

Литература

1. Концепция создания систем паркингов в мегаполисах / Е.М. Гецович, О.О. Холодова, В.А. Кучеренко // Коммунальное хозяйство городов: научно-технический сборник. – К., 2009. - Вып. 86. – С.297-303.
2. Задача делимитации центральной деловой части мегаполиса/ Гецович Е.М., Холодова О.А., Казакова М.А.//Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб.науч. тр./ М-во образования и науки Украины; редкол.: В.А. Богомолов (гл. ред.) и др. – 2009.- Вып. 45.-с.35-37.
3. Визначення сумарної місткості системи паркінгів в транспортній системі мегаполісу/ Холодова О.О., Кучеренко В.О.// Труды научно-технической конференции с международным участием “Компьютерное моделирование в наукоемких технологиях” (КМНТ-2010), Часть 2, Харьков, 18-21 мая 2010 года, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, с.269-270.
4. Визначення місць дислокації паркінгів в транспортній системі мегаполісу/ Холодова О.О., Тимченко І.М.// Труды научно-технической конференции с международным участием “Компьютерное моделирование в наукоемких технологиях” (КМНТ-2010), Часть 2, Харьков, 18-21 мая 2010 года, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, с.271-272.5. Харків. Основні положення генерального плану. Державний комітет України з будівництва і архітектури., 2004. – 48с.
5. Процес формування і задоволення попиту на паркування в центральній частині мегаполісів/ Холодова О.О., Токмиленко О.С.// Труды научно-технической конференции с международным участием “Компьютерное моделирование в наукоемких технологиях” (КМНТ-2010), Часть 1, Харьков, 18-21 мая 2010 года, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, с.341-342.
6. Программный продукт поддержки принятия решений для формирования системы паркингов/ Гецович Е.М., Холодова О.А., Шварева К.С.//Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб.науч. тр./ М-во образования и науки Украины.– 2010.- Вып. 50.-с.88-92.

Для систем керування процесами вирощування монокристалів синтезований робастний регулятор. Застосовано метод виборчої чутливості. Подібний підхід дозволив забезпечити аперіодичний перехідний процес, близький до максимально досяжного, на квазістаціонарних інтервалах кристалізації

Ключові слова: монокристал, синтез регулятора

Для систем управління процесами вирощування монокристалів синтезований робастний регулятор. Применен метод избирательной чувствительности. Подобный подход позволил обеспечить аперiodический переходной процесс, близкий к максимально достижимому, на квазістаціонарних інтервалах кристалізації

Ключевые слова: монокристалл, синтез регулятора

A robust regulator has been created for the single crystals production control systems. In order to accomplish such result, a method of selective sensitivity has been chosen. This approach allowed us to provide aperiodic transient process based on quasi-stationary intervals of crystallization, which is the closest to the most attainable process

Key words: single crystal, controller synthesis

УДК 621.3.076.1

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Ю.С. Козьмин

Научный сотрудник, кандидат технических наук*
Контактный тел.: (050) 196-24-88, (057) 341-01-45

E-mail: ukoz@rambler.ru

В.С. Суздаль

Ведущий научный сотрудник, доктор технических наук*

Контактный тел.: (057) 337-52-05, (057) 341-01-45

E-mail: suzdal@isma.kharkov.ua

*Отдел технологии выращивания монокристаллов
Институт сцинтилляционных материалов НАН
Украины

пр. Ленина, 60, г. Харьков, 61001

1. Введение

Пусть задана математическая модель объекта управления в пространстве состояний в виде LTI системы

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), x(0) = x_0, \quad (1)$$

$$y(t) = Cx(t). \quad (2)$$

где $x(t) \in \mathbb{R}^n$ – n-мерный вектор состояния системы, $u(t) \in \mathbb{R}^m$ – m-мерный вектор управления и

$y(t) \in R^q$ – q -мерный вектор контролируемых координат. Реализацию в пространстве состояний (1), (2) обозначим тройкой матриц (A, B, C).

Введем в рассмотрение регулятор

$$u = Kx(t), \tag{3}$$

где K – постоянная матрица коэффициентов усиления.

Для синтеза LQR в системе с реализацией (A, B, C) с указанными начальными условиями зададим интегральный квадратичный функционал в виде

$$J = \int_0^{\infty} (y^T Q y + v u^T R u) dt = \int_0^{\infty} (x^T C^T Q C x + v u^T R u) dt, \tag{4}$$

где Q – знакоположительная матрица, R – положительно определенная матрица, $v > 0$ – весовой коэффициент.

Решая задачу LQR-оптимального синтеза находят такую матрицу K, чтобы функционал (4) достигал своего наименьшего значения по отношению ко всем другим матрицам коэффициентов усиления, обеспечивающим асимптотическую устойчивость замкнутой системы

$$J = J(K) \rightarrow \min_{K \in \Omega}, \tag{5}$$

где Ω – множество матриц K таких, что корни характеристического полинома замкнутой системы $\Delta(s) = \det(Es - A - BK)$ расположены в открытой левой полуплоскости.

Оптимальную матрицу $K_0 = \arg \min_{K \in \Omega} J(K)$ находят на основе решения алгебраического уравнения Риккати

$$-\frac{1}{v} SBR^{-1}B^T S + A^T S + SA + C^T Q C = 0$$

относительно симметрической положительно определенной матрицы S, через которую вычисляется матрица $K_0 = -R^{-1}B^T S$ оптимального регулятора (3). В среде MATLAB эта операция выполняется функцией lqr.

Представим выражение (4) в виде

$$J = J(K) = J_y(K) + v J_u(K) \tag{6}$$

В этом выражении первое слагаемое определяет точность управления, второе – его интенсивность (энергетические затраты). На практике управляющие воздействия в системе управления ограничены по модулю. В связи с этим при синтезе LQR для выращивания монокристаллов необходимо обеспечить оптимальное соотношение достигаемой точности и интенсивности управления.

Через решения матричных уравнений Ляпунова

$$(A + BK_0)^T P_1 + P_1(A + BK_0) + C^T Q C = 0,$$

$$(A + BK_0)^T P_2 + P_2(A + BK_0) + K_0^T R K_0 = 0$$

относительно неизвестных матриц P_1 и P_2 можно найти величины отдельных составляющих функционала (6) для замкнутой оптимальной системы (1),

(2), (3) при заданном векторе начальных условий по выражениям

$$J_y = \int_0^{\infty} y^T Q y dt = x_0^T P_1 x_0, \quad J_u = \int_0^{\infty} u^T R u dt = x_0^T P_2 x_0 \tag{7}$$

Синтез LQR предполагает, что матрицы R, Q и коэффициент v в функционале (4) заданы. Однако на практике их приходится многократно изменять, чтобы добиться желаемого качества процесса управления с учетом ограничений на реальные возможности управлений. Если матрицы R, Q выбраны, то при синтезе LQR для каждого фиксированного значения весового коэффициента получают оптимальную матрицу $K = K(v)$ и некоторые конкретные значения функционалов точности и затрат

$$J_y = J_{y0}(v) \text{ и } J_u = J_{u0}(v). \tag{8}$$

Исключение из зависимостей (8) параметра v позволяет построить функцию

$J_y = F(J_u)$, по которой, при заданных ограничениях на управляющие воздействия, оценивается достижимое максимальное качество процесса управления.

Для интервала выращивания монокристалла CsI диаметром 400 мм передаточные функции канала температура донного нагревателя – диаметр растущего монокристалла как объекта управления [2]:

$$G(s) = (5.991s^4 + 0.2215s^3 + 0.00265s^2 + 1.051e-005s + 1.723e-009) / (s^4 + 0.02571s^3 + 0.0007632s^2 + 3.368e-006s + 6.57e-009)$$

Объект управления полностью управляем и наблюдаем.

Проведен синтез LQR с фильтром Калмана. Выбраны $R=0.1$, $Q=[0.1 \ 0 \ 0 \ 0; 0 \ 0.1 \ 0 \ 0; 0 \ 0 \ 0.1 \ 0; 0 \ 0 \ 0 \ 0.1]$, $x_0=[0.1; 0.1; 0.1; 0.1]$.

Изменяя коэффициент v в диапазоне от 0.1 до 10 по кривой $J_y = F(J_u)$ находим оптимальное значение $v=1.1$. На рис. 1 приведена ошибка управления в замкнутой системе с оптимальным регулятором $K_0=[0.0814 \ 0.1157 \ 0.4047 \ 0.9893]$.

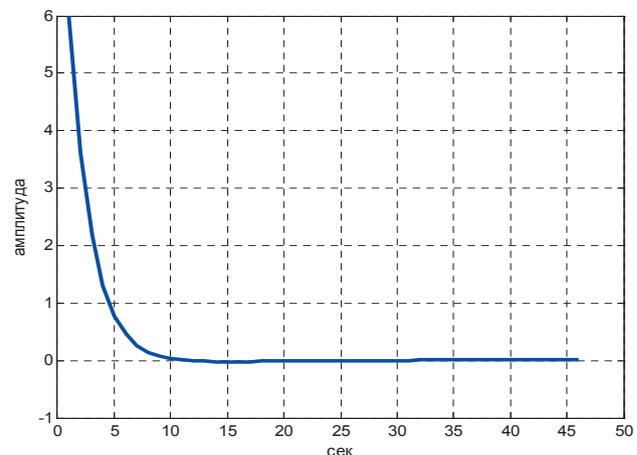


Рис. 1. Ошибка управления оптимального LQR

Таким образом, синтезированный регулятор способен обеспечить в замкнутой системе управления кри-

сталлизацией аperiodический переходной процесс с длительностью не превышающий 10 секунд, который фактически оценивает достижимое максимальное качество процесса управления.

Проведем синтез робастного регулятора H_∞ - методом избирательной чувствительности. Цель – получить робастный регулятор с качеством процесса управления близким к максимально достижимому.

Передаточная функция $K_R(s)$ робастного регулятора должна обеспечивать устойчивость замкнутой системы с передаточной функцией объекта управления $G(s)$. В этом методе все требования к системе по ослаблению возмущений и обеспечению робастной устойчивости сводятся к следующему выражению

$$\|H_{yu}(K_R, s)\|_\infty \leq 1, \tag{9}$$

с конечной целью выполнения неравенств

$$\bar{\sigma}\|S(j\omega)\| \leq |W_1^{-1}(j\omega)|, \quad \bar{\sigma}\|R(j\omega)\| \leq |W_2^{-1}(j\omega)|,$$

$$\bar{\sigma}\|H(j\omega)\| \leq |W_3^{-1}(j\omega)|,$$

где $\bar{\sigma}$ – максимальное сингулярное число соответствующей матрицы, W_1, W_2, W_3 – частотные весовые функции, обеспечивающие частотное разделение требований неравенства (9), $H_{yu} = [SW_1 \quad RW_2 \quad HW_3]^T$ – функция стоимости метода смешанной чувствительности, $H = (I + GK_R)^{-1}GK_R$ – передаточная функция замкнутой системы, $S = (I + GK_R)^{-1}$ – функция чувствительности, $R = (I + GK_R)^{-1}K_R$ – функция чувствительности управления.

После задания весовых функций существующая система расширяется до системы TSS так, что она включает в себя уравнения этих функций как дополнительные фазовые координаты.

Для решения задачи робастной оптимизации, удовлетворяющей условию (9), используется команда `hinftopt(TSS, γ_a)`. Команда `hinftopt` осуществляет γ -итерации, чтобы рассчитать оптимальный регулятор для нормы

$$\left\| \begin{matrix} \gamma H_{yu}(\gamma_a) \\ H_{yu} \end{matrix} \right\|_\infty < 1, \tag{10}$$

где γ_a – индекс выходных каналов функции стоимости, которые умножаются на γ .

По умолчанию умножаются все выходные каналы. Очевидно, чем больше γ , тем меньше $\|H_{yu}\|_\infty$, таким образом, искомым является максимальное значение γ , при котором решение задачи существует.

Выбраны весовые матрицы $W1=[0 \ 1.8; 800 \ 0.38]$, $W2=0.015$, $W3=[2 \ 0.035 \ 19 \ 2.5]$.

Результаты поиска оптимального решения для объекта управления $G(s)$:

```
<< H-Infinity Optimal Control Synthesis >>
No Gamma D11<=1 P-Exist P>=0 S-Exist S>=
=0 lam(PS)<1 C.L.
```

```
1 1.0000e+000 OK OK OK OK OK OK STAB
2 2.0000e+000 OK OK OK OK OK OK STAB
3 4.0000e+000 OK OK OK OK OK OK STAB
4 8.0000e+000 OK OK OK OK OK OK STAB
```

```
5 1.6000e+001 OK OK OK OK OK OK STAB
6 3.2000e+001 OK FAIL FAIL OK OK OK UNST
7 2.4000e+001 OK FAIL OK OK OK OK STAB
8 2.0000e+001 OK FAIL OK OK OK OK STAB
9 1.8000e+001 OK FAIL OK OK OK OK STAB
10 1.7000e+001 OK FAIL OK OK OK OK STAB
11 1.6500e+001 OK OK OK OK OK OK STAB
12 1.6750e+001 OK OK OK OK OK OK STAB
13 1.6875e+001 OK OK OK OK OK OK STAB
```

Наилучшее значение $\gamma_{opt} = 16.875$. Синтезирован регулятор 6-го порядка. Замкнутая система управления – 10-го порядка.

Передаточная функция регулятора полного порядка:

$$K_R(s) = (0.005258s^5 + 0.000827s^4 + 2.18e - 005s^3 + 5.457e - 007s^2 + 2.364e - 009s + 4.545e - 012) / (s^6 + 0.1161s^5 + 0.003393s^4 + 3.767e - 005s^3 + 1.505e - 007s^2 + 6.629e - 011s + 1.405e - 015).$$

На рис. 2 приведен переходной процесс в замкнутой системе с регулятором полного порядка.

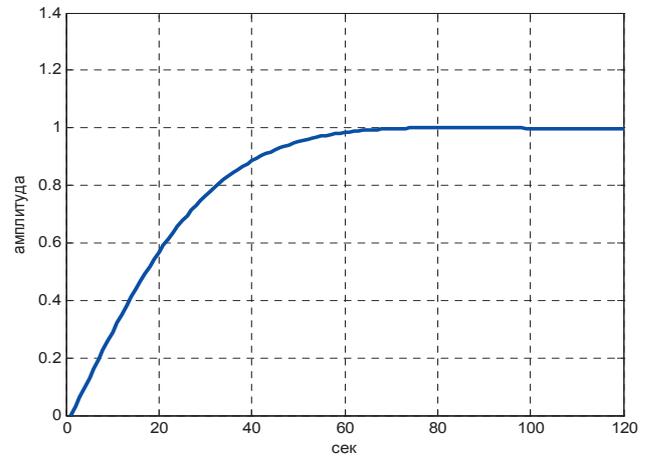


Рис. 2. Переходной процесс в замкнутой системе

Таким образом, H_∞ - методом избирательной чувствительности синтезирован робастный регулятор, обеспечивающий в СУ кристаллизацией аperiodический переходной процесс длительностью до 60 сек.

3. Выводы

H_∞ - метод избирательной чувствительности позволяет синтезировать для системы управления выращиванием крупногабаритных монокристаллов робастный регулятор, обеспечивающий на квазистационарных интервалах кристаллизации близкий к максимально достижимому аperiodический переходной процесс.

Практически реализуемый робастный регулятор можно получить если

- редуцировать регулятор полного порядка,
- учитывать при синтезе особенности частных ситуаций, за счет которых возникают определенные возможности упрощения и повышения эффективности при решении практических задач проектирования СУ для процессов кристаллизации.

Литература

1. Рост кристаллов / [Горилецкий В. И., Гринев Б. В., Заславский Б. Г. и др.]. – Харьков: АКТА, 2002. – 535 с.
2. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / [Под ред. Н. Д. Егупова]. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.
3. Суздаль В.С. Параметрическая идентификация VARMAX моделей процесса кристаллизации крупногабаритных монокристаллов / В. С. Суздаль, Ю. М. Епифанов, А. В. Соболев, И. И. Тавровский // Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління. – 2009. – №4(26). – С. 23–29.

Розроблено об'єктну модель відкритої системи, керованої системи і підсистем управління закритої системи модифікації продуктів. Розглянуто об'єктно-орієнтований підхід до створення підсистем закритої системи

Ключові слова: система, технологічна підсистема, підсистема управління, об'єктна модель

Разработана объектная модель открытой системы, управляемой системы и подсистем управления закрытой системы модификации продуктов. Рассмотрен объектно-ориентированный подход к созданию подсистем закрытой системы

Ключевые слова: система, технологическая подсистема, подсистема управления, объектная модель

The object model of an open system, control system and control subsystem of closed system of modification products is designed. The object-oriented approach to creating a subsystem of closed system is considered

Keywords: system, technological subsystem, control subsystem, object model

УДК 621.001.57:65.012.4

МОДЕЛИ И КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ И ПОДСИСТЕМ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТНО- ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА В УПРАВЛЕНИИ

И. А. Луценко

Доктор технических наук, доцент
г. Кривой Рог, Украина, 50072

Контактный тел.: (0564) 28-10-97, 067-720-61-12
E-mail: lutsenko.igor11@mail.ru

Н. И. Николаенко

Ассистент

Кафедра экономики, организации и управления
предприятиями

Криворожский технический университет
Ул. XXII партсъезда, 11, г. Кривой Рог, Украина, 50002
Контактный тел.: 097-912-92-05

1. Введение

Вопросы управления в той или иной степени затрагивают самые разнообразные науки и дисциплины. Это кибернетика, экономика, информационные технологии, исследование операций, оптимальное управление, менеджмент и др.

Каждая из этих наук или дисциплин вносит свои специфические особенности не только в методы исследований, но и в собственное представление о модели системы, модели управления. Естественно, при таком подходе используется и своя особенная терминология.

Такое положение дел снижает эффективность взаимодействия специалистов различных школ и направлений.

Понятие «система» широко используется для деления классов систем на открытые и закрытые системы. Но в кругах специалистов по вопросам управления также широко используется понятие «система управления».

Является ли, например, система управления, системой в прямом смысле этого слова? Какие объекты должны входить в структуру, реализующую функции управления. Из каких подсистем состоит закрытая система и где находится граница раздела технологии преобразования и технологии управления.

В существующих научных источниках эти вопросы должным образом на сегодня не разрешены.

Являются ли структура связей между объектом, обеспечивающим реализацию технологических про-