

18. Клиент TrueCrypt криптографического зашифрования информации по технологии FDE в хмарных системах хранения данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.truecrypt.org>
19. Программное обеспечение BoxCryptor зашифрования информации в хмарных системах хранения данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.boxcryptor.com>
20. Cloud Data Protection for the Masses / **D. Song, E. Shi, I. Fischer [et al.]** // International Journal of Computer Trends and Technology. – 2013. – № 4. – P. 701–706.
21. On the Security of Cloud Storage Services / [**Borgmann M., Hahn T., Herfert M. et al.**]; ed. **M. Waidner**. – Darmstadt : Fraunhofer Institute for Secure Information Technology SIT, 2012. – 146 p.
22. An Efficient Attribute Based Encryption Scheme with Revocation for Outsourced Data Sharing Control / **Y. Ming, L. Fan, H. Jing-li [et al.]** // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. – 2011. – № 7. – P. 516–520.
23. A data outsourcing architecture combining cryptography and access control / **S. De Capitani di Vimercati, S. Foresti, S. Jajodia [et. al.]** // ACM workshop on Computer security architecture. – 2007. – № 7. – P. 63–69.

Рукопись поступила в редакции 25.03.14

УДК 65.011.56: 622.7.01

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф.,
Н.В. МОРКУН, В.В. ТРОНЬ, кандидаты техн. наук, доц.,
Криворожский национальный университет

ФОРМИРОВАНИЕ РОБАСТНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ H_{∞} -НОРМЫ

В статье приведены результаты исследование методов формирования автоматизированного управления технологическим процессом измельчения в условиях нестабильности характеристик железорудного сырья и неопределенности параметров технологического процесса

Ключевые слова: автоматизация, робастное управление, измельчение руд

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Важность задачи синтеза регулятора и оценивания состояния объекта с учетом неопределенности в системе управления технологическим циклом измельчения в условиях изменчивости характеристик железорудного сырья и параметров технологического процесса обусловлена значительной сложностью, нелинейностью и нестационарностью объекта управления. Вследствие объективных факторов идентифицированная модель цикла измельчения отличается от реальной системы. Таким образом, необходимо исследовать методы синтеза робастного, устойчивого к неопределенности параметров, управления технологическими процессами обогащения железорудного сырья, в частности, замкнутым циклом измельчения.

Анализ исследований и публикаций. Значительное количество работ в настоящее время посвящено исследованию систем робастного управления различными техническими объектами [1].

Синтез H_2 -оптимальных и H_{∞} -субоптимальных регуляторов скорости, обеспечивающих робастную устойчивость и качество для всех допустимых неопределенностей электропривода переменного тока на базе синхронного электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов, выполнен в работе [2]. Разработанная система управления функционирует в условиях неполной информации об объекте и с учетом его структурных неопределенностей.

В работе [3] на примере синтеза робастного H_{∞} -субоптимального регулятора скорости электропривода постоянного тока путем выбора соответствующих параметров и вида весовых функций показана возможность управления быстродействием и характером протекания переходных процессов регулируемой координаты в системе управления. Также изложены общие теоретические и инженерные рекомендации по выбору частотно-зависимых весовых функций, используемых в H_{∞} -теории управления для обеспечения требованиями качества переходных процессов и предоставления системе управления свойства робастности.

Решение задачи синтеза робастного регулятора для управления котельной установкой на основе метода формирования контура с ограничением на размещение полюсов передаточной функции замкнутой системы в заданной области с привлечением аппарата линейных матричных неравенств получено в работе [4]. При этом требования к системе формулируются в виде частотных ограничений на сингулярные числа передаточной функции разомкнутой системы и на размещение полюсов передаточной функции замкнутой системы в заданной области на комплексной плоскости.

Вопросы управления технологическими объектами обогащительного производства с целью обеспечения устойчивости системы управления в условиях неустойчивости характеристик поступающего на переработку сырья и дрейфа параметров технологического процесса рассматриваются в работах [5,6].

Постановка задачи. Задачей работы является исследование методов формирования автоматизированного управления технологическим процессом измельчения в условиях неустойчивости характеристик железорудного сырья и неопределенности параметров технологического процесса.

Изложение материала и результаты. Использование H_∞ -нормы в качестве критерия оптимальности при синтезе многомерных систем основано на том, что данная норма служит мерой усиления системы [1]. В случае, когда система рассматривается по каналу «возмущение – ошибка управления», минимизация H_∞ -нормы передаточной функции позволяет минимизировать энергию ошибки для наиболее неблагоприятного значения входного возмущения.

Рассмотрим модель технологического процесса измельчения железорудного сырья в пространстве состояний [1]

$$\dot{X}(t) = AX(t) + Bu(t); y(t) = CX(t); \quad (1)$$

где $u(t)$, $y(t)$ - соответственно скалярные вход и выход; $X(t)$ - вектор-функция; A , B , C - матрицы размерностью соответственно $n \times n$, $n \times 1$, $1 \times n$. Передаточная функция от $U(s)$ к $Y(s)$ предполагается устойчивой и определяется формулой

$$G(s) = C(sI - A)^{-1}B. \quad (2)$$

Вычисление H_∞ -нормы передаточной функции замкнутого цикла измельчения $\|W\|_\infty$ осуществляется на основе матрицы размерностью $2n \times 2n$, в которую входят приведенные выше матрицы (A, B, C)

$$H = \begin{bmatrix} A & BB^T \\ -CC^T & -A^T \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Согласно алгоритму вычисления H_∞ -нормы выбирают положительное число γ , проверяют выполнение условия $\|G\|_\infty < \gamma$ (то есть $\|\gamma^{-1}G\|_\infty < 1$) посредством вычисления собственных значений матрицы H [1]. Затем, увеличивают или уменьшают значение γ и повторяют процедуру.

Для решения задачи H_∞ -управления технологическим циклом измельчения преобразуем схему системы управления к стандартной многомерной форме (рис. 1).

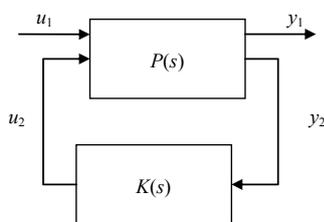


Рис. 1. Структурная схема системы H_∞ - управления технологическим циклом измельчения: u_1 - вектор внешних возмущений, u_2 - выходной вектор регулятора; y_1 - вектор ошибки; y_2 - вектор измеряемого выхода; $P(s)$, $K(s)$ - матричная передаточная функция обобщенного объекта и регулятора

Задача формирования H_∞ - оптимального управления, которое минимизирует H_∞ - норму передаточной функции по каналу «возмущение - ошибка управления»

$$\|W_{y1u1}(s)\|_\infty \rightarrow \min. \quad (4)$$

Матрица передаточных функций $P(s)$ представляет сам объект $G(s)$, которым необходимо управлять, и весовые функции, которые используются для обеспечения желаемого качества управления. Структурная схема такого обобщенного объекта $P(s)$ представлена на рис. 2 [1,2].

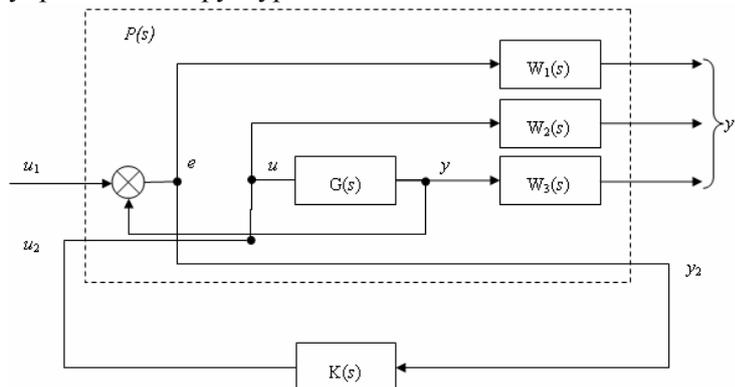


Рис. 2. Структурная схема обобщенного объекта: $G(s)$ – матричная передаточная функция объекта управления; $K(s)$ – робастный регулятор; $P(s)$ – обобщенный объект; $W_1(s)$, $W_2(s)$ и $W_3(s)$ – весовые функции, зависящие от частоты

Решение задачи формирования автоматизированного управления осуществлялось путем синтеза передаточной функции контроллера, который минимизирует функцию [1,2]

$$T_{y|u1}^{\Delta} = [W_1 S \quad W_2 R \quad W_3 T]^T, \quad (5)$$

где S – функция чувствительности; T – дополняющая функция чувствительности; R – функция чувствительности управления. Упомянутые функции определяются из соответствующих выражений

$$S = (I + GK)^{-1}; R = K(I + GK)^{-1}; T = GK(I + GK)^{-1}. \quad (6)$$

Выбор весовых функций осуществлялся в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [3]. При этом значения функций чувствительности должны удовлетворять следующим условиям

$$\begin{aligned} \overline{\sigma}(S(j\omega)) &\leq \gamma \underline{\sigma}(W_1^{-1}(j\omega)); \\ \overline{\sigma}(R(j\omega)) &\leq \gamma \underline{\sigma}(W_2^{-1}(j\omega)); \\ \overline{\sigma}(T(j\omega)) &\leq \gamma \underline{\sigma}(W_3^{-1}(j\omega)), \end{aligned} \quad (7)$$

где γ – положительное число.

Математическая модель динамики объекта управления была представлена в виде передаточной функции второго порядка, переходной процесс которой, нормированный относительно установившегося значения, представлен на рис. 3а. Максимальное значение H_{∞} -нормы, полученное в результате расчета, составило $\gamma=1,314$. Соответствующий переходной процесс системы управления с регулятором представлен на рис. 3б.

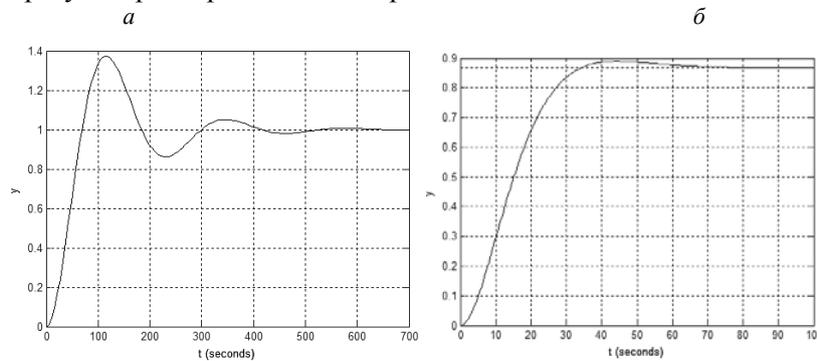


Рис. 3. Нормированный переходной процесс цикла измельчения: а – без регулятора; б – с регулятором

Проверка синтезированного регулятора на объекте управления с неопределенностью в пределах 20% по каждому из параметров модели показала, что даже при максимальном отклонении параметров объекта система управления не выходит за границы устойчивости, как показано на рис. 4. Диаграмма Боде для различных вариантов значений параметров приведена на рис. 5.

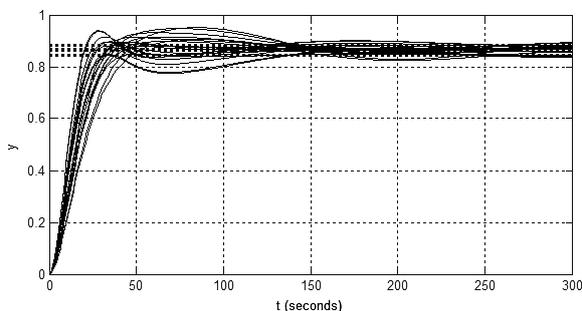


Рис. 4. Семейство переходных функций системы управления с регулятором при неопределенности параметров модели

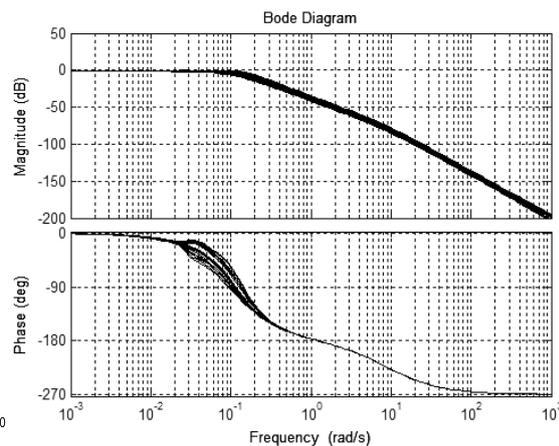


Рис. 5. Семейство частотных характеристик системы управления с регулятором при неопределенности параметров модели

Выводы и направления дальнейших исследований. Анализ результатов синтеза управления технологическим процессом измельчения железорудного сырья на основе H_{∞} -нормы показал, что, в условиях значительной неопределенности параметров модели объекта управления,

замкнутая система управления обеспечивает устойчивость и желаемое качество управления. Дальнейшие исследования целесообразно осуществлять в области повышения точности управления технологическим процессом с использованием рассмотренных регуляторов.

Список литературы

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебн. в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.3: Синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. **К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова**. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. - 616 с.
2. Разработка и практическая реализация робастных алгоритмов управления автоматизированным синхронным электроприводом на основе H_2 - и H_∞ - оптимизации / **Е. В. Полилов, А. И. Мотченко, Е. С. Руднев, С. П. Скорик, А. Г. Щёлоков** // Електротехнічні та комп'ютерні системи . - 2011. - № 3. - С. 60-69.
3. **Полилов Е.В.** Практический подход к выбору весовых функций для H_∞ -теории робастного управления / **Е.В. Полилов, А.Б. Зеленов, Е.С. Руднев** // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – 2009. – Випуск 3 (56). Частина 2. - С. 17-24.
4. **Курдюков А. П.** Синтез робастного H_∞ -регулятора для управления энергетической котельной установкой / **А. П. Курдюков, В. Н. Тимин** // Управление большими системами : сб. науч. трудов. – 2009. – Вып. 25. – С. 179-215.
5. **Morkun V. S., Morkun N. V., Pikiľnyak A.V.** Iron ore flotation process control and optimization using high-energy ultrasound, Metallurgical and Mining Industry, 2014, No2, p.p. 36-42.
6. **Morkun V. S., Morkun N. V., Pikiľnyak A.V.** Ultrasonic phased array parameters determination for the gas bubble size distribution control formation in the iron ore flotation, Metallurgical and Mining Industry, 2014, No3, p.p. 28-31.

Рукопись поступила в редакцию 15.04.14

УДК 681.586.6

О.В. МИКИТИН, студент, Криворізький національний університет

ХАРАКТЕРИСТИКА ЦИФРОВОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРИ DS18B20 ФІРМИ «DALLAS SEMICONDUCTOR» ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ТОЧНОСТІ

У статті наведено результати дослідження характеристик цифрового датчика температури DS18B20 фірми «Dallas Semiconductor». Приведено схеми способів підключення датчика до мікропроцесорної плати Arduino Uno, необхідні для роботи бібліотеки та послідовні дії по налагодженню зв'язку між ними. Детально описані можливі налаштування для отримання вихідних значень (температури) датчика та встановлення точності показань.

В результаті проведених робіт із цими датчиками та вимірювання їх показань температури було зроблено аналіз, згідно з яким на графіках відображено межі розкиду отриманих значень від датчиків одного й того ж типу. Було визначено точність показань датчика, а саме обчислено абсолютну, відносну та середню відносну похибки, що були отримані при зчитуванні значень температури.

Після проведення вказаних досліджень та огляду інших датчиків температури такого ж типу зі схожими параметрами було зроблено висновки - де саме доцільно використовувати даний датчик температури, виходячи із співвідношення його ціни та точності показань температури.

Ключові слова: цифровий датчик, температура, експеримент, похибка, точність, тарування, розкид значень, мікроконтролерна техніка.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для одержання максимально точних результатів експериментів вкрай необхідно отримати реальні показання з датчиків. Виходячи з цього, виникає необхідність провести аналіз розкиду показань датчика одного і того ж типу та провести тарування їх значень.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах [2,3,5] наведено основні характеристики датчика температури DS18B20, описано методи роботи з ним, але не проаналізовано порівняння показань датчиків однакового типу та не проведено тарування їх значень температури порівняно з еталонним термометром.

Постановка завдання. Метою даної статті є аналіз похибки вихідної величини цифрового датчика температури DS18B20, проведення тарування та встановлення розкиду його значень.

Викладення матеріалу та результати. Датчик температури DS18B20 являє собою цифровий температурний перетворювач. Діапазон вимірюваних температур від $-55\text{ }^\circ\text{C}$ до $+125\text{ }^\circ\text{C}$.

Нижче наведено порівняльну таблицю декількох датчиків температури зі схожими характеристиками, табл. 1.