Модель, описываемая системой уравнений (2), соответствует одномодовому лазеру бегущей волны с двухуровневой активной средой, в которой реализуется однородное уширение спектральных линий излучения. Выбор математической модели динамической системы обусловлен тем, что она удовлетворительно описывает большое количество различных физических процессов, например, процесс образования ячеек Бенара [3]. Это позволило выявить класс задач, для которых описанный корреляционный детектор является применимым.

Таким образом, была создана и протестирована модель корреляционного детектора скрытых нестационарных состояний открытой динамической системы. На основе полученных результатов был сделан вывод о возможности детектирования в рамках данного метода детерминированного хаоса с помощью обнаружения режима перемежаемости.

Литература.

1. Климонтович, Ю.Л. Введение в физику открытых систем / Ю.Л. Климонтович – М.: Янус-К. 2002 – 284 с.

2. Ханин, Я.И. Основы динамики лазеров / Я. И. Ханин. – М.: Наука. Физматлит, 1999. – 368 с.

3. Хакен Г. Лазерная светодинамика / Г. Хакен – М.: Мир.– 1988. 350 с.

УДК 621.396.96

УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СИСТЕМ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Сидорович О.В.

УО «Военная академия Республики Беларусь», г. Минск

Введение. Для анализа системы стабилизации ракеты с регулятором переменной структуры (РПС), функционирующей в условиях случайных возмущений, можно воспользоваться двумя известными способами статистического анализа: методом статистической линеаризации (СЛ) [1] и методом, основанным на теории систем со случайной структурой (ТССС) [2].

Суть статистической линеаризации состоит в том, что нелинейное преобразование аппроксимируется линеаризованной зависимостью [1]. В результате для анализа нелинейного звена, которым является регулятор переменной структуры, можно применить аппарат линейной теории.

При анализе методом, основанным на ТССС [2], рассматривают систему с переменной структурой, действующую в условиях возмущений, как своеобразную модель марковского случайного процесса с поглощением и восстановлением реализаций на границе плоскости скольжения.

При этом для системы n-го порядка методом СЛ необходимо решить n уравнений для математических ожиданий и $n(n+1)/2$ для дисперсий, то есть всего $n^2+3n/2$ дифференциальных уравнений. Одна из проблем ТССС связана с тем, что закон изменения структуры предполагается пуассоновским, и это является главной сложностью применения ТССС для стохастического анализа ССР с РПС, так как в этом случае закон изменения структуры, очевидно, носит близкое к нормальному распределение. Учет произвольного закона изменения структуры динамической системы случайной структуры осуществляется с помощью метода псевдосостояний. “Однако одним из основных недостатков данного метода являются необходимость интегрирования существенно большого числа дифференциальных уравнений для вероятностных моментов и вероятностей псевдосостояний структур (например, даже при однократном переключении структуры из первого состояния во второе по нормальному закону это увеличение составляет $k = 7...10$ раз)"[3]. Также необходимо отметить, что все дифференциальные уравнения для обоих методов необходимо решать совместно. В этом отношении метод СЛ выглядит значительно менее громоздким. Результаты математического моделирования показывают, что погрешности метода СЛ $10\% - 15\%$ [4]. Поэтому необходимо искать новые подходы в направлении обеспечения возможности эффективного анализа таких систем без увеличения числа интегрируемых уравнений для вероятностных моментов.

Основная часть. Предлагается анализ системы стабилизации ракеты с регулятором переменной структуры в канале тангажа в условиях действия случайных возмущений вести следующим образом: составить уравнения вероятностных моментов для каждой из структур отдельно, а затем интегрировать эти уравнения с учетом начальных условий на каждом шаге по знаку математического ожидания сигнала переключения.

Рассмотрим анализ системы стабилизации ракеты с РПС в условиях действия случайных возмущений, представленной на рисунке 1.

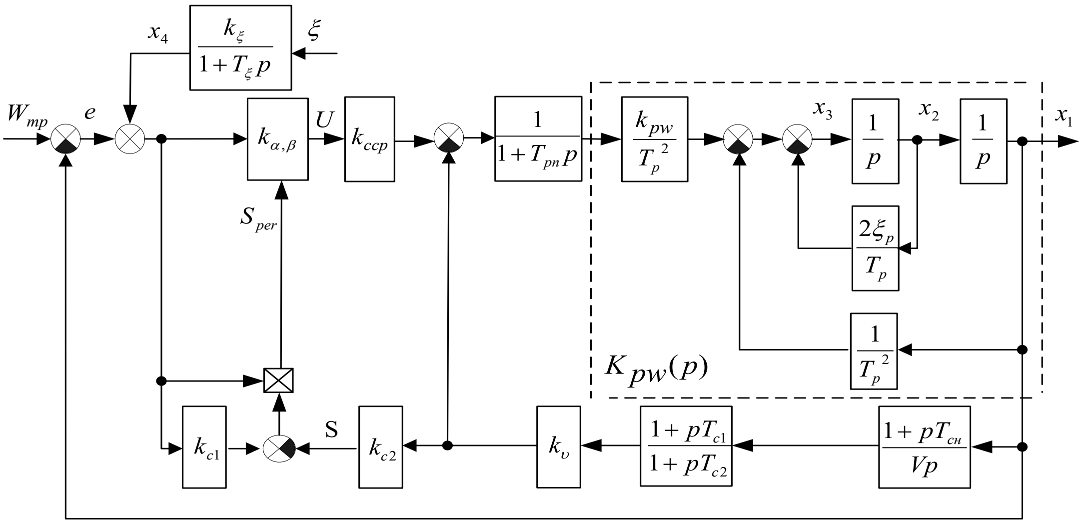

Рисунок 1 – Система стабилизации ракеты с РПС

На рисунке 1 введены обозначения:

$W_{тр}$ – требуемое нормальное ускорение ракеты;

U – управляющее воздействие;

e – сигнал ошибки;

$K_{pw}(p) = \dfrac{k_{pw}}{1 + 2\xi_p T_p p + T_p^2 p^2}$ – передаточная функция ракеты по нормальному ускорению (представлена в форме удобной для составления уравнений в нормальной форме);

T_p, ξ_p – постоянная времени и коэффициент демпфирования ракеты, соответственно;

$\dfrac{1}{1 + T_{рп} p}$ – передаточная функция рулевого привода;

$T_{сн}$, V – аэродинамическая постоянная времени снаряда и скорость полета ракеты, соответственно;

S – сигнал плоскости скольжения;

x_1, x_2, x_3 – фазовые координаты системы.

Переключение структур осуществляется с помощью пси-ячейки, описываемой соотношениями

$$\mathbf{k}_{\alpha,\beta}=\begin{cases}\alpha & \text{ï ðè } \left(\mathbf{W}_{\text{ðð}}-\mathbf{x}_1+\mathbf{x}_4\right)\mathbf{S}\geq \mathbf{0};\\ \beta & \text{ï ðè } \left(\mathbf{W}_{\text{ðð}}-\mathbf{x}_1+\mathbf{x}_4\right)\mathbf{S}<\mathbf{0},\end{cases}$$

где

$$S=\left(W_{mp}-x_1+x_4\right)k_{c1}-\frac{k_v k_{c2}}{V}x_2-\frac{k_v k_{c2}T_{c1}}{V}x_3.$$

Случайное экспоненциально-коррелированное стационарное воздействие $x_4(t)$ со спектральной плотностью $S_{\mathbf{x}}(\omega)=\alpha\sigma^2/\left(\alpha^2+\omega^2\right)$ является результатом преобразования белого шума ξ с единичной спектральной плотностью $N_\xi=1$ формирующим фильтром $\dfrac{k_\xi}{1+T_\xi p}$.

По этим соотношениям можно получить уравнения вероятностных моментов [2]. На основании структурной схемы системы стабилизации ракеты, представленной на рисунке 1, запишем выражение для сигнала плоскости скольжения: $S=\left(W_{mp}-x_1+x_4\right)k_{c1}-\frac{k_v k_{c2}}{V}x_2-\frac{k_v k_{c2}T_{c1}}{V}x_3$.

Тогда сигнал переключения будет равен:

$$S_{per}=\left(W_{mp}-x_1+x_4\right)S=\left(W_{mp}-x_1+x_4\right)\left(\left(W_{mp}-x_1+x_4\right)k_{c1}-\frac{k_v k_{c2}}{V}x_2-\frac{k_v k_{c2}T_{c1}}{V}x_3\right)$$

Выражение для математического ожидания сигнала переключения структур

$$\begin{aligned}\mathrm{M}_{per}&=\mathrm{k}_{c1}W_{mp}^{\;2}-k_{c1}W_{mp}M_1+k_{c1}W_{mp}M_4-\frac{k_v k_{c2}}{V}W_{mp}M_2-\frac{k_v k_{c2}T_{c1}}{V}W_{mp}M_3+\\&+k_{c1}\left(M_1M_1+D_{11}\right)-2k_{c1}\left(M_1M_4+D_{14}\right)+\frac{k_v k_{c2}}{V}\left(M_1M_2+D_{12}\right)+\\&+k_{c1}W_{mp}M_4-k_{c1}\left(M_4M_4+D_{44}\right)-\frac{k_v k_{c2}}{V}\left(M_2M_4+D_{24}\right)-\frac{k_v k_{c2}T_{c1}}{V}\left(M_3M_4+D_{34}\right)-\\&-k_{c1}W_{mp}M_1+\frac{k_v k_{c2}T_{c1}}{V}\left(M_1M_3+D_{13}\right).\end{aligned}$$

где $M_i(j)$ и $D_{ik}(j)$ – математическое ожидание и дисперсия фазовых координат соответственно, находятся из решения уравнений вероятностных моментов.

На каждом j-м шаге, на основании значений $M_i(j)$ и $D_{ik}(j)$, определяется знак математического ожидания сигнала переключения M_{per}. Устанавливается значение коэффициента $k_{\alpha,\beta}$ в соответствии с неравенством

$$\mathbf{k}_{\alpha,\beta}=\begin{cases}\alpha & \text{ï ðè } \mathbf{M}_{\mathbf{per}}\geq \mathbf{0};\\ \beta & \text{ï ðè } \mathbf{M}_{\mathbf{per}}<\mathbf{0}.\end{cases}$$

Затем осуществляется интегрирование уравнений вероятностных моментов до тех пор, пока математическое ожидание сигнала переключения не сменит свой знак. В этом случае в уравнениях моментов необходимо изменить значение коэффициента $k_{\alpha,\beta}$ и далее продолжать интегрирование. При этом на j-ом шаге начальными условиями для интегрирования уравнений моментов будут значения моментов на $j-1$ шаге в момент смены знака, т.е. в момент переключения. Таким образом, последовательно осуществляется интегрирование уравнений моментов до необходимого момента времени

Заключение. В данной статье предложен метод статистического анализа систем стабилизации с регулятором переменной структуры работающего в скользящем режиме, суть которого заключается в интегрирование уравнений вероятностных моментов для каждой из структур отдельно, по математическому ожиданию сигнала переключения. Этот метод позволил:

- по сравнению с методом, основанном на теории систем со случайной структурой, исключить необходимость интегрирования существенно большого числа дифференциальных уравнений для вероятностных моментов и вероятностей псевдосостояний структур;
- по сравнению методом СЛ упростить методику составления уравнений моментов, т.к. коэффициенты статистической линеаризации являются громоздкими выражениями, содержащими нелинейную функцию Лапласа;
- получить необходимую точность, достаточную для анализа системы стабилизации ракеты с регулятором переменной структуры, что подтверждается результатами математического моделирования.

Литература

1. Жильцов, К.К.. Приближенные методы расчета систем с переменной структурой / К.К. Жильцов −М.: Энергия, 1974. − 224 с.: ил

2. Казаков, И.Е. Анализ систем случайной структуры / И.Е. Казаков, В.М. Артемьев, В.А. Бухалев −М.: Наука, 1993. −272 с.

3. Косачев, И.М. Аналитическое моделирование стохастических систем / И.М. Косачев, М.Г. Ерошенко −М.: Наука и техника, 1993. − 264 с.

4. Шабан, С.А. Особенности анализа системы стабилизации ракеты с регулятором переменной структуры методом статистической линеаризации / С.А. Шабан, О.В. Сидорович, И.Г. Ильев // Вестник Военной академии РБ №4(21) от 29.12.2008. – С.38-44.

УДК 681.3

ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Согоян А.Л., Кочурко В.А.

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест

Существует много систем моделирования, ориентированных на реализацию конкретного метода, подхода к проведению моделирования либо ориентированных на предметную область [1-3].

Здесь решается задача выявления требований к архитектуре системы, обладающей следующими отличительными особенностями. Это, в том числе: ориентация на широко используемое в технических и иных приложениях подмножество Q-схем - стохастические сетевые модели (ССМ) и сети массового обслуживания (сети МО) [1, 2], описание которых обеспечивается входными языками системы; использование в качестве входных