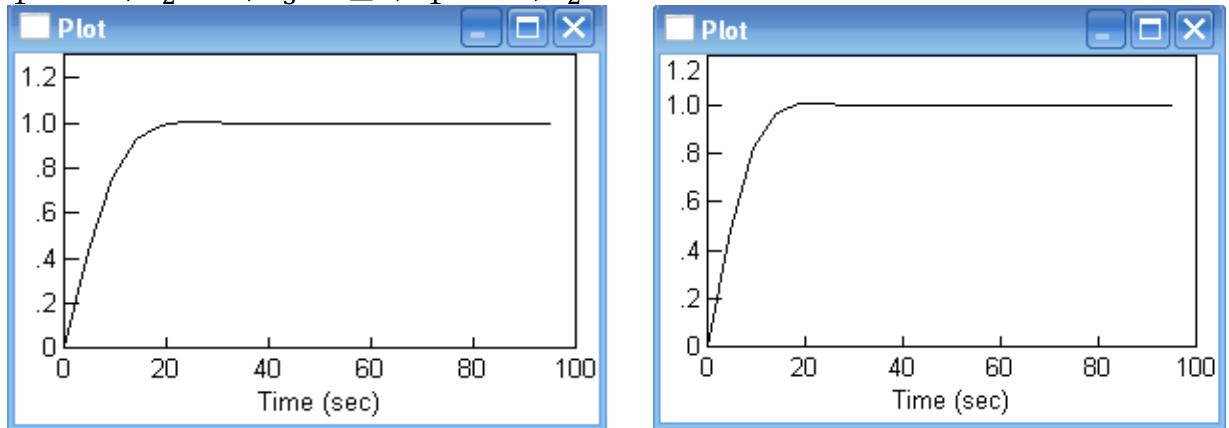


Рис. 2. График переходного процесса системы (3) при различных значениях параметра  $k_3$ .

Рассматривается система

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= \frac{1}{T_1} - x_2^3 + k_2 x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} &= \frac{1}{T_2} - x_1^3 - k_1 x_1 x_2 + k_3 x_1 + k_4 x_2 \end{aligned} \quad (5)$$

Система (5) устойчива при любых значениях параметров из области:  $T_1 > 0, T_2 > 0, -\infty < k_1 < \infty, -\infty < k_2 < \infty, -\infty < k_3 < \infty$  и  $-\infty < k_4 < \infty$ . Здесь бифуркация происходит по параметру  $k_2$  при  $k_2 = 0$  и по параметру  $k_3$  при  $k_3 = 0$ . В зависимости от того, какие значения принимают  $k_2$  и  $k_3$  ( $k_2 > k_3$  или  $k_3 > k_2$ ) бифуркация в одной из выше рассмотренных точек произойдет раньше. Это подтверждается результатами численного эксперимента (графики переходных процессов) при значении параметров  $k_1 = \pm 1, k_2 = 2, k_3 = -1, k_4 = -2, T_1 = 100, T_2 = 2$  (рис. 3).

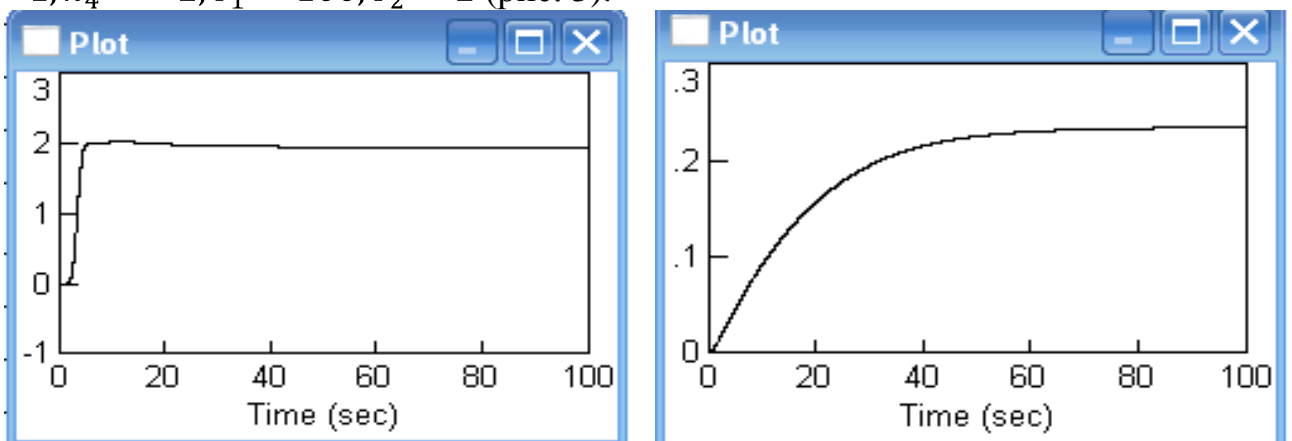


Рис. 3. Графики переходного процесса системы (5) при различных значениях параметра  $k_1$ .

**В разделе 2.2** рассматривается система управления  $n$ -го порядка с одним входом и одним выходом

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu, x \in R^n, u \in R^1, \quad (6)$$



где

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & -a_{n-2} & \dots & -a_1 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}$$

При выборе закона управления в виде:

$$u(t) = -x_1^3 - x_2^3 - k_1 x_1 x_2 + k_2 x_2 + k_3 x_1$$

анализ показывает [7], что имеем неограниченно широкую область устойчивости либо для параметра  $a_n$   $-\infty < a_n < +\infty$  либо для параметра  $k_3$   $(-\infty < k_3 < +\infty)$ . Полученные результаты подтверждаются численными экспериментами, проведенного с помощью программного комплекса Vissim6.0 (рис. 4) при значении параметров  $n = 5, k_1 = 5, k_2 = 0.4, k_3 = \pm 0.3, a_1 = 100, a_2 = 8000, a_3 = 10000, a_4 = 1000, a_5 = 20$ .

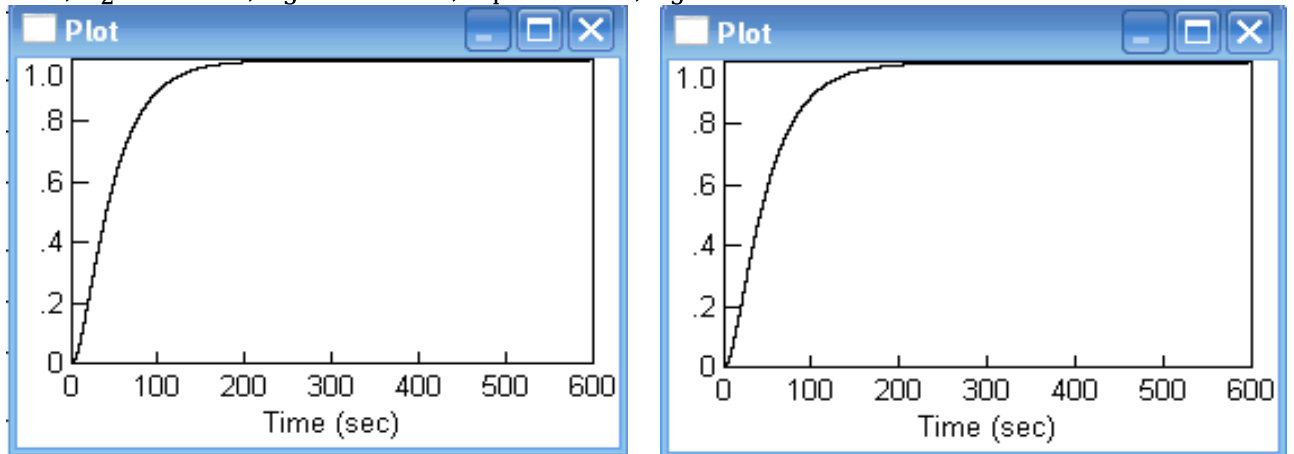


Рис. 4. Графики переходного процесса системы (6) при различных значениях параметра  $k_3$ .

**В разделе 2.3** доказывается теорема об асимптотической устойчивости одномерных систем управления, построенных в классе катастроф «гиперболическая омбилика».

**В разделе 2.4** выполняется исследование робастной устойчивости систем управления методом функций А.М. Ляпунова.

Рассматривается стационарная замкнутая система управления с одним входом и одним выходом, описываемая уравнением состояния:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (7)$$

Здесь  $x \in R^n$  - вектор состояния объекта;  $u \in R^1$  - скалярная функция управляющих воздействий;  $A$  - матрица объекта управления с неопределенными параметрами размерности  $n \times n$ ,  $B$  - матрица управления размерности  $m \times 1$ . Матрицы  $A$  и  $B$  имеют следующий вид

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & -a_{n-2} & \dots & -a_1 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$$

Закон управления  $u$   $t$  задан в виде:

$$u(x) = -x_1^3 - x_2^3 - k_1'x_1x_2 + k_2x_2 + k_1x_1$$

Используя метод построения функций А.М. Ляпунова, базирующийся на градиентности динамической системы и геометрической интерпретации идей второго метода А.М. Ляпунова, доказываем [1,9,10], что имеем неограниченно широкую область устойчивости для неизвестных параметров  $a_n, a_{n-1}$  и устанавливаемых параметров регулятора  $k_1$  и  $k_2$ .

**В третьей главе** разрабатываются методы построения систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости в классе катастроф «гиперболическая омбилика» для объектов с  $m$ -входами и  $n$ -выходами. Решается задача синтеза модального регулятора в системах управления, построенных в классе катастроф «гиперболическая омбилика». Получены условия управляемости и наблюдаемости систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости.

**В разделе 3.1** выполняется исследование робастной устойчивости системы управления с  $m$ -входами и одним выходом.

Пусть объект управления обладает  $m$  входами и единственным выходом, система управления описывается уравнением состояния (6), где

$$A = \begin{matrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & x_1 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 1 & x_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & \vdots & \vdots \\ -a_n & -a_{n-1} & -a_{n-2} & \dots & -a_1 & 1 & x_n \end{matrix}, B = 1, X = \begin{matrix} x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} \quad (8)$$

Введя закон управления в форме катастрофы «гиперболическая омбилика», и выполнив анализ устойчивости на основе линеаризации и применении критерия Гурвица [5,11], имеем неограниченную область устойчивости для неопределенных параметров объекта управления  $a_1 > 0, a_2 > 0, \dots, a_n > 0$ .

На рис. 5 приведены графики переходных процессов при значении параметров  $n = 3, k_2 = 5, k_3 = 0.1, a_1 = 4, a_2 = 12, a_3 = 10$  (фиксируем), меняем  $k_1 = 0.1$  и  $k_1 = -0.1$ , полученные с помощью программы Vissim 6.0.

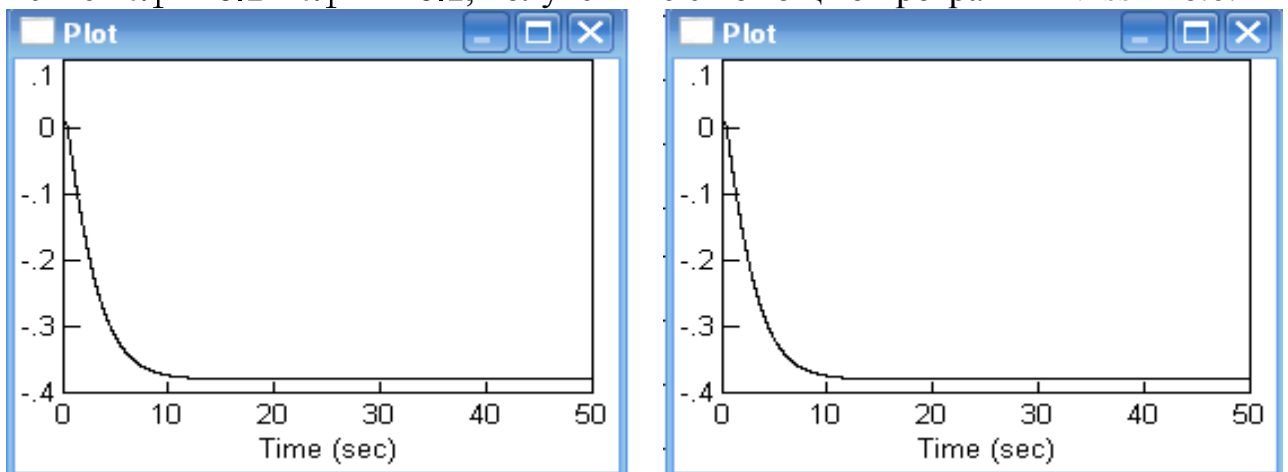


Рис. 5. Графики переходного процесса системы с  $m$ -входами и одним выходом при различных значениях параметра  $k_1$

**В разделе 3.2** выполняется исследование устойчивости систем управления в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика» для линейных объектов размерности  $m \times n$ .

Пусть стационарный объект управления описывается уравнением состояния

$$\frac{dx}{dt} = Ax, x \in R^n \quad (9)$$

где  $A$  – квадратная матрица коэффициентов размерности  $n \times n$ .

Матрицу объекта управления можно представить с помощью неособой матрицы канонического преобразования

$$P = w_1 w_2 \dots w_n \quad (10)$$

где столбцами являются собственные векторы матрицы объекта  $A$ .

Матрицу объекта  $A$  можно привести к блочно-диагональной форме

$$A = P^{-1}AP = \text{diag } \Lambda, J_1, \dots, J_m, J'_1, \dots, J'_k \quad (11)$$

с диагональными квадратными блоками вида

$$\Lambda = \text{diag } \lambda_1, \dots, \lambda_l \quad (12)$$

$$\begin{matrix} \lambda_i & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_i & \dots & 0 & 0 \end{matrix}$$

$$J_i = \begin{matrix} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_i & 1 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \lambda_i \end{matrix}, N_i \times N_i, i = 1, m \quad (13)$$

$$J'_j = \begin{matrix} \alpha_j & -\beta_j \\ \beta_j & \alpha_j \end{matrix}, j = 1, k \quad (14)$$

где  $\lambda_1, \dots, \lambda_l$  – вещественные простые,  $\lambda_i$  – вещественные,  $N_i$ -кратные,  $\lambda_j = \alpha_j \pm j\beta_j$  – комплексно-сопряженные собственные значения матрицы объекта управления  $A$ ,  $N_1 + \dots + N_m = L$ ;  $l + N_1 + \dots + N_m + 2k = n$ .

Принятая структура (11) позволяет раздельное управление собственными значениями любого диагонального блока (12), (13), (14) матрицы  $A$ . Таким образом, получим систему

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu = \begin{matrix} \Lambda & 0 & B_1 & U_1 & 1 \\ & J & x + & B_2 & U_2 & \vdots \\ 0 & J' & & B_3 & U_3 & 1 \end{matrix} \quad (15)$$

где

$$x = P^{-1}x, A = P^{-1}AP, B = P^{-1}B$$

$$U = \begin{matrix} u_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & u_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & u_{nn} \end{matrix}, B = \begin{matrix} b_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & b_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & b_{nn} \end{matrix} = \begin{matrix} B_1 & 0 \\ & B_2 \\ & & B_3 \end{matrix} \quad (16)$$

при этом размерности матриц  $\tilde{B}_1, \tilde{B}_2, \tilde{B}_3$  и матрицы  $\tilde{U}$  соответствуют размерностям квадратных матриц  $\Lambda, J, J'$ .

На основании (15) и (16), приняв  $U_2 \equiv 0, U_3 \equiv 0$  или  $U_1 \equiv 0, U_3 \equiv 0$  или  $U_1 \equiv 0, U_2 \equiv 0$ , получим возможность последовательного управления каноническими системами

$$\frac{dx_1}{dt} = \Lambda x_1 + B_1 U_1 \quad (17)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = J x_2 + B_2 U_2 \quad (18)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = J' x_3 + B_3 U_3 \quad (19)$$

С учетом  $\gamma_i b_{ii} = 1$  выберем закон управления по отдельности для блоков (17), (18) и (19) в следующей форме:

$$u_i = \gamma_i - x_{i-1}^3 - x_i^3 - k_{1i} x_{i-1} x_i + k_{2i} x_{i-1} + k_{3i} x_i, \quad i = 2, 4, \dots, l$$

$$u_i = \gamma_i - x_{i-1}^3 - x_i^3 - k_{1i} x_{i-1} x_i + k_{2i} x_{i-1} + k_{3i} x_i, \quad i = l + N_1, l + N_2, \dots, l + N_m$$

$$u_i = \gamma_i \beta_j x_{i+1}, \quad i = l + L + 1, n, \text{ если } j - \text{нечетное, и}$$

$$u_i = \gamma_i - x_{i-1}^3 - x_i^3 - k_{1i} x_{i-1} x_i + k_{2i} x_{i-1} + k_{3i} x_i - \beta_j x_{i-1}, \quad i = l + L + 2, n, j = 1, k,$$

если  $j$  - четное.

Анализ показывает [12], что для различных стационарных состояний система будет устойчива при любых значениях параметра  $k_{3i}$   $-\infty < k_{3i} < +\infty$ .

**В разделе 3.3** рассматривается задача синтеза систем управления с повышенной робастной устойчивостью.

Задача синтеза системы управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости заключается в переводе параметров системы в желаемую область, т.е. в данном случае перевод в область допустимых значений, определяемую областью устойчивости, выбор собственных значений матрицы линеаризованной замкнутой системы и синтез обратных связей, реализующий заданное качество управления. При этом имеется в виду, что система функционирует в условиях параметрической неопределенности.

Пусть система управления описывается уравнением состояния:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu, \quad x \in R^n \quad (20)$$

Рассматривается линейный стационарный объект управления с матрицей  $A$  размерности  $n \times n$ , с нелинейным законом управления, придающим системе повышенную робастную устойчивость.

Условие неполной управляемости означает, что лишь  $r$  из  $n$  собственных значений матрицы  $A$  путем введения модального регулятора могут быть переведены в любое заранее заданное положение на числовой комплексной плоскости. Остальные же  $q = n - r$  собственные значения сохраняют свое положение при любых параметрах регулятора. Таким образом, решается задача управления частью или отдельными собственными значениями линейного объекта.

Для блоков (17), (18), (19) системы управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости нелинейный закон управления задается в форме функций катастроф «гиперболическая омбилика»:

$$u_i = \gamma_i - x_{i-1}^3 - x_i^3 - k_{1i} x_{i-1} x_i + k_{2i} x_{i-1} + k_{3i} x_i, \quad i = 2, 4, \dots, l \quad (21)$$

$$u_i = \gamma_i - x_{i-1}^3 - x_i^3 - k_{1i} x_{i-1} x_i + k_{2i} x_{i-1} + k_{3i} x_i, \quad i = l + N_1, l + N_2, \dots, l + N_m \quad (22)$$

$$u_i = \gamma_i \beta_j x_{i+1}, \quad i = l + L + 1, n, \text{ если } j - \text{нечетное, и} \quad (23)$$

$$u_i = \gamma_i - x_{i-1}^3 - x_i^3 - k_{1i} x_{i-1} x_i + k_{2i} x_{i-1} + k_{3i} x_i - \beta_j x_{i-1}, \quad i = l + L + 2, n, j = 1, k,$$

если  $j$  - четное.

Таким образом, дальнейшая задача сводится к последовательному синтезу модальных регуляторов для канонических объектов в зависимости от вида собственных значений матрицы объекта  $A$ . Рассмотрев поочередно эти задачи, определили вид закона управления, обеспечивающий системе повышенную робастную устойчивость в переменных состояниях объекта, который синтезируется при вещественных простых, кратных и комплексно-сопряженных собственных значениях объекта.

**В разделе 3.4** рассматриваются управляемость и наблюдаемость систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости.

Пусть система управления в пространстве состояний описывается уравнением состояния:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= Ax + Bu, x \in R^n, u \in R^m, y \in R^l \\ y &= Cx \end{aligned} \quad (24)$$

С помощью неособой матрицы  $P$  из уравнения (10) система (24) в каноническом виде выглядит следующим образом:

$$\frac{dx}{dt} = \begin{pmatrix} \Lambda & & 0 \\ & J & \\ 0 & & J' \end{pmatrix} x + B \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{pmatrix} \quad (25)$$

где

$$B = P^{-1}B = \begin{pmatrix} b_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & b_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & b_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & b_n \end{pmatrix}$$

Зададим закон управления в форме катастрофы «гиперболическая омбилика»

$$u_i t = -x_{i-1}^3 - x_i^3 - k_{1i}x_{i-1}x_i + k_{2i}x_i + k_{3i}x_{i-1}, i = 2, 4, \dots, n \quad (26)$$

Для того, чтобы система (25) с выбранным законом управления (26) была полностью управляемой:

- в случае, когда собственные числа матрицы  $A$  вещественные различные для выполнения условия управляемости требуется, чтобы хотя бы один элемент в каждой строке матрицы  $B_1$  был ненулевым;

- в случае, когда собственные значения матрицы объекта управления  $A$  кратные требуется, чтобы хотя бы один элемент блока матрицы  $B_2$  был ненулевым;

- в случае, когда собственные значения матрицы  $A$  - комплексно-сопряженные, требуется чтобы хотя бы один элемент в каждой строке матрицы  $B_r$  был ненулевым. Наличие только нулевых элементов на какой-то строке матрицы  $B_r$  означает, что соответствующие координаты  $x_i$  и собственные значения  $\lambda_i$  неуправляемы.

Координату состояния системы принято называть наблюдаемой, если она может быть определена или для нее может быть получена оценка по

измеримым входным переменным. Координата  $x_k$  может быть определена или для нее может быть найдена оценка по выходным переменным  $y_1, y_2, \dots, y_l$ , если коэффициенты  $c_{ik}$  для  $i = 1, 2, \dots, l$  не все равны нулю. Таким образом, процесс, происходящий в системе, является наблюдаемым, если матрица выхода  $C$  не содержит столбцы, элементы которых равны нулю.

**В четвертой главе** рассматривается практическое построение систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика» для объекта четвертого порядка, не полностью управляемого по Калману, движением летательного аппарата, технологического процесса сушки и роботом типа «Циклон».

**В разделе 4.1** приведен пример синтеза системы управления в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика».

**В разделе 4.2** рассматривается задача управления движением летательного аппарата (ЛА) по тангажу. Уравнения динамики углового движения ЛА будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_2 t \\ \frac{dx_2}{dt} &= -a_1 x_3 t - a_2 x_2 t - a_3 u \\ \frac{dx_3}{dt} &= x_2 t + a_4 x_3 t + a_5 u \end{aligned} \quad (27)$$

Выберем закон управления в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика»

$$u = -x_1^3 - x_2^3 - k_1 x_1 x_2 + k_2 x_2 + k_3 x_1 \quad (28)$$

Таким образом, система (27) с законом управления (28) примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} &= -a_1 x_3 t - a_2 x_2 t - a_3 (-x_1^3 - x_2^3 - k_1 x_1 x_2 + k_2 x_2 + k_3 x_1) \\ \frac{dx_3}{dt} &= x_2 t + a_4 x_3 t + a_5 (-x_1^3 - x_2^3 - k_1 x_1 x_2 + k_2 x_2 + k_3 x_1) \end{aligned} \quad (29)$$

Система (29) имеет следующие стационарные состояния:

$$x_{1S}^1 = 0, x_{2S}^1 = 0, x_{3S}^1 = 0 \quad (30)$$

$$x_{1S}^{2,3} = \pm \sqrt{k_3}, x_{2S}^2 = 0, x_{3S}^2 = 0 \quad (31)$$

Анализ показывает [13], что при фиксированных положительных значениях  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  система (29) является устойчивой при любых значениях, как положительных, так и отрицательных, параметров  $k_1, k_2, k_3$ , что подтверждается результатами численного эксперимента, проведенного с помощью программного комплекса Vissim 6.0 (рис. 6) при значении параметров  $k_1 = \pm 0.5, k_2 = -2, k_3 = 3, a_1 = 10, a_2 = 2, a_3 = 10, a_4 = 5, a_5 = 50$ .

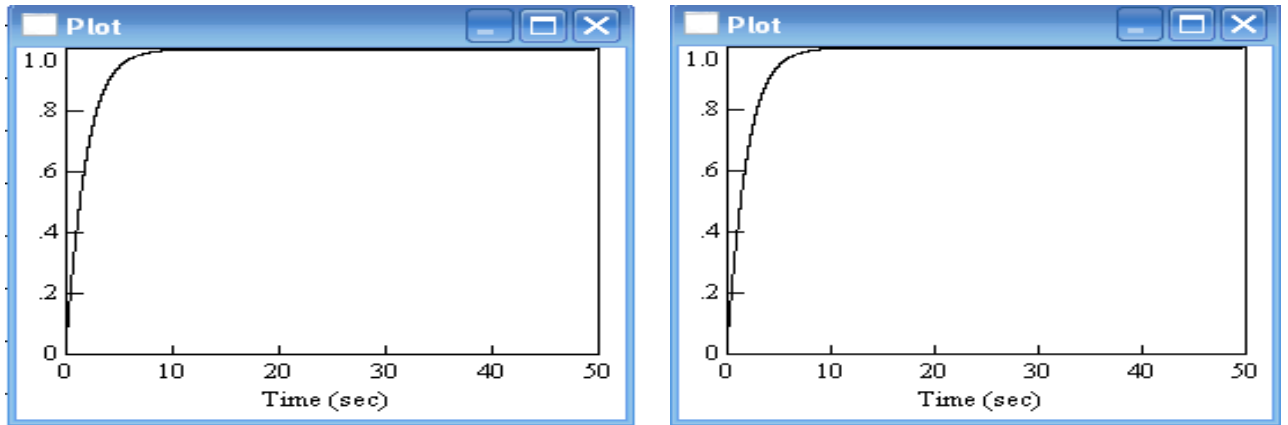


Рис.6. Графики переходного процесса системы (41) при различных значениях параметра  $k_1$

**В разделе 4.3** рассматривается задача стабилизации объекта, соответствующего, например, роботам типа «Циклон». Рука робота длиной  $L$  приводится в движение пневмоцилиндрами двойного действия через передаточный механизм с плечом  $l$ . В захвате руки робота находится груз неизвестной массы  $m$ .

Уравнения плоского движения имеют вид

$$\begin{aligned} \varphi &= 2PF l m_1 L^2 \varphi^{-1} + f \varphi, \\ P &= -4P_{cp} F l V_{cp} \varphi^{-1} + 2RT g V_{cp}^{-1}, \end{aligned}$$

Положим

$$\begin{aligned} x_1 &= \varphi, x_2 = \dot{\varphi}, x_3 = P, \\ a_1 &= 2F l m_1 L^2 \varphi^{-1}, \\ a_3 &= 4P_{cp} F l V_{cp} \varphi^{-1}, \\ b &= 2RT V_{cp}^{-1}, u = b g. \end{aligned}$$

Тогда уравнения движения примут вид

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} &= x_3 \\ \frac{dx_3}{dt} &= -a_3 x_1 + u \end{aligned} \quad (32)$$

Задача состоит в выборе такого управления  $u$  в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика», при котором

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x_1 + x_2 + x_3 = 0 \quad (33)$$

для любых начальных значений переменных  $x_i(t_0)$ .

Положим

$$u = -x_2^3 - x_3^3 - k_1 x_2 x_3 + k_2 x_3 + k_3 x_2$$

Выберем закон управления так, чтобы при любом изменении параметров  $\alpha, a_1, a_3$  удовлетворялось соотношение (33).

Система уравнений (32) записывается в развернутой форме

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} &= x_3 \\ \frac{dx_3}{dt} &= -a_3 x_1 - x_2^3 - x_3^3 - k_1 x_2 x_3 + k_2 x_3 + k_3 x_2 \end{aligned} \quad (34)$$

Из уравнения (34) определяем стационарные состояния

$$x_{1s}^1 = 0, x_{2s}^1 = 0, x_{3s}^1 = 0 \quad (35)$$

$$x_{1s}^2 = 0, x_{2s}^2 = \pm k_3, x_{3s}^2 = 0 \quad (36)$$

Анализ показывает, что при фиксированных положительных значениях  $\alpha$ ,  $a_1$  и  $a_3$  система (34) становится устойчивой как при отрицательном, так и при положительном  $k_3$ . Система, неустойчивая в одном из стационарных состояний (35), (36), становится устойчивой в другом и наоборот, что подтверждается результатами численного эксперимента, проведенного с помощью программного комплекса Vissim 6.0 (рисунки 7).

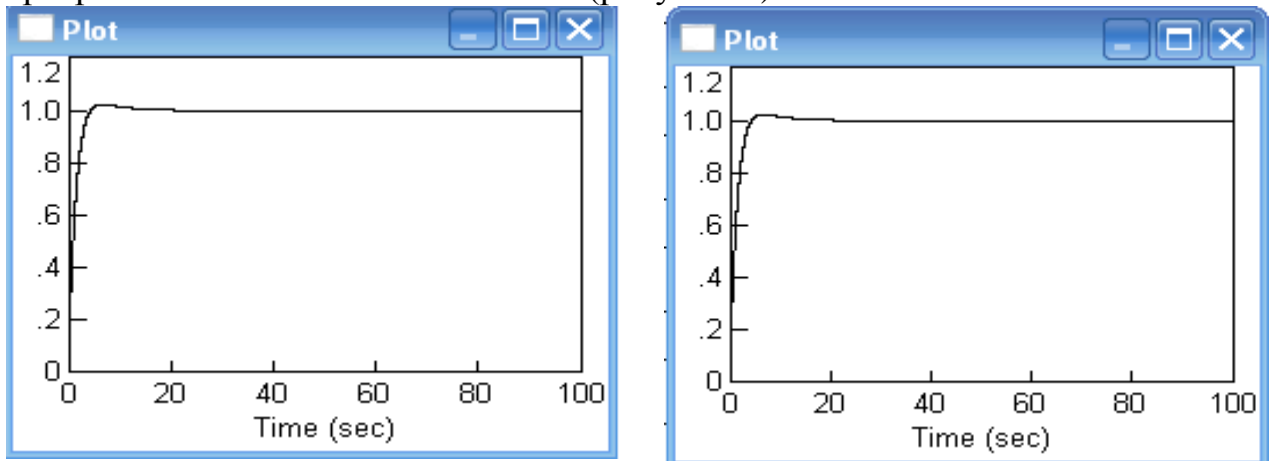


Рис. 7. Графики переходного процесса системы (47) при различных значениях параметра  $k_3$

**В разделе 4.4** рассматривается робастно устойчивая система технологическим процессом сушки.

Рассмотрим технологический процесс сушки материалов. Обычно тепловой объект управляется расходом топлива и математическое описание имеет вид

$$T_0 \frac{dx_1}{dt} + x_1 = k_0 x_3, \quad (37)$$

где  $T_0$  - постоянная времени,  $k_0$  - коэффициент усиления объекта управления,  $x_3$  - расход топлива,  $x_1$  - температура материала (выходная величина).

Таким образом, система автоматического управления с пропорциональным законом управления  $k_p$  описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} &= -\frac{1}{T_0} x_2 + \frac{k_0}{T_0} x_3 \\ \frac{dx_3}{dt} &= \frac{k_p k_c}{T_c} x_1 \end{aligned} \quad (38)$$

В качестве закона управления выберем

$$u = -x_1^3 - x_3^3 - k_1 x_1 x_3 + k_2 x_3 + k_3 x_1 \quad (39)$$

$$\text{и } b = \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{matrix}.$$

Таким образом, система (38) с законом управления (39) примет вид:



$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} &= -\frac{1}{T_0} x_2 + \frac{k_0}{T_0} x_3 \\ \frac{dx_3}{dt} &= \frac{k_p k_c}{T_c} x_1 - x_1^3 - x_3^3 - k_1 x_1 x_3 + k_2 x_3 + k_3 x_1 \end{aligned} \quad (40)$$

Система(40) обладает следующими стационарными состояниями:

$$x_{1S}^1 = 0, x_{2S}^1 = 0, x_{3S}^1 = 0 \quad (41)$$

$$x_{1S}^2 = \pm \frac{k_p k_c + k_3 T_c}{T_c}, x_{2S}^2 = 0, x_{3S}^2 = 0 \quad (42)$$

Из полученных условий устойчивости состояний (41)-(42) следует, что при любых фиксированных значениях  $k_p, k_c, k_3$  система (40) становится устойчивой как при отрицательном, так и при положительном  $k_0$ . что подтверждается результатами численного эксперимента, проведенного с помощью программного комплекса Vissim 6.0 (рис. 8) при следующих значениях:  $k_1 = -7, k_2 = 12, k_3 = -2, k_0 = \pm 2, k_p = -1, k_c = 2, T_0 = 1, T_c = 5$ .

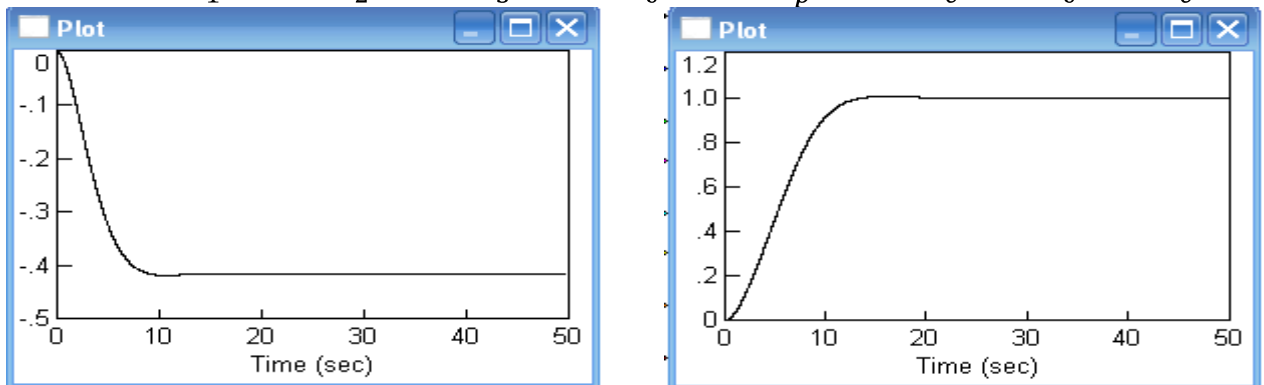


Рис. 8. Графики переходного процесса системы (53) при различных значениях параметра  $k_0$

Приложение. В приложении приведены документы о принятии к использованию полученных результатов.

## ВЫВОДЫ

- 1 В работе выполнен системный анализ современных направлений исследования устойчивости систем управления, функционирующих в условиях параметрической неопределенности.
- 2 Разработан и обоснован новый подход к построению систем управления динамическими объектами с неопределенными параметрами в классе катастроф «гиперболическая омбилика».
- 3 Получены различные варианты системы управления для объектов второго порядка с выбором закона управления в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика». Показано, что исходная система, устойчивая в ограниченной области, становится робастно устойчивой в широкой области изменения неопределенных параметров объекта и устанавливаемых параметров регулятора.
- 4 Впервые предложен метод построения робастных систем управления в классе трехпараметрических структурно-устойчивых отображений для объектов  $n$ -го порядка с единственным входом и единственным выходом,

- для объектов с  $m$ -входами и единственным выходом.
- 5 Разработаны различные методы параметрического синтеза систем управления в классе функций катастроф «гиперболическая омбилика» с модальным регулятором при неполной управляемости по Калману.
  - 6 Использование разработанных моделей робастных систем управления движением летательного аппарата, роботом типа «Циклон», технологического процесса сушки показывают, что системы имеют стационарные устойчивые состояния в любой области изменения неопределенных параметров объекта управления и наилучшие показатели качества.
  - 7 Имеется заключение об использовании результатов работы на кафедре «Вычислительная техника и информационные системы» КГУ имени Коркыт Ата и Акт о внедрении в ГКУ «Инженерные работы» г.Байконур.

### ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Разработанные модели и методы анализа и синтеза робастных систем и полученные результаты могут быть использованы при построении систем автоматического управления технологическими процессами и техническими объектами.

### СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- 1 **Жуматаева Ж.Е.** Исследование асимптотической устойчивости систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости [Текст] /Жуматаева Ж.Е. // Труды международной научной конференции молодых ученых. – Астана: ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, 2009. – С.81-83.
- 2 **Жуматаева Ж.Е.** Построение сверхробастной устойчивой системы управления [Текст] /Жуматаева Ж.Е. // Тезисы докладов международной научной конференции студентов, магистрантов и молодых ученых. – Астана: КФ МГУ имени М.В. Ломоносова, 2009. – С.106-107.
- 3 **Жуматаева Ж.Е.** Построение системы управления в классе трехпараметрических структурно-устойчивых отображений [Текст] /Жуматаева Ж.Е. // Компьютерное моделирование 2009 : труды международной научно-технической конференции.- СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – С.318-322.
- 4 **Жуматаева Ж.Е.** Построение систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости в класс катастроф гиперболическая омбилика [Текст] /Жуматаева Ж.Е. // Динамика нелинейных электротехнических и электронных систем: Д46 материалы VIII Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2009. – С.12-14.
- 5 **Жуматаева Ж.Е.** Анализ систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости [Текст] /Жуматаева Ж.Е. // Вестник КазНТУ. – 2010. - №2 (78). – С.138-144.

- 6 **Жуматаева Ж.Е.** Исследование сверхробастно-устойчивых систем управления [Текст] /Жуматаева Ж.Е., Бейсенби М.А. // Ғылыми-техникалық прогресс және Қазақстанда білім беруді жетілдіру жолдары, Астрономия жылына арналған халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдары. – Кызылорда: Университет «Болашак», 2009. – С. 74-77.
- 7 **Жуматаева Ж.Е.** Асимптотическая устойчивость систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости [Текст] /Жуматаева Ж.Е., Кудубаева С.А. //Вестник КазНПУ. – 2009. - №1(25). – С.72-76.
- 8 **Жуматаева Ж.Е.** Построение сверхробастной устойчивой системы управления. [Текст] /Жуматаева Ж.Е., Бейсенби М.А. // Вестник МКТУ. – 2009. - № 3(66). – С.59-66.
- 9 **Жуматаева Ж.Е.** Построение систем управления второго порядка с повышенным потенциалом робастной устойчивости. [Текст] /Жуматаева Ж.Е. // Вестник МКТУ. – 2009. - № 3(66). – С.102-109.
- 10 **Жуматаева Ж.Е.** Исследование робастной устойчивости нелинейных систем управления [Текст] /Жуматаева Ж.Е., Бейсенби М.А. // Материалы III Международной научной конференции «Актуальные проблемы механики и машиностроения».Т.1. – Алматы: КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2009. – С.80-84.
- 11 **Жуматаева Ж.Е.** Устойчивость систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости, построенных в классе катастрофы гиперболическая омбилика. [Текст] /Жуматаева Ж.Е., Бейсенби М.А. // Вестник КазНПУ. – 2009. - №2 (26). – С.58-64.
- 12 **Жуматаева Ж.Е.** Построение систем управления в классе трехпараметрических структурно-устойчивых отображений. [Текст] / Жуматаева Ж.Е., Бейсенби М.А. //Вестник КазНТУ. – 2010. – № 2 (78). – С.144-149.
- 13 **Жуматаева Ж.Е.** Построение робастно устойчивой системы управления движением летательного аппарата. [Текст] /Жуматаева Ж.Е., Жусипбек Б.К. //Тезисы докладов международной научной конференции «Ломоносов-2010». – Астана: Казахстанский филиал МГУ имени М.В.Ломоносова, 2010. – С.129-131.
- 14 **Жуматаева Ж.Е.** Методы построения систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости. [Текст] /Жуматаева Ж.Е. // «Аналитическая механика, устойчивость и управление»: Труды X Международной Четаевской Конференции. Т.2. Секция 2. Устойчивость. Казань, 12 – 16 июня 2012г. – Казань: Изд-во Казан. гос. тех. ун-та, 2012. – С.229-237.
- 15 **Жуматаева Ж.Е.** Исследование робастной устойчивости системы управления летательным аппаратом [Электронный ресурс] /Жуматаева Ж.Е. // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2012. - №53. – [www.mai.ru/science/trudy/](http://www.mai.ru/science/trudy/)

- 16 **Жуматаева Ж.Е.** Исследование устойчивости систем управления, построенных в классе катастроф «гиперболическая омбилика» [Текст] /Жуматаева Ж.Е. // XVII международная научная конференция «Системный анализ, управление и навигация»: Сборник тезисов докладов. – М.: Изд-во МАИ, 2012. – С.157-158.
- 17 **Жуматаева Ж.Е.** Анализ робастной устойчивости систем управления [Текст] /Жуматаева Ж.Е. // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий: материалы XI Всероссийской научно-технической конференции – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2012. – С.378-381.
- 18 **Жуматаева Ж.Е.** Исследование робастной устойчивости системы управления с множеством входов и единственным выходом. [Текст] /Жуматаева Ж.Е. «Проблемы автоматизации и управления»: Научно-технический журнал./ Национальная академия наук Кыргызской Республики. - Бишкек: Илим, 2012. – №2. - С.5-12.
- 19 **Жуматаева Ж.Е.** Построение робастно устойчивой системы управления технологическим процессом сушки. [Текст] /Жуматаева Ж.Е. // «Проблемы автоматизации и управления»: Научно-технический журнал./ Национальная академия наук Кыргызской Республики. - Бишкек: Илим, 2012. – №2. - С.13-20.
- 20 **Жуматаева Ж.Е.** Управляемость систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости. [Электронный ресурс] /Жуматаева Ж.Е. // Интернет-журнал НАК КР. – 2012. - № 3. – [nakkr.org:81/jurnal/](http://nakkr.org:81/jurnal/).
- 21 **Жуматаева Ж.Е.** Методы синтеза системы управления в классе катастроф «гиперболическая омбилика» [Текст] /Жуматаева Ж.Е., Шаршеналиев Ж. // Известия НАН РК, Бишкек: Илим, 2012. – № 4. - С.28-32.
- 22 **Жуматаева Ж.Е.** Построение робастно устойчивой системы управления роботом типа «Циклон» [Текст] /Шаршеналиев Ж., Жуматаева Ж.Е. // Вестник КРСУ, Бишкек, 2013. –№ 4.Т.13. - С.95-97.
- 23 **Жуматаева Ж.Е.** Применение Vissim при анализе и синтезе систем управления. [Текст] /Жуматаева Ж.Е. // IV Международная научно-методическая конференция «Естественно-научное образование в вузе: проблемы и перспективы». – Самара, СГАСУ, 2012. – С.35-39.

## РЕЗЮМЕ

Диссертация 05.13.01 “Системдүү анализ, башкаруу жана маалыматты иштеп чыгуу” адистиги боюнча техникалык илиминин кандидаты окуумуштуулук даражасына ээ болуу үчүн Жуматаева Жанат Есиркеповнанын - “”Гиперболикалык омбилика” катастрофа(кыйроо) классы боюнча автоматташтырылган башкарууда робасттык системасын иштеп чыгуу” аттуу темадагы диссертациялык ишинин

**Ачкыч сөздөр:** Башкаруу системасы, «гиперболикалык омбилика», туруктуулук, катастрофа (кыйроо), робасттык система.

**Изилдөөнүн объектиси:** Автоматташтырылган башкаруу системасы, анын математикалык моделдери, анализ жана синтез методдору, башкаруу системасынын туруктуулугу.

**Изилдөөнүн максаты:** Робасттык туруктуулуктун жогорку деңгээлдеги потенциалы жана катастрофа (кыйроо) «гиперболикалык омбилика» формасында башкаруу мыйзамы менен автоматташтырылган башкаруу системасын иштеп чыгуу.

**Изилдөөнүн методдору:** сызыктуу аппроксимация, Гурвицтин критерийи, А. М. Ляпуновдун методу, сандык эсептөө эксперименттери.

**Аппаратура:** Pentium IV персоналдык компьютери, Vissim 6.0 симулятор программасы.

**Алынган жыйынтыктар:**

- “Гиперболикалык омбилика” катастрофа (кыйроо) классында жогорку деңгээлдеги потенциалдуу робасттык туруктуулукту башкаруу системасында изилдөөнүн жаңы жолдордун иштеп чыгуу;
- “Гиперболикалык омбилика” катастрофа (кыйроо) классында робасттык башкаруу системасынын башкарымдуулугун жана көзөмөлдөмдүүлүгүн жаңы шарттатын аныктоо;

**Жыйынтыктардын жаңылыгы:** Алынган жыйынтыктар жаңы болуп эсептелет. “Гиперболикалык омбилика” катастрофа (кыйроо) классында жаңы автоматташтырылган робасттык система түзүлдү. Биринчи жолу “Гиперболикалык омбилика” катастрофа (кыйроо) классында түзүлгөн, башкаруу системасынын каноникалык өзгөртүү областында робасттык туруктуулукту жогорулатуу шарттары алынды.

**Колдонуу тармагы:** иштелип чыккан моделдер автоматташтырылган башкаруу теориясында, автоматташтырылган башкаруу робасттык системасынын кокреттүү түзүлүштөрүндө, студенттердин, магистранттардын, техникалык вуздардын мугалимдеринин окуу жана илимий иштеринде колдонулат.

**Сунуштоо:** Иштелип чыккан моделдер жана алынган жыйынтыктар технологиялык процесстерди жана техникалык объектилерди башкаруу системасын түзүүдө колдонсо болот.

## РЕЗЮМЕ

Диссертационная работа Жуматаевой Жанат Есиркеповны на тему «Разработка робастных автоматических систем управления в классе катастроф «гиперболическая омбилика» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации».

**Ключевые слова:** системы управления, робастность, катастрофа, «гиперболическая омбилика», устойчивость.

**Объект исследования:** системы автоматического управления, их математические модели, методы анализа и синтеза, устойчивость систем управления.

**Цель работы:** разработка систем автоматического управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости с законом управления в форме катастроф «гиперболическая омбилика».

**Методы исследования:** линейная аппроксимация, критерий Гурвица, методы А.М.Ляпунова, вычислительные эксперименты.

**Аппаратура:** персональный компьютер Pentium IV, программа-симулятор Vissim 6.0.

**Полученные результаты:**

- Разработаны новые подходы к построению систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости в классе катастроф «гиперболическая омбилика»;
- Определены новые условия управляемости и наблюдаемости робастных систем управления в классе катастроф «гиперболическая омбилика»;
- Разработаны различные методы параметрического синтеза систем управления в классе катастроф «гиперболическая омбилика».

**Новизна результатов.** Полученные результаты являются новыми. Построены новые робастные системы автоматического управления в классе катастроф «гиперболическая омбилика». Впервые получены условия повышения робастной устойчивости систем управления в области канонического преобразования, построенных в классе катастроф «гиперболическая омбилика».

**Область применения:** Разработанные модели могут применяться в теории автоматического управления, при построении конкретных робастных систем автоматического управления, в учебной и научной работе студентов, магистрантов и преподавателей технических ВУЗов.

**Рекомендации по использованию:** Разработанные модели и полученные результаты могут быть использованы при построении систем управления технологическими процессами и техническими объектами.

## SUMMARY

The thesis work of Zhumatayeva Zhanat Esirkepovna on the topic “Development of robust automatic control systems in the class of accidents “hyperbolic umbilic” for the degree of candidate of technical sciences specialty 05.13.01 – “System analysis, management and processing of information”.

**Key words:** management systems, robustness, disaster, “hyperbolic umbilic”, stability.

**Object of research:** the automatic control system, and their mathematical models, methods of analysis and synthesis, stability control systems.

**Work objective:** development of automatic control systems with high potential of robust stability with control law in the form of accidents “hyperbolic umbilic”.

**Methods of research:** linear approximation, the criterion Hurwitz, A.M. Lyapunov methods, numerical experiments.

**Facilities:** PC Pentium IV, a program simulator Vissim 6.0.

**The results are:**

- New approaches to building control systems with increased potential of robust stability in a class of accidents “hyperbolic umbilic”;
- Identify new conditions of controllability and observability of robust control systems in the class of accidents “hyperbolic umbilic”;
- Various methods of parametric synthesis of control systems in the class of accidents “hyperbolic umbilic”.

**The novelty of the results.** Obtained results are new. New robust systems of automatic control in a class of accidents “hyperbolic umbilic” are construct. The conditions by improving of robust stability control systems in the canonical transformation constructed in the class of catastrophes “hyperbolic umbilic” are obtained for the first time.

**Sphere of application:** The models can be used in control theory, in particular the construction of robust control systems, in the academic and scientific work of students, graduates and teachers of technical universities.

**Recommendations on use:** the developed models and the results can be used in the construction process control systems and technical objects.