

УДК 681.513.66

МОДАЛЬНОЕ АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТОМ С ИНТЕРВАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ НА ОСНОВЕ УПРОЩЕННОЙ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ И ПРИНЦИПА ДОМИНИРОВАНИЯ ПОЛЮСОВ

С.А. Гайворонский

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: saga@tpu.ru

И.В. Хожаев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ivh1@tpu.ru

А.В. Соболев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: avs@tpu.ru

Ключевые слова: адаптивное управление, модальное управление, интервальные параметры, эталонная модель, доминирующий полюс, апериодический переходный процесс, параметрическая самонастройка регулятора.

Аннотация: Решается задача синтеза адаптивной системы управления для объекта с интервальными коэффициентами его передаточной функции с целью получения в системе апериодических переходных процессов с постоянной длительностью. Решение основано на использовании в адаптивной системе упрощенной эталонной модели с передаточной функцией апериодического звена, полюс которой совпадает с заданным вещественным доминирующим полюсом системы. Приводится числовой пример синтеза адаптивной системы, подтверждающий эффективность предлагаемого способа адаптации.

1. Введение

Известно, что одним из подходов при модальном синтезе системы автоматического управления является задание ее доминирующих полюсов, которые выбираются в зависимости от желаемого характера и времени переходного процесса системы. Если объект управления имеет интервальные параметры, изменяющиеся в заданных пределах, то в зависимости от требуемого качества системы может возникнуть две задачи. Первая – синтез робастного регулятора, обеспечивающего допустимое качество системы в наихудшем режиме (локализацию доминирующих полюсов внутри допустимых областей). Вторая задача возникает, если в интервальной системе необходимо гарантировать стабильность показателей качества. В этом случае следует

обеспечить стабилизацию доминирующих полюсов в желаемых точках путем придания системе адаптивных свойств. Это позволит, например, при достаточной степени доминирования сохранять постоянство времени переходных процессов в системе при любых значениях интервальных параметров объекта.

2. Постановка задачи

Для решения поставленной задачи предлагается применить разработанный ранее модальный подход [1, 2], предусматривающий разделение параметров регулятора на свободные и зависимые. На его основе для объекта с интервальными коэффициентами передаточной функции возможно синтезировать робастный регулятор пониженного порядка, обеспечивающий получение в системе апериодических переходных процессов. Такой регулятор способен зависимыми параметрами располагать доминирующий вещественный полюс системы в заданном отрезке, а свободными локализовать остальные полюса в желаемой области. При любом значении доминирующего полюса из его отрезка свободные полюса остаются в своей области. При такой локализации полюсов границы вещественного отрезка будут определять время апериодического переходного процесса.

Для стабилизации этого времени вне зависимости от значений интервальных параметров следует перейти от робастного управления к адаптивному. Для этого в [2] показано, что, зная значение свободного параметра регулятора и измеряя текущее значение интервального коэффициента передаточной функции объекта, можно организовать самонастройку зависимого параметра регулятора. Для такой самонастройки необходимо разработать алгоритм на основе выражения зависимого параметра через свободный и интервальный коэффициент и тем самым стабилизировать доминирующий полюс в любой точке. Это позволит обеспечить стабильность времени апериодического переходного процесса в системе. Однако не все параметры доступны прямому измерению и поэтому представляет интерес такая стабилизация без непосредственного измерения интервального параметра объекта.

3. Синтез контура адаптации с упрощенной эталонной моделью

Для решения поставленной задачи предлагается использовать адаптивную систему с эталонной моделью (ЭМ). Важным при этом для синтеза алгоритма адаптации является выбор ЭМ. Выбирая ЭМ в форме передаточной функции, необходимо определить ее структуру и параметры. В работах [3-5] предлагается выбирать порядки числителя и знаменателя ЭМ, равными порядкам числителя и знаменателя передаточной функции синтезируемой замкнутой системы. Для сложных систем высоких порядков подбор ЭМ той же сложности с желаемыми динамическими свойствами может оказаться трудоемкой задачей. Следовательно, логично будет использовать в качестве ЭМ передаточные функции минимального порядка.

Поскольку главным свойством синтезируемой системы является стабилизация времени апериодического переходного процесса при любых возможных значениях интервального параметра, то в качестве эталонной модели предлагается использовать апериодическое звено первого порядка. Полюс его передаточной функции должен совпадать со значением стабилизируемого вещественного полюса системы. Очевидно, что выходной сигнал ЭМ будет апериодическим с желаемой длительностью. То есть ЭМ косвенно задает доминирующий вещественный полюс системы.

При этом в основном канале управления используется регулятор, один из параметров которого является свободным. Он рассчитывается по известной методике [1] и выставляется постоянным. Второй (зависимый) параметр регулятора настраивается на получение желаемого доминирующего полюса, но не по аналитическому выражению, а по разности выходного сигнала ЭМ и апериодической составляющей выходного сигнала системы. Для ее получения применяется блок выделения апериодической составляющей (БВАС), фильтрующий высокочастотные колебания, вызванные свободными комплексно-сопряженными полюсами системы.

Разность сигналов с этого блока и ЭМ подается на исполнительное устройство – интегратор, выходной сигнал которого определяет значение зависимого параметра регулятора. Оно меняется до тех пор, пока апериодическая составляющая выходного сигнала системы не будет максимально близка к выходному сигналу ЭМ.

4. Пример реализации адаптивной системы

На рис. 1 приведена структурная схема адаптивной системы со стабилизацией времени апериодического переходного процесса.

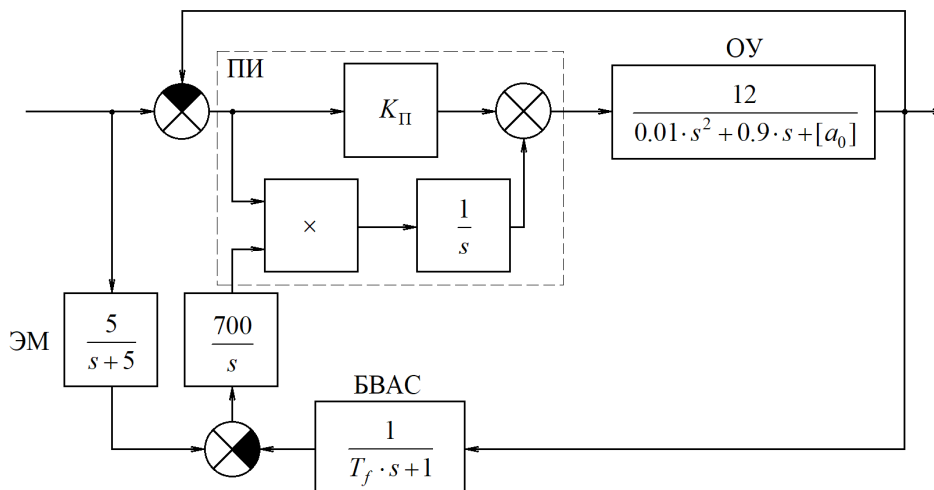


Рис. 1. Структурная схема адаптивной системы со стабилизацией времени переходного процесса на основе принципа доминирования полюсов в условиях интервальной неопределенности параметров.

Основной канал управления содержит ПИ-регулятор $W_{\text{ПИ}}(s) = K_{\text{П}} + K_{\text{И}} \cdot s^{-1}$ и объект с интервальным свободным коэффициентом $a_0 = [10; 120]$ в знаменателе передаточной функции $W_{\text{ОУ}}(s) = 12 \cdot (0.01 \cdot s^2 + 0.9 \cdot s + [a_0])^{-1}$. Предположим, что требуется организовать самонастройку регулятора таким образом, чтобы обеспечить в системе апериодический переходный процесс стабильной длительностью $t_{\text{птп}} = 0.6\text{с}$. Исходя из этого, зададим правую границу отрезка доминирующего вещественного полюса $\lambda = -5$ и в качестве упрощенной эталонной модели выберем апериодическое звено $W_{\text{ЭМ}}(s) = 5 \cdot (s - \lambda)^{-1}$.

Для дальнейшего параметрического синтеза ПИ-регулятора в соответствии с [1] разделяем его параметры на зависимый $K_{\text{И}}$ и свободный $K_{\text{П}}$. Далее после подстановки в характеристический полином системы $\lambda = -5$ и минимального значения интервального коэффициента объекта $[a_0]$ получаем зависимость $K_{\text{И}} = 5 \cdot K_{\text{П}} + 48.2$. Подставляя эту зависимость и границу области свободных полюсов $s(\omega) = -30 + j\omega$ в характеристический полином, проводим D-разбиение и выбираем значение $K_{\text{П}} = 5$.

Если в системе использовать робастный ПИ-регулятор с постоянными параметрами, то на основании приведенной выше зависимости можно вычислить значение $K_{И} = 73.2$. С такими настройками регулятора проверим выполнение принципа доминирования полюсов. Для этого на рис. 2а построен интервальный корневой годограф, подтверждающий локализацию полюсов в желаемых областях. Переходные характеристики такой системы, изображенные на рис. 2б, показывают изменение динамических свойств системы в зависимости от значения интервального параметра. Время переходного процесса принадлежит $t_{\text{пн}} \in [0.071; 0.519]$ с.

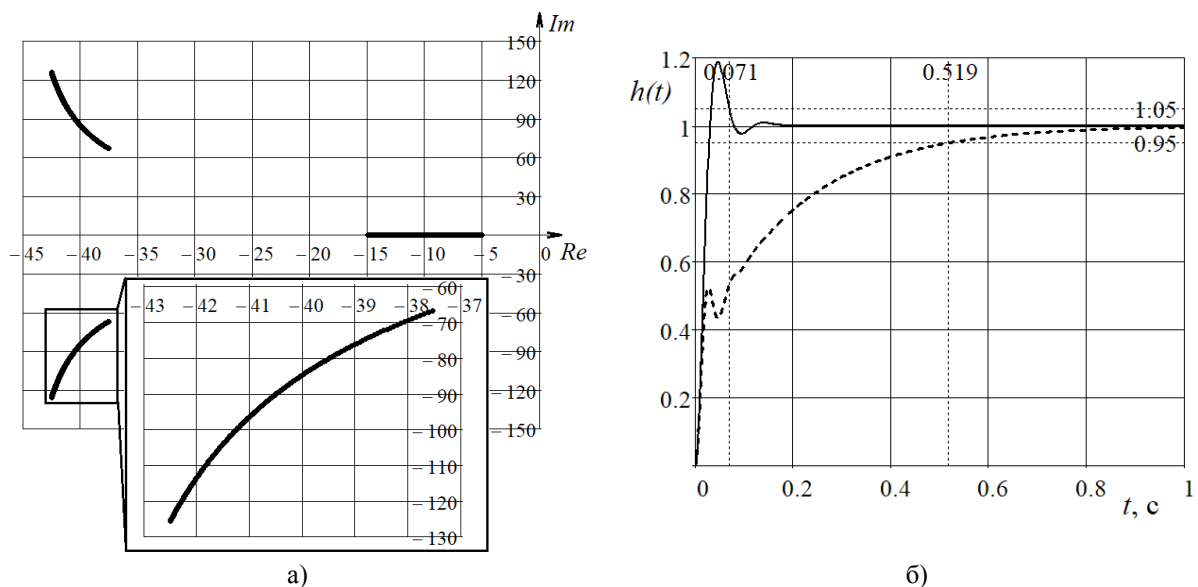


Рис. 2. Интервальный корневой годограф (а) и переходные характеристики (б) системы с робастным регулятором без адаптации.

В адаптивной системе значение свободного параметра выставляется в регуляторе постоянным и далее формируется канал адаптации – канал настройки зависимого параметра регулятора. Для этого, согласно схеме на рис. 1, параллельно входу системы подключена ЭМ с передаточной функцией апериодического звена, а к выходу системы подключен БВАС, выходной сигнал которого сравнивается с выходным сигналом ЭМ. Разность этих сигналов подается на исполнительное устройство – интегратор. Его выходной сигнал задает значение зависимого параметра регулятора. На рис. 3 представлены переходные процессы на выходе системы при различных значениях интервального параметра объекта управления.

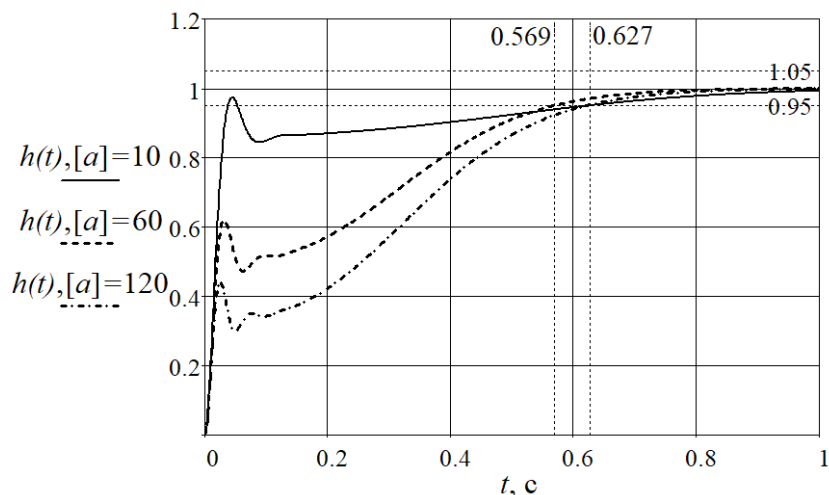


Рис. 3. Переходные характеристики адаптивной системы с эталонной моделью при различных значениях интервального параметра.

Из рисунков видно, что все переходные процессы являются аperiodическими; время переходного процесса примерно совпадает с заданным: $t_{III} = [0.569; 0.627]$ с.

5. Заключение

В заключении следует отметить, что задание в системе желаемого времени аperiodического переходного процесса возможно любым вещественным полюсом из полученного при синтезе робастного регулятора отрезка при условии соблюдения принципа доминирования полюсов. При этом параметры ЭМ должны соответствовать задаваемому доминирующему полюсу. Данный подход планируется распространить на синтез адаптивной системы, где упрощенная эталонная модель учитывает комплексно-сопряженные доминирующие полюса системы, обеспечивающие в ней желаемый колебательный переходный процесс.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-29-00737, <https://rscf.ru/project/23-29-00737>.

Список литературы

1. Gayvoronskiy S.A., Khozhaev I.V., Ezangina T.A. Motion control system for a remotely operated vehicle with interval parameters // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. 2017. Vol. 6, No. 6. P. 679-683.
2. Хожаев И.В., Гайворонский С.А., Езангина Т.А. Адаптивно-робастная стабилизация корневых показателей качества интервальных систем на основе метода доминирующих полюсов // Проблемы управления. 2019. № 6. С. 22-31.
3. Крутова И.Н. Параметрическая оптимизация алгоритмов управления методом адаптивной идентификации // Автоматика и телемеханика. 1995. № 10. С. 107-120.
4. Крутова И.Н. Обеспечение настраиваемых свойств системы управления самолета методом адаптивной идентификации // Автоматика и телемеханика. 1996. № 3. С. 103-116.
5. Глумов В.М., Крутова И.Н. Синтез автоматизированного алгоритма управления итерационным процессом настройки параметров динамической системы // Автоматика и телемеханика. 1997. № 5. С. 12-27.