



УДК 681.518.5

© 2019 г. В.Д. Блощинский,

С.В. Шалобанов, д-р техн. наук

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТУРА САМОНАСТРОЙКИ ИЗОМОРФНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА РАЗЛИЧИМОСТЬ ДЕФЕКТОВ НЕПРЕРЫВНЫХ САУ*

Рассмотрен алгоритм поиска одиночных параметрических дефектов в непрерывных динамических объектах, основанный на настраиваемых изоморфных моделях, построенных на рекурсивных фильтрах Лагерра. Исследовано влияние коэффициента усиления контура самонастройки диагностической модели и вида входного сигнала на результаты диагностирования. Все эксперименты и моделирование проводились с помощью специализированного программного комплекса, созданного в Scilab/Xcos. **Ключевые слова:** параметрический дефект, САУ, фильтр Лагерра, изоморфная модель, объект диагностирования, диагностический признак.

DOI: 10.22250/isu.2019.62.92-100

Введение

Из-за возрастающих требований к качеству и надежности систем автоматического управления (САУ) остаются актуальными вопросы их диагностики и идентификации. Техническая диагностика САУ является активно развивающимся научным направлением. Задачи разработки и исследования алгоритмов диагностирования [1 – 3] занимают важное место в общей проблеме построения высокоэффективных методов, алгоритмов и диагностического обеспечения технических систем.

Данная работа является продолжением работ [3 – 5], где рассматривалась возможность применения изоморфных динамических моделей на рекур-

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-08-00737).

сивных БИХ-фильтрах и фильтрах Лагерра для поиска параметрических дефектов в непрерывных САУ. Ранее было определено, что из представленных моделей лучше всего обнаруживает дефекты модель на рекурсивных фильтрах Лагерра, поэтому именно она будет рассмотрена далее. В этих работах описывалась методика настройки, которая подразумевала выбор параметров контура самонастройки для достижения наименьшей ошибки модели по отношению к объекту диагностирования и наименьшего времени настройки. Однако не всегда есть возможность проводить обширный эксперимент по определению параметров.

Цель данной работы – рассмотрение влияния выбранных параметров в контурах самонастройки модели на ее диагностические возможности.

Описание алгоритма

Изоморфная динамическая модель построена на основе фильтров Лагерра, включенных в обратную связь (рекурсивно). Общий вид таких моделей для n базисных функций $\varphi_n(t)$ представлен на рис. 1 [3], где x – диагностический сигнал, который подается на вход модели и объекта диагностирования; y_k – выходной сигнал, формирующийся изоморфной моделью; β_n – настраиваемые коэффициенты изоморфной модели.

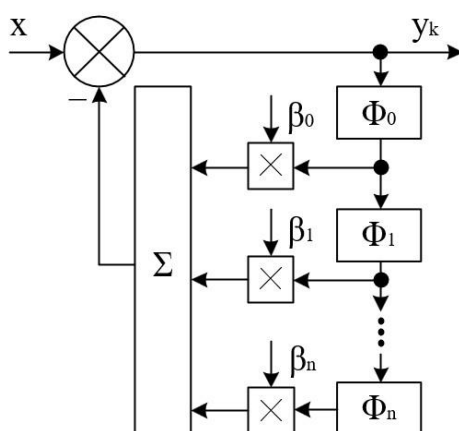


Рис. 1. Диагностическая модель на рекурсивных фильтрах Лагерра k -й контрольной точки.

Система ортогональных базисных функций фильтров Лагерра реализуются с помощью следующих передаточных функций:

$$\Phi_0 = \frac{s}{s+b}; \quad \Phi_i = \frac{s-b}{s+b}, \quad (1)$$

где b – изменяемый характеристический коэффициент; Φ_0 – передаточная функция первого звена фильтра; Φ_i – передаточные функции последующих звеньев фильтра.

Более полное описание построения такой модели и алгоритма диагно-

стирования описаны в работах [3 – 5]. Контуры самонастройки коэффициентов β_n диагностической изоморфной модели построены по градиентному методу. Для определения различимости дефектов рассчитываются диагностические признаки по формуле (2). Такой признак имеет наилучшие показатели диагностирования дефектов описанным в [3, 4] алгоритмом.

$$J_j = 1 - \left(\frac{(Y - N) \cdot (Z_j - N)}{\|Y - N\| \cdot \|Z_j - N\|} \right)^2, \quad (2)$$

где Y – вектор параметров текущего состояния объекта диагностирования; Z_j – вектор эталонных параметров j -го рассматриваемого дефекта; N – вектор параметров нормального состояния объекта диагностирования. Данные три вектора составлены в совокупности по всему набору используемых контрольных точек, имеющих размерность k .

Программная реализация алгоритма в среде Scilab Xcos

Для проведения численных экспериментов по диагностированию необходимо определить объект диагностирования. В данной работе рассматривается САУ в типичном представлении: объект управления – блок «W3», элемент управления объектом – блок «W2», регулятор – блок «W1», охваченные единичной отрицательной обратной связью. Структура рассматриваемого объекта диагностирования приведена на рис. 2.

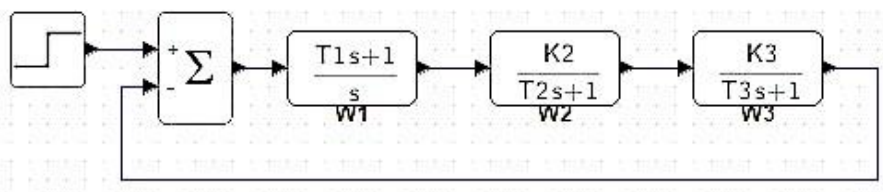


Рис. 2. Структура алгоритма диагностирования.

Представленные блоки «W1», «W2» и «W3» соответственно имеют следующие передаточные функции:

$$W1 = \frac{1.9s + 1}{s}; \quad W2 = \frac{1}{0.4s + 1}; \quad W3 = \frac{3}{2s + 1}. \quad (3)$$

Структура блоков изоморфных моделей в системе диагностирования, которая была представлена в [3], осталась без изменений.

В данной работе используются три контрольные точки после каждого динамического блока объекта диагностирования. Коэффициенты β_n диагностических изоморфных моделей определяются по среднему значению последних 10% отсчетов времени моделирования. Такое усреднение необходимо, так как коэффициенты хоть и должны стремиться к какому-либо установившемуся значению в конце времени моделирования, но возможно, что к

этому моменту значения коэффициентов будут совершать незначительные колебания вокруг постоянной.

Результаты численных экспериментов

Для проведения экспериментов по диагностированию параметрических дефектов необходимо настроить диагностические модели. Используя опыт настройки, которая описывалась в работах [3, 5], можно заранее определить приемлемые значения параметров изоморфных динамических моделей. Как было определено, лучше использовать модели, которые по скорости реакции были бы соизмеримы с объектом диагностирования, а количество используемых базисных функций в фильтрах Лагерра соизмеримо с порядком объекта. За быстродействие фильтров отвечает параметр b , который в них заложен. Его значение можно выбирать равным обратному значению общей постоянной времени рассматриваемого объекта или немного больше. Исходя из структуры объекта диагностирования (рис. 2) и графиков переходных процессов для каждой контрольной точки, изображенной на рис. 3, количество используемых базисных функций N выбрано равным 3, а значение параметра b в фильтрах – равным 0.6.

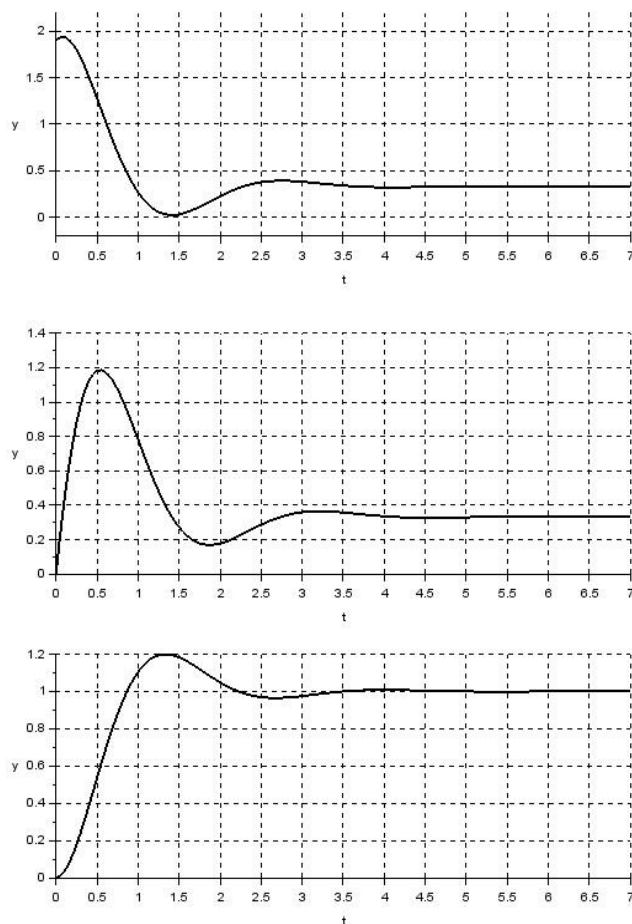


Рис. 3. Графики переходных процессов объекта соответственно для первой, второй и третьей контрольных точек.

Для исследования влияния параметров в контурах самонастройки изоморфных моделей на различимость дефектов определим время настройки коэффициентов β_n при различных значениях a – коэффициента усиления в этих контурах.

Дополнительно рассмотрим влияние входного сигнала системы диагностики.

Для этого были выбраны четыре входных сигнала: ступенчатая функция; синусоидальный сигнал с частотой колебаний, соизмеримой со временем переходного процесса объекта диагностирования (частота была выбрана равной 1 рад/с); синусоидальный сигнал с частотой колебаний в два раза большей предыдущего (соответственно – 2 рад/с) и в два раза меньшей предыдущего (соответственно – 0.5 рад/с).

Графики зависимостей времени настройки коэффициентов β_n от значений параметра a приведены для всех четырех входных сигналов на рис. 4, 5, 6 и 7.

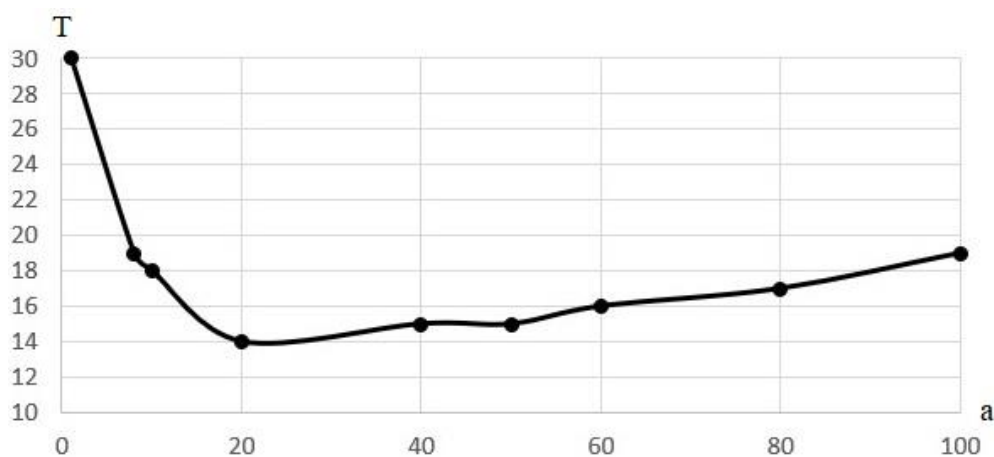


Рис. 4. График зависимости T (времени настройки коэффициента β_n) от параметра a для ступенчатого входного сигнала.

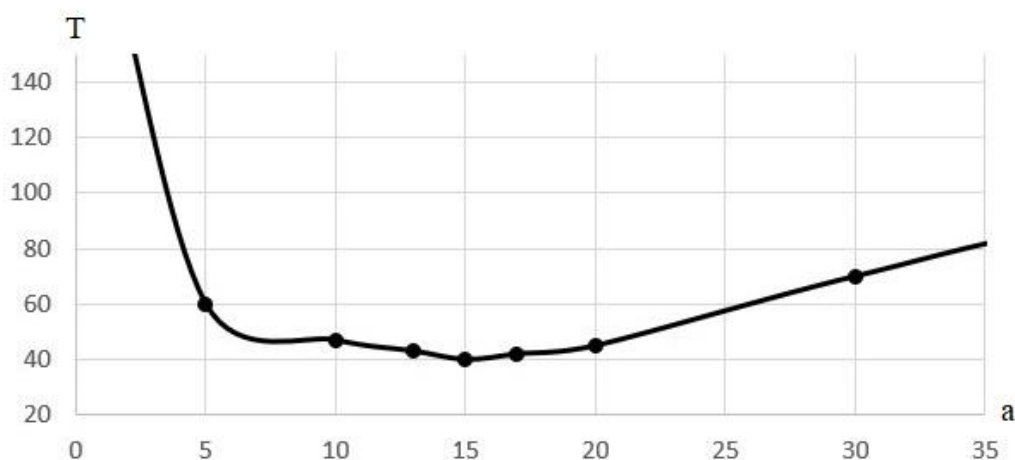


Рис. 5. График зависимости T (времени настройки коэффициента β_n) от параметра a для синусоидального входного сигнала с частотой 1 рад/с.

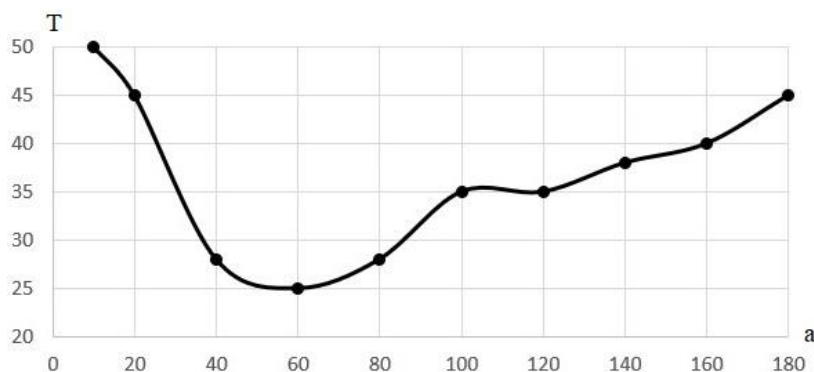


Рис. 6. График зависимости T (времени настройки коэффициента β_n) от параметра a для синусоидального входного сигнала с частотой 2 рад/с.

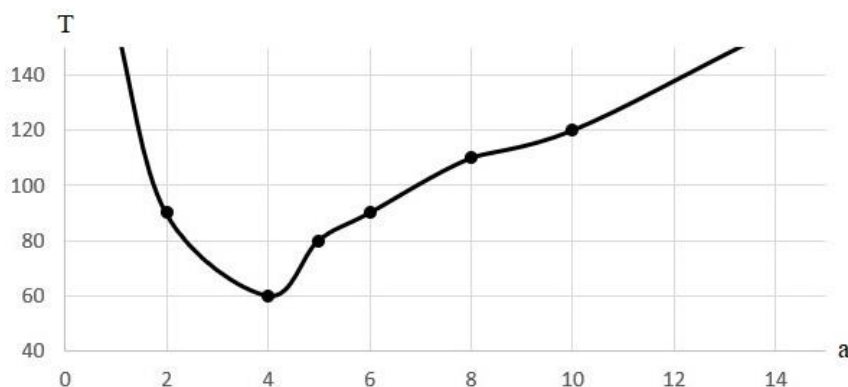


Рис. 7. График зависимости T (времени настройки коэффициента β_n) от параметра a для синусоидального входного сигнала с частотой 0.2 рад/с.

Из представленных графиков видно, что для одной структуры изоморфной модели выбор параметра a в контурах самонастройки зависит от вида входного сигнала системы диагностики. Скорость настройки диагностической модели также зависит от вида входного сигнала. В ходе исследований было отмечено, что установившиеся значения коэффициентов β_n отличались как для различных входных сигналов, так и для различных параметров a . Это свидетельствует, что выбор конкретных параметров изоморфной модели напрямую влияет на возможности определения β_n и, соответственно, на последующее диагностирование.

Эксперименты по определению параметрических дефектов проводились для значений параметра a , соответствующих наименьшему времени настройки и нескольким отличным от него. Для каждого вида входного сигнала и коэффициентов в контурах самонастройки определялись наборы эталонных технических состояний объекта диагностирования, которые содержат дефекты для каждого динамического блока. Каждый набор содержит по 10 эталонных векторов коэффициентов β_n для отклонений значений каждого параметра объекта на $\pm 10\%$. Для проведения анализа были рассмотрены дефекты на $\pm 8\%$ и $\pm 15\%$. Результаты диагностирования приведены в табл. 1. Для сокращения отображаемых результатов в ней представлены не все рас-

смотренные дефекты и входные сигналы, а также сокращен список рассчитанных признаков.

Таблица 1

Эталонный дефект	Признак дефекта	Эталонный дефект	Признак дефекта	Эталонный дефект	Признак дефекта
Ступенчатый входной сигнал					
$a = 20$		$a = 80$		$a = 8$	
Дефект параметра T1 +8%					
T1 +10 %	0.0000347	T1 +10 %	0.0000884	T1 +10 %	0.0000174
T2 -10 %	0.0006724	T2 -10 %	0.0007725	T2 -10 %	0.0005266
T3 -10 %	0.0010131	T3 -10 %	0.0017741	T3 -10 %	0.0006698
Дефект параметра T1 -15%					
T1 -10 %	0.0004468	T1 -10 %	0.0009311	T1 -10 %	0.0002356
T3 +10 %	0.0017304	T3 +10 %	0.0027083	T3 +10 %	0.0010206
T2 +10 %	0.0028755	T2 +10 %	0.0046767	T2 +10 %	0.0019117
Дефект параметра K2 +15%					
K2 +10 %	0.0018202	K2 +10 %	0.0021928	K2 +10 %	0.0022859
K3 +10 %	0.0116348	K3 +10 %	0.0139485	K3 +10 %	0.0131784
T1 +10 %	0.0187884	T1 +10 %	0.0196127	T2 +10 %	0.0228032
Дефект параметра T3 -8%					
T3 -10 %	0.0000720	T3 -10 %	0.0001622	T3 -10 %	0.0000433
T2 -10 %	0.0005221	T2 -10 %	0.0010129	T1 +10 %	0.0004256
T1 +10 %	0.0006631	T1 +10 %	0.0010686	T2 -10 %	0.0004527
Синусоидальный входной сигнал частотой 1 рад/с					
$a = 15$		$a = 30$		$a = 4$	
Дефект параметра T1 +15%					
T1 +10 %	0.0003608	T1 +10 %	0.0038055	T1 +10 %	0.0039326
T1 -10 %	0.0119327	T2 -10 %	0.0526093	K2 +10 %	0.0432436
K2 -10 %	0.4614271	K2 +10 %	0.0591898	T2 -10 %	0.0538648
Дефект параметра K2 +8%					
K2 +10 %	0.0004905	K2 +10 %	0.0049379	K2 +10 %	0.0031397
K2 -10 %	0.0398555	T1 +10 %	0.0392388	T1 +10 %	0.0289211
K3 -10 %	0.4505025	T2 -10 %	0.0623975	T2 -10 %	0.0515292
Дефект параметра T2 -8%					
T2 -10 %	0.0000432	T2 -10 %	0.0007116	T2 -10 %	0.0005722
T2 +10 %	0.0032670	T1 +10 %	0.0277062	T1 +10 %	0.0279319
T3 -10 %	0.5089050	T2 +10 %	0.0479497	T1 -10 %	0.0388199
Дефект параметра K3 -15%					
K3 -10 %	0.0004732	K3 -10 %	0.0276399	K3 -10 %	0.0276382
K3 +10 %	0.0351114	T3 +10 %	0.0942800	T3 +10 %	0.0826659
T3 +10 %	0.1925914	K2 -10 %	0.1305738	K2 -10 %	0.1430576

В дополнение были рассчитаны средние значения различимостей дефектов для каждого вида входного сигнала и различных значений параметра

a в контурах самонастройки изоморфной модели. Некоторые из различимостей, отражающие общий результат, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Ступенчатый входной сигнал	Значение параметра a	20	80	8
	Средняя различимость	0.0058287	0.0066517	0.006008
Синусоидальный входной сигнал частотой 1 рад/с	Значение параметра a	15	60	4
	Средняя различимость	0.0268772	0.0429744	0.0365506
Синусоидальный входной сигнал частотой 2 рад/с	Значение параметра a	60	160	10
	Средняя различимость	0.0064721	0.0047356	0.0047481
Синусоидальный входной сигнал частотой 0.5 рад/с	Значение параметра a	4	10	2
	Средняя различимость	0.0229552	0.0152344	0.0286571

Проведенное диагностирование показало, что предлагаемый алгоритм справился с определением всех введенных в объект параметрических дефектов. Это справедливо для всех выбранных входных сигналов и значений параметра a в контурах самонастройки.

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Настройку параметров динамической изоморфной модели необходимо проводить не только исходя из характеристик объекта диагностирования, но и для конкретного входного сигнала, так как выбор коэффициента усиления в контуре самонастройки для достижения наименьшего времени настройки коэффициентов β_n и скорость их определения напрямую зависят от выбранного диагностического сигнала. При этом итоговые значения β_n будут отличаться для различных вариаций параметров. Это можно объяснить тем, что в ходе поиска установившихся значений решается задача минимизации квадрата ошибки рассогласования сигналов модели и объекта, которая имеет несколько локальных минимумов.

Из результатов проведенного диагностирования видно, что изменение коэффициента усиления в контуре самонастройки незначительно влияет на различимость дефектов. Это говорит о возможности использовать любое его значение при настройке изоморфных моделей, так как он влияет только на скорость определения коэффициентов β_n . Стоит отметить, что есть определенный диапазон допустимых значений параметра a , в котором возможно

получить адекватный результат настройки. Также можно сделать вывод, что для диагностирования предлагаемым методом использование суммы сигналов различной частоты может иметь отрицательный характер, поскольку может не быть такого значения коэффициента усиления в контурах самонастройки, который бы подходил для настройки изоморфной модели под каждую гармонику.

Из результатов диагностирования видно, что средняя различимость дефектов довольно мала, но для синусоидального входного сигнала с частотой колебаний, равной 1 рад/с, малая различимость наблюдалась для эталонов, соответствующих одному параметру. При этом для эталонов других параметров различимость в разы лучше. Исходя из этого, можно сделать вывод, что для поиска дефектов предлагаемым алгоритмом больше всего подходит синусоидальный входной сигнал с частотой колебаний, соизмеримой со временем переходного процесса объекта диагностирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Voronin V.V., Davydov O.A.* Technical objects diagnostics systems organizing // *Int. J. Energy Technology and Policy*. – 2019. – Vol. 15, Nos. 2/3. – P. 166-179.
2. *Алексеев А.А., Кораблев Ю.А., Шестопалов М.Ю.* Идентификация и диагностика систем: учеб. для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Изд. центр «Академия», 2009.
3. *Блощинский В.Д., Шалобанов С.В.* Алгоритм поиска параметрических дефектов в непрерывных динамических объектах с помощью настраиваемых моделей на фильтрах Лагерра // *Информационные технологии XXI века: сб. науч. тр.* – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2019. – С. 4-11.
4. *Блощинский В.Д., Шалобанов С.В.* Применение динамических изоморфных моделей для поиска параметрических дефектов в непрерывных САУ // *Молодые ученые – Хабаровскому краю: материалы XXI краевого конкурса молодых ученых и аспирантов.* – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2019. – С. 124-128.
5. *Bloshchinskiy V.D., Shalobanov S.V., Shalobanov S.S.* Application Of Configurable Diagnostic Models On IIR-filters And Laguerre Filters For Finding Parametric Defects In Continuous Dynamic Objects. // *International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2019)*. – 2019. – P. 1-5. DOI: 10.1109/SIBCON.2019.8729620.

E-mail:

Блощинский Владислав Дмитриевич – vladkms94@mail.ru;

Шалобанов Сергей Викторович – shalobanov@mail.ru.