

где ω – начальная угловая скорость вала тормоза; J – момент инерции масс транспортного средства, приведенный к валу тормоза; m – число пар трения в многодисковом тормозе; z – число тормозных механизмов.

Полученная зависимость (3) может быть использована для инженерных оценок величины развиваемой температуры на фрикционном контакте пар трения проектируемых многодисковых тормозов в зависимости от нагрузочно-скоростных режимов трения дисков, а также выбора эксплуатационных параметров, обеспечивающих работу тормоза с допустимой температурой нагрева пар трения.

Литература

1. Заболоцкий, М. М. Применение многодисковых маслоохлаждаемых тормозов на карьерных самосвалах БелАЗ / М. М. Заболоцкий, Г. И. Лось // Горн. журн. – 2008. – № 9. – С. 41–42.
2. Городецкий, К. И. Принудительное жидкостное охлаждение дисковых фрикционных сцеплений и тормозов / К. И. Городецкий, О. В. Евтушик, В. М. Шарипов // Тракторы и сельхозмашины. – 2000. – № 12. – С. 21–24.
3. Результаты испытаний фрикционных дисков из различных материалов для гидромеханических передач самосвалов «БелАЗ» / А. Ф. Ильющенко, [и др.] // Трение и износ. – 2011. – Т. 32, № 3. – С. 248–255.
4. Шарипов, В. М. О коэффициенте трения в контакте пар трения фрикционных муфт в коробках передач автомобилей и тракторов при переключении передач без разрыва потока мощности / В. М. Шарипов, М. И. Дмитриев, К. И. Городецкий // Наука и образование. – 2016. – № 8. – С. 21–30.
5. Исследование теплового режима пар трения многодискового тормоза / В. П. Сергиенко [и др.] // Трение и износ. – 2013. – Т. 6, № 3. – С. 555–564.

УДК 681.511.4

СИНТЕЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОМЕРНО-ВРЕМЕННЫМ ОПЕРАТОРНЫМ МЕТОДОМ

А. В. Козлов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Системы автоматического управления очень часто имеют в своем составе нелинейные элементы, что значительно усложняет их анализ и синтез. Традиционный подход к исследованию подобных систем имеет ряд трудностей из-за необходимости вычислять интеграл свертки от переменных. Альтернативой подобному подходу является применение многомерного интегрального преобразования по Лапласу.

Ключевые слова: синтез, анализ, регулятор, метод, система.

SYNTHESIS OF SYSTEMS OF AUTOMATIC CONTROL BY MULTIDIMENSIONAL-TEMPORARY OPERATOR METHOD

A. V. Kozlov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Automatic control systems very often have nonlinear elements, which greatly complicates their analysis and synthesis. The traditional approach to investigating such systems has a number of difficulties due to the need to calculate the convolution integral from variables. An alternative to such an approach is the use of a multidimensional integral Laplace transform.

Keywords: synthesis, analysis, regulator, method, system.

При использовании многомерно-временного операторного метода (МВОМ) [1] для решения задачи синтеза и идентификации нелинейных замкнутых систем число независимых комплексных переменных p_1, p_2, \dots, p_n стремится к бесконечности [2], поэтому для решения подобных задач используют численные методы, которые не раскрывают полной картины физических процессов в системе и дают результат в виде сложных дифференциальных уравнений, решение которых не всегда позволяет синтезировать регулятор.

Если использовать уже существующий МВОМ в сочетании с принципом динамической компенсации и разложением нелинейных элементов системы в математический ряд, то возможно разработать аналитический метод для синтеза регуляторов в нелинейных системах автоматического управления.

Рассмотрим основные положения предлагаемого метода на примере нелинейной системы, представленной в общем виде на рис. 1, где W_{PE} – передаточная функция (ПФ) регулятора; W_O – ПФ объекта управления.

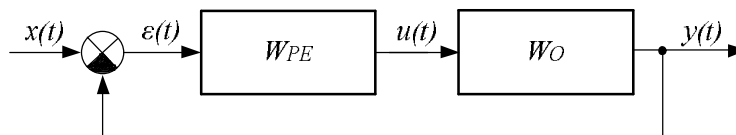


Рис. 1. Структурная схема нелинейной системы управления

Опишем элементы системы управления (рис. 1) рядами Вольтерра [3]. В этом случае поведение замкнутой системы представляется в виде:

$$y(t) = \sum_{q=1}^{\infty} \int \dots \int_0^t k_3^q(\tau_1, \dots, \tau_q) x(t - \tau_1) \cdot \dots \cdot x(t - \tau_q) d\tau_1 \dots d\tau_q. \quad (1)$$

Тогда, воспользовавшись определением многомерной ПФ:

$$W(p_1, \dots, p_n) = \int \dots \int_0^{\infty} k(\tau_1, \dots, \tau_n) e^{-p_1 \tau_1} \cdot \dots \cdot e^{-p_n \tau_n} d\tau_1 \dots d\tau_n, \quad (2)$$

в рассматриваемой системе можно выделить следующие ПФ:

- $W_{PE}^1(p_1), \dots, W_{PE}^v(p_1, \dots, p_v)$ – ПФ регулятора;
- $W_O^1(p_1), \dots, W_O^i(p_1, \dots, p_i)$ – ПФ объекта управления;
- $W_P^1(p_1), \dots, W_P^j(p_1, \dots, p_j)$ – ПФ разомкнутой системы;
- $W_3^1(p_1), \dots, W_3^q(p_1, \dots, p_q)$ – ПФ замкнутой системы.

Задача синтеза регулятора, как известно, заключается в нахождении таких ПФ регулятора, чтобы замкнутая система обладала эталонными динамическими характеристиками, т. е. чтобы при определенном входном сигнале система выдавала за-

данный отклик. Таким образом, постановка рассматриваемой задачи полностью совпадает с задачей синтеза регуляторов в классе линейных систем. Предполагается, что неизменяемые элементы системы представляют собой соединение линейных инерционных и нелинейных безинерционных звеньев [3].

Поскольку нам известны входной и выходной сигналы всей системы, мы можем задаться эталонной ПФ $W_3^1(p_1), \dots, W_3^N(p_1, \dots, p_N)$.

В итоге мы получим систему, представленную на рис. 2.

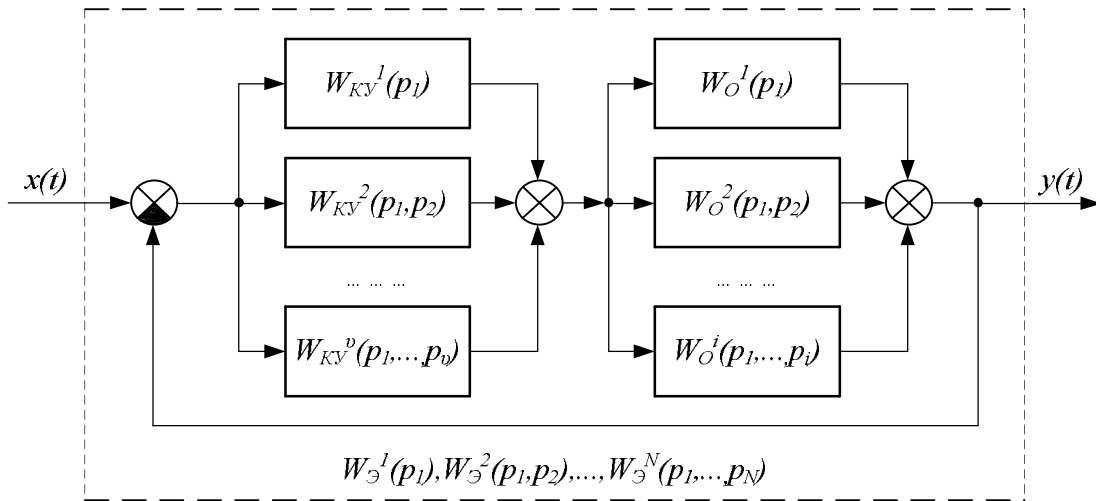


Рис. 2. Структурная схема нелинейной системы управления

На основании правил преобразования структурных схем [1] запишем формулы, связывающие ПФ замкнутой и разомкнутой систем в виде сочетания ядер Вольтерра:

$$\left\{ \begin{array}{l} W_3^1(p_1) = \frac{W_p^1(p_1)}{1 + W_p^1(p_1)}; \\ \dots; \\ W_3^N(p_1, \dots, p_N) = \frac{W_p^N(p_1, \dots, p_N)}{\left[1 + W_p^1\left(\sum_{r=1}^N p_r\right) \right] \prod_{r=1}^N [1 + W_p^1(p_r)]}. \end{array} \right. \quad (3)$$

Учитывая, что должно быть выполнено равенство $W_3^N(p_1, \dots, p_N) = W_3^N(p_1, \dots, p_N)$, легко получить ПФ разомкнутой системы. А так как разомкнутая система представляет собой последовательное соединение регулятора и объекта управления, то легко найти ПФ регулятора:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 W_{PE}^1(p_1) = \frac{W_{\exists}^1(p_1)}{1 - W_{\exists}^1(p_1)} (W_0^1(p_1))^{-1}; \\
 W_{PE}^2(p_1, p_2) = \frac{W_{\exists}^2(p_1, p_2)}{[1 - W_{\exists}^1(p_1 + p_2)] \prod_{r=1}^2 [1 - W_{\exists}^1(p_r)]} (W_0^1(p_1 + p_2))^{-1} - \\
 \frac{W_0^2(p_1, p_2) \prod_{r=1}^2 W_{\exists}^1(p_r)}{\prod_{r=1}^2 [1 - W_{\exists}^1(p_r)]} (W_0^1(p_1 + p_2) \prod_{r=1}^2 W_{\exists}^1(p_r))^{-1}; \\
 \dots
 \end{array} \right. \quad (4)$$

Выражение (4) представляет собой решение поставленной задачи. На основании рассмотренного выше можно сделать следующие выводы:

– в классе аналитических нелинейных систем имеет место компенсация динамических характеристик объекта за счет его обратных ПФ, также как и в линейных стационарных и нестационарных задачах;

– точность полученного регулятора зависит от количества ядер Вольтерра, участвующих в расчете;

– аналогично решается задача синтеза при включении регулятора в цепь обратной связи.

Л и т е р а т у р а

1. Козлов, А. В. Многомерно-временно операторный метод анализа элементов системы автоматического управления с нелинейностями типа «произведения» : дис. ... канд. тех. наук : 681.511.4 / А. В. Козлов ; Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2007. – 134 с.
2. Луковников, В. И. Многомерный операторный метод анализа систем с модуляцией / В. И. Луковников // Вестн. КГТУ. – 1998. – С. 102–110.
3. Пупков, К. А. Синтез регуляторов систем автоматического управления / К. А. Пупков, Н. Д. Егупова. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 616 с.

УДК 004.932:617.753.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ АСТИГМАТИЗМА С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

П. Ю. Говядкова, К. С. Курочка

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Глазная хирургия для коррекции астигматизма сегодня становится все менее рискованной процедурой. Новые методы для правильной диагностики, такие как топографические изображения глаз, которые используют принцип Шеймпфлуга, в частности, Пентакам, являются одним из этих инструментов. Астигматизм – одно из наиболее распространенных заболеваний человеческого зрения. Правильное выявление астигматизма может помочь устранить или уменьшить послеоперационные осложнения. Нейронные сети уже показали свой потенциал в процессе принятия решений в разных областях. Поэтому разработка новых алгоритмов и адаптация существующих в области диагностики заболеваний зрения – очень важная и актуальная задача. Одним из направлений исследования