

УДК 681.5

Автоматизированный выбор параметров фильтра сложной динамической системы на основе генетических алгоритмов поиска

А.В.Мухин , А.А.Ефимов .

Аннотация.

В данной работе предлагается подход к решению задачи автоматизированного выбора параметров фильтра сложной динамической системы на основе использования генетических алгоритмов (ГА) поиска.

Ключевые слова:

системы управления ракет-носителей, автомат угловой стабилизации, синтез фильтров, генетические алгоритмы, методы оптимизации, упругие колебания конструкции.

1. Введение.

Разрабатываемые и перспективные изделия отрасли (РН типа «Ангара-А5», «Союз-2» и т.д.) пакетной компоновки имеют сложную динамическую схему, отличающуюся наличием большого количества дополнительных степеней свободы, параметры которых имеют случайные разбросы, влияющие на динамические свойства изделия как объекта управления.

Особенностью структуры системы управления (СУ) этих изделий является наличие дополнительных быстродействующих контуров, к которым, например, относится контур снижения ветрового нагружения, который оказывает существенное влияние на динамические свойства системы.

Одной из основных проблем при решении задачи обеспечения требований по асимптотической устойчивости движения и качеству переходных процессов при действии внутренних и внешних возмущений на РН и учетом выше перечисленных особенностей СУ является выбор параметров фильтров.

Традиционный подход к решению этой задачи основан на выборе сочетаний различных типов фильтров и расчете постоянных времени обеспечивающих подавление высокочастотных составляющих сигналов с датчиков, обусловленных наличием упругих

колебаний конструкции и колебаний топлива в баках при полете изделия, а также обеспечения необходимых фазовых условий на частотах определяемых опытным путем [1].

Задача усложняется еще и тем, что необходимо учитывать фактор технологичности, т.е. синтезированный фильтр не должен в процессе полета менять свою структуру, а его постоянные времени в процессе полета должны изменяться плавно.

Из выше сказанного следует, что задачу синтеза фильтров сложных динамических систем, при традиционном подходе к ее решению, сложно формализовать и как следствие автоматизировать.

В данной работе предлагается подход к решению задачи автоматизированного выбора параметров фильтра сложной динамической системы на основе использования генетических алгоритмов (ГА) поиска.

2. Решение задачи выбора параметров фильтра автомата угловой стабилизации на основе традиционного подхода к синтезу.

На рисунке (1) показан годограф Найквиста системы на участке максимальных скоростных напоров с учетом влияния динамики сервопривода и измерительных устройств.

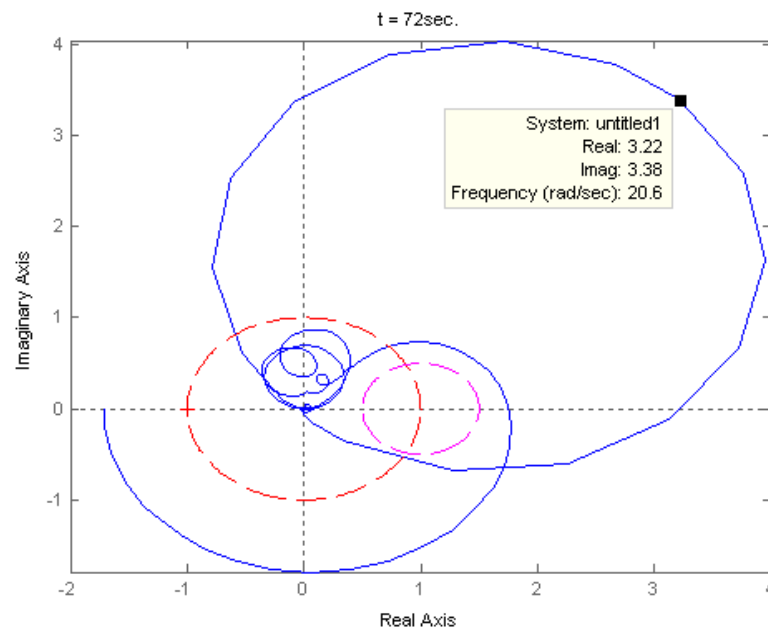


Рис. 1. Годограф Найквиста системы на участке максимальных скоростных напоров с учетом влияния динамики сервопривода, измерительных устройств и работы контура снижения ветрового нагружения.

Из рисунка (1) видно, что для рассматриваемой системы без включения фильтра не удастся обеспечить выполнение требования по асимптотической устойчивости движения.

При моделировании системы будут наблюдаться неустойчивые колебания на частоте первого упругого тона колебаний конструкции.

Выбор структуры и расчет постоянных времени фильтра осуществлялся исходя из необходимости подавления высокочастотной составляющей сигнала с датчиков угла и угловой скорости, обусловленной наличием упругих колебаний конструкции при полете изделия, а также обеспечения необходимых фазовых условий сформированных на основе анализа частотных свойств системы [1].

Ниже приведена передаточная функция фильтра контура угловой стабилизации, синтезированного на основе традиционного подхода, представляющая собой комбинацию режекторного и ВЧ фильтров.

$$f_{out}(S) = \left(\frac{1}{T_1^2 \cdot S + 1} \right) \cdot \left(\frac{1}{T_2^2 \cdot S^2 + T_3 \cdot S + 1} \right) \cdot \left(\frac{T_4^2 \cdot S^2 + T_5 \cdot S + 1}{T_6^2 \cdot S^2 + T_7 \cdot S + 1} \right)$$

На рисунке (2) приведен годограф Найквиста системы с учетом влияния частотных свойств синтезированного фильтра.

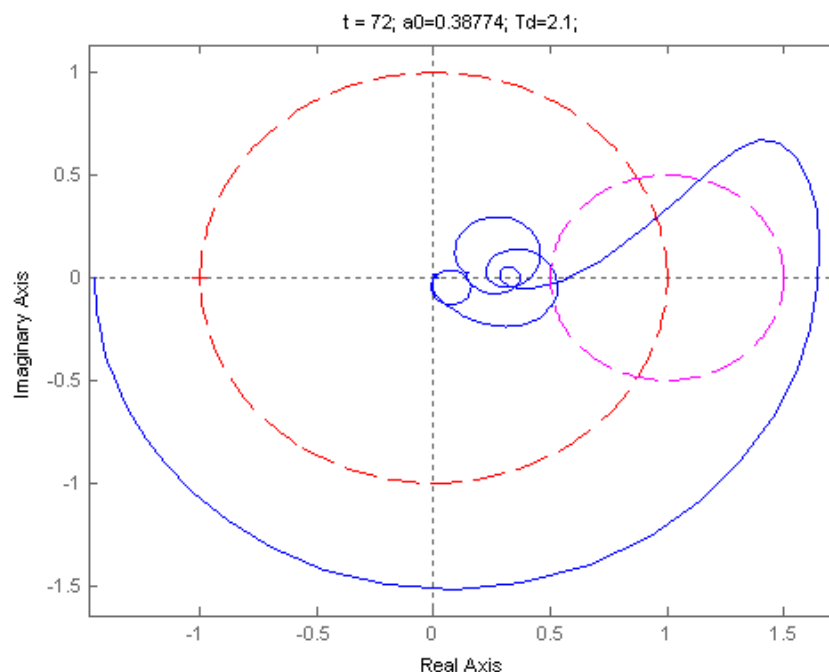


Рис. 2. Годограф Найквиста системы на участке максимальных скоростных напоров с учетом влияния частотных свойств фильтра синтезированного на основе традиционного подхода.

Из рисунка (2) видно, что при включении фильтра полученного в результате синтеза удается обеспечить выполнение требования по асимптотической устойчивости движения за счет подавления высокочастотной составляющей сигнала с датчиков угла и угловой скорости.

3. Решение задачи на основе автоматизированного выбора параметров фильтра автомата угловой стабилизации.

Предлагаемый в работе подход к автоматизированному выбору параметров фильтра основан на построении областей устойчивости в плоскости параметров автомата стабилизации.

Границы области устойчивости определялись путем перебора коэффициентов усиления автомата угловой стабилизации в заданных пределах (метод сеток), где для каждой совокупности коэффициентов усиления на основе алгебраического критерия Рауса-Гурвица проверялось условие устойчивости системы.

В данной задаче в качестве функционала рассматривалось отношение площади области устойчивости к площади сетки по величине коэффициентов усиления автомата угловой стабилизации.

Для решения данной задачи в качестве метода оптимизации были выбраны так называемые генетические алгоритмы поиска, т.к. они обладают достаточно высокой скоростью сходимости и устойчивы к схождению в локальных экстремумах [2].

В качестве оптимизируемых параметров выступали постоянные времени фильтра контура угловой стабилизации, синтезированного на основе традиционного подхода, которые в результате работы алгоритмов оптимизации изменялись в заданных пределах, при этом структура фильтра не изменялась.

На рисунке (3) и в таблице (1) представлены проекции вектора оптимизируемых параметров в процессе 40 итераций (эпох) по оптимизации (расширению) области устойчивости.

Таблица 1

№ эпохи	Постоянные времени фильтра							Сист. ÷ Собщ., %
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	

0*	0.05	0.05	0.25	0.05	0	0.05	0.285	26.15
10	0.093633	0.062112	0.015	0.030148	0.042	0.048077	0.76	43.8
20	0.078431	0.059524	0.013	0.02694	0.048	0.053562	0.67	47.6
30	0.079114	0.05988	0.014	0.029326	0.06	0.051626	0.67	50.5
40	0.070472	0.057045	0.014	0.027902	0.062	0.058411	0.66	53

0*-на нулевой эпохе здесь рассматривается фильтр, синтезированный на основе традиционного подхода.

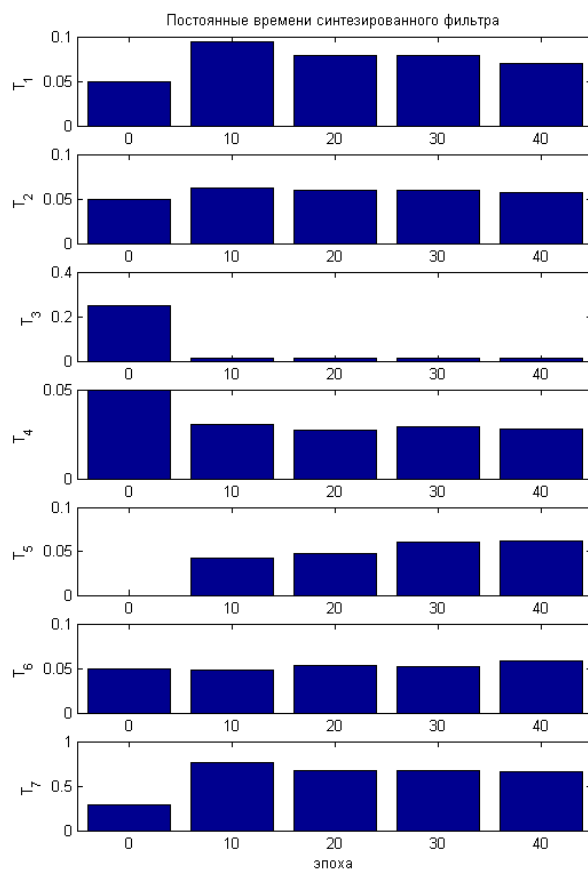


Рис. 3. Зависимости изменения величины постоянных времени фильтра контура угловой стабилизации от итерации работы алгоритма оптимизации.

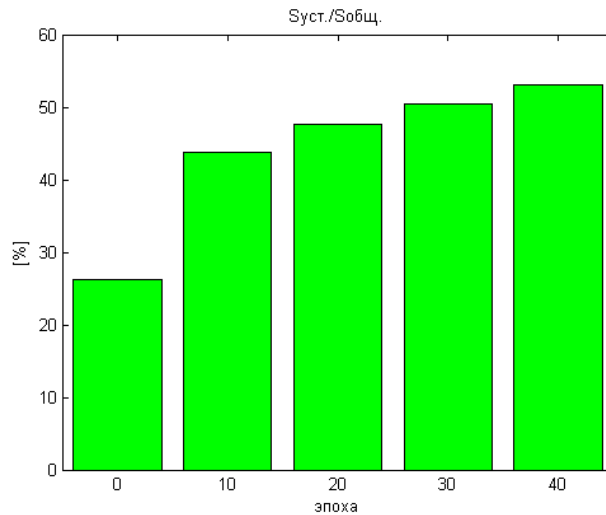


Рис. 4. Зависимость изменения функционала (отношение площади области устойчивости системы к площади сетки варьируемых параметров) от итерации работы алгоритма оптимизации.

Как видно из рисунков (3-4) и таблицы (1) после 20 итерации процесс оптимизации практически сходится, в результате чего область устойчивости существенно (более чем в 2 раза) увеличивается. На рисунке (5) приводится изменение области устойчивости системы в процессе оптимизации.

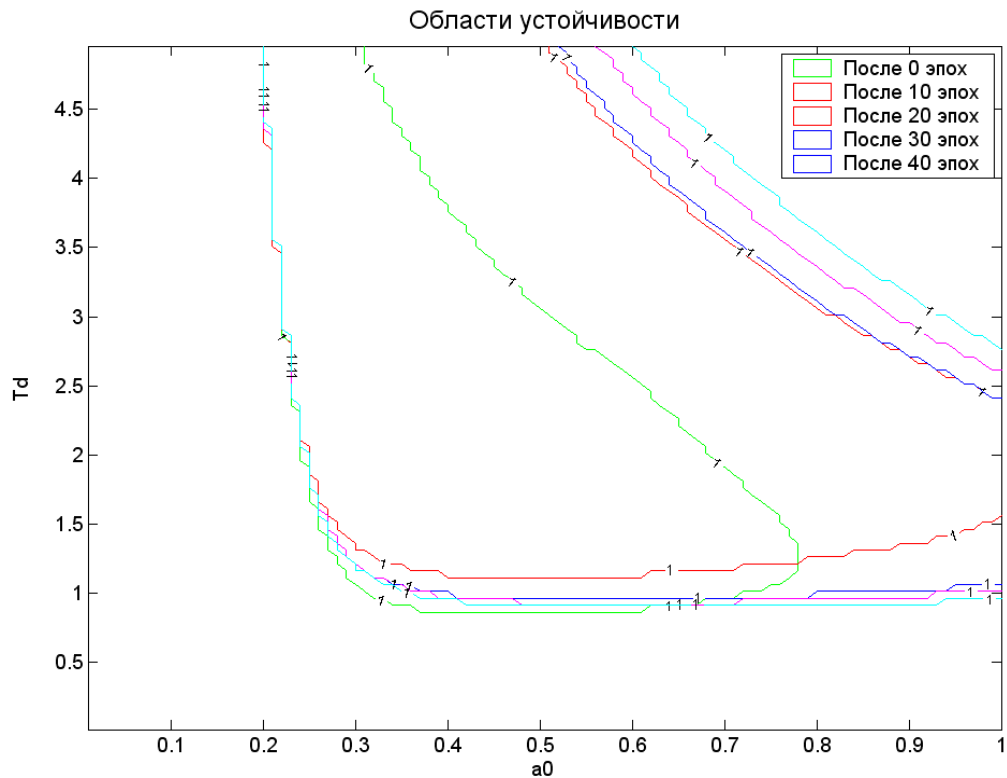


Рис. 5. Изменение области устойчивости системы в процессе оптимизации параметров фильтра контура угловой стабилизации.

4. Сравнение частотных характеристик фильтров синтезированного на основе традиционного подхода и полученного в результате работы алгоритмов оптимизации.

На рисунке (6) показана АФЧХ фильтра синтезированного на основе традиционного подхода, а на рисунке (7) изменение АФЧХ фильтров полученных в результате работы алгоритмов оптимизации.

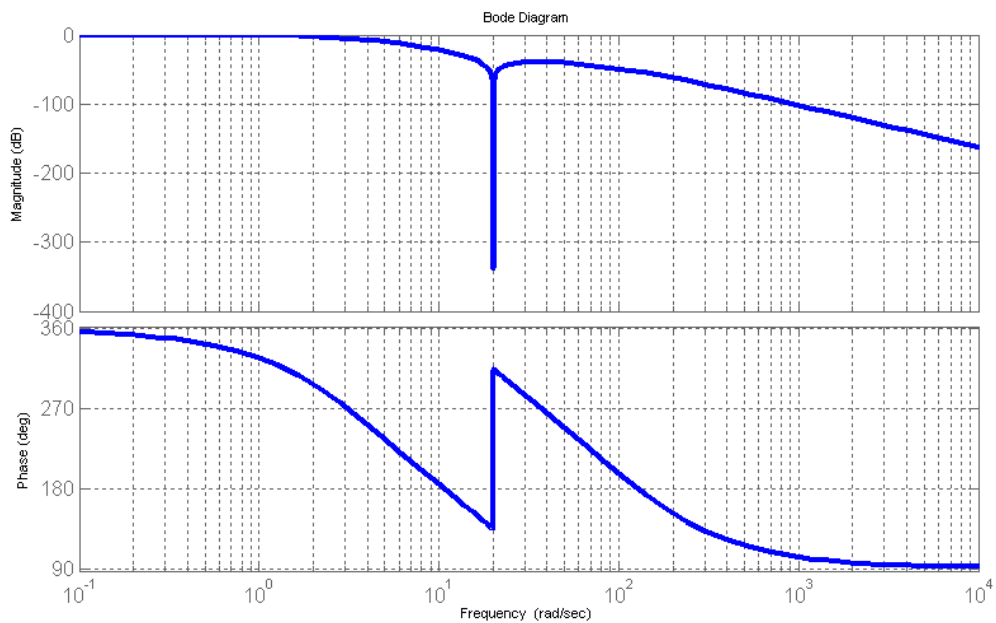


Рис. 6. АФЧХ фильтра синтезированного на основе традиционного подхода.

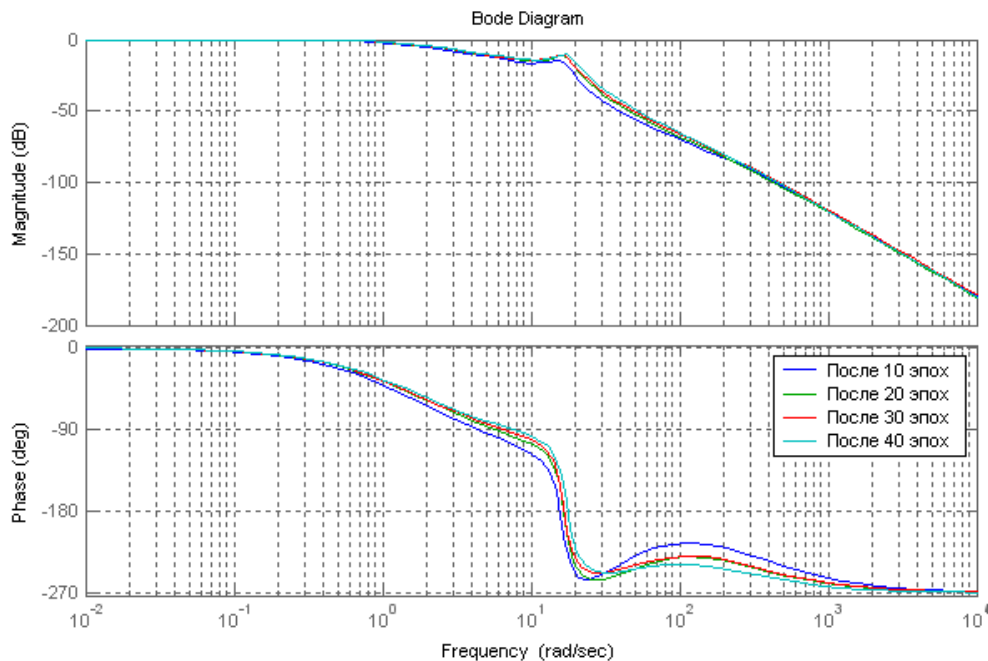


Рис. 7. АФЧХ фильтров полученных в результате работы алгоритмов оптимизации.

5. Анализ выполнения требований по асимптотической устойчивости движения при наличии внутренних возмущений системы.

Наиболее приемлемым способом анализа выполнения требований по асимптотической устойчивости движения при наличии внутренних возмущений системы для такой многопараметрической задачи является метод статистического моделирования [1].

При проведении статистического моделирования учитывались разбросы на массово-инерционные, центровочные, аэродинамические, гидродинамические характеристики РН, а также на формы и производные форм упругих колебаний согласно полученным исходным данным.

На рисунке (8) приведен годограф Найквиста, полученный в результате статистического моделирования (1000 случайных реализаций) системы с учетом использования синтезированного фильтра, модели сервопривода и работы контура снижения ветрового нагружения.

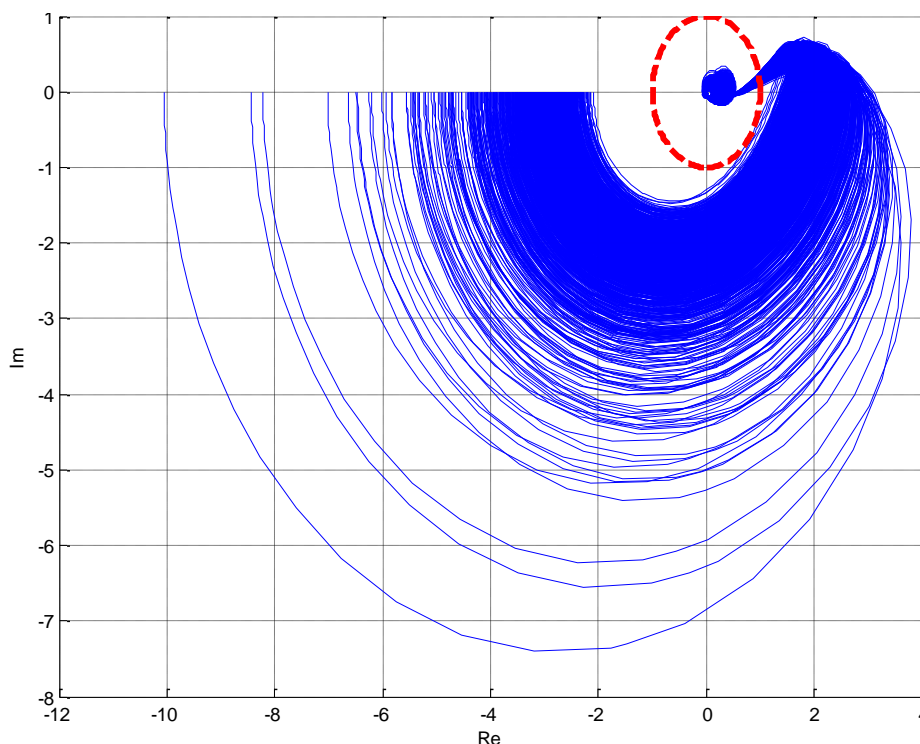


Рис.8. Годограф Найквиста системы полученный по результатам статистического моделирования.

Результаты статистического моделирования показали (см. рис. 8), что выбранные параметры фильтра автомата угловой стабилизации обеспечивают выполнение требований по запасам асимптотической устойчивости движения при наличии внутренних возмущений.

6. Заключение

В результате работы были выбраны параметры фильтра, при которых область устойчивости системы была в два раза выше, чем при использовании фильтра синтезированного на основе традиционного подхода, что позволило увеличить запасы устойчивости и как следствие обеспечить выполнение требований по асимптотической устойчивости движения и качеству переходных процессов при наличии внешних и внутренних возмущений.

Полученные в результате работы алгоритмы и программы были использованы при синтезе и отработке алгоритмов управления первой ступени РКН семейства «Ангара».

7. Библиографический список

1. Карп К.А., Евдокименко В.Н., Динеев В.Г. Инженерные методы вероятностного анализа авиационных и космических систем. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010.- 320 с.
2. Д.Рутковская, М.Пильинский, Л.Рутковский. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского.- М.: Горячая линия - Телеком, 2007.- 452с.

8. Сведения об авторах

Мухин Александр Владимирович, инженер ФГУП ЦНИИмаш;
тел. (909) 908-53-54; e-mail: muhinsasha@rambler.ru

Ефимов Андрей Андреевич, инженер ФГУП ЦНИИмаш;
тел. (903) 240-27-73; e-mail: Random17346@yandex.ru