УДК 656:51-7

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОМЕХ, НЕ КОРРЕЛИРОВАННЫХ С ВХОДНЫМ СИГНАЛОМ

[1]Гарькина И.А.,[1]Данилов А.М.,[1]Дулатов Р.Л.

[1]ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Россия (440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28), e-mail: fmatem@pguas.ru

Рассматривается ретроспективный анализ помех и их локализация по данным нормального функционирования человеко-машинной системы. Определяются статистические характеристики помехи, в том числе математическое ожидание и корреляционная функция. Предполагаются известными: импульсная переходная функция всей системы; импульсная переходная функция части объекта регулирования, где действием помех можно пренебречь; импульсная переходная функция объекта по отношению к помехе; импульсная переходная функция обратной связи. Приводятся методики для определения локализации помехи и их характеристик в приложении к разработке авиационных тренажеров. Предлагается алгоритм для определения характеристик помехи. Он включает определение ряда передаточных функций по уравнениям динамики, по которым находятся спектральные плотности помехи в различных узловых точках. Методика апробирована при разработке конкретных эргатических систем.

Ключевые слова: эргатические системы, структурные схемы, локализации помех, методы идентификации помех, тренажеры транспортных систем.

IDENTIFICATION OF INTERFERENCE, WAS NOT CORRELATED WITH THE INPUT SIGNAL

[1]Garkina I.A.,[1]Danilov A.M.,[1]Dulatov R.L.

[1]Penza state university of architecture and construction (Russia, 440028, Penza, Titov str., 28), e-mail: fmatem@pguas.ru

Considered a retrospective analysis of interference and their localization according to the normal functioning of human-machine systems. Determined by the statistical characteristics of noise, including the expectation and the correlation function. Assumed to be known: impulse response function of the whole system; impulse response function of the object of regulation, where the influence of noise can be neglected; impulse response function of the object in relation to interference; impulse response function of feedback. Proposed a technique for determining the localization of noise characteristics in the annex to the development of flight simulators. Is given an algorithm for determining noise characteristics. It includes identification of a number of transfer functions from the equations of dynamics; determination of the spectral densities of noise in different nodal points. The method was tested in the development of specific ergatic systems (transport simulators for training operators).

Keywords: human-machine system, block diagrams, localization of interference, interference identification methods, simulators transport systems.

При разработке комплексов для подготовки оператора транспортных человеко-машинных систем одной из актуальных задач является определение характеристик внутренних помех и их локализации [2; 4; 6-8]. Рассмотрим нестационарную систему, замкнутую обратной связью и имеющую внутреннюю помеху (рис. 1).

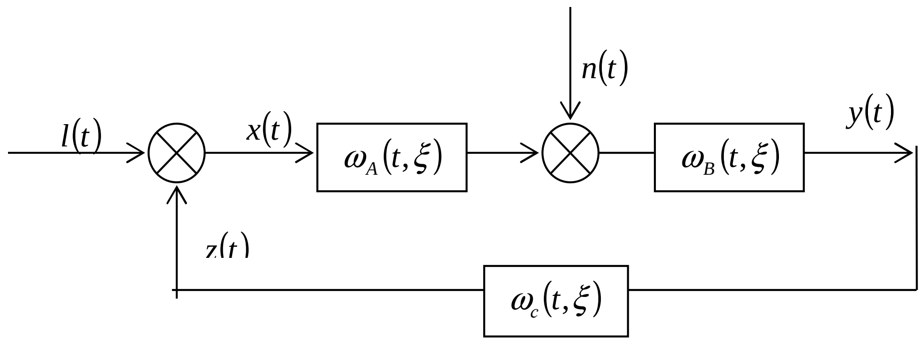

Рис. 1. Замкнутая система с помехой.

В режиме функционирования производятся измерения $l(t)$ и $y(t)$; *можно считать известными математические ожидания* $m_l(t), m_y(t)$ *и корреляционные* функции $K_l(t_1,t_2)$, $K_y(t_1,t_2)$. Пусть далее известны:

- импульсная переходная функция всей системы $\omega(t,\xi)$;

- импульсная переходная функция $\omega_A(t,\xi)$ части объекта регулирования, где действием помех можно пренебречь;

- импульсная переходная функция $\omega_B(t,\xi)$ объекта по отношению к помехе;

- импульсная переходная функция $\omega_C(t,\xi)$ обратной связи.

Требуется определить статистические характеристики помехи $m_n(t)$, $K_n(t_1,t_2)$. Можно показать, что для стационарных систем, если помеху $n(t)$ привести к выходу системы ($N(t)=\int_0^t \omega_\xi(t,\xi)n(\xi)d\xi$), то среднее значение стационарной помехи, приведенной к выходу

$$m_N = m_y - \int_0^\infty \omega(\xi)m_l(\xi)d\xi,$$

$$K_N(\tau)=K_y(\tau)-\int_0^\infty\int_0^\infty \omega(\xi)\omega(\eta)K_l(\tau+\xi-\eta)d\xi d\eta.$$

В случае необходимости могут быть найдены спектральные характеристики приведенной помехи. В частности, спектральная плотность $S_N(\omega)$ вычисляется по формуле:

$$S_N(\omega)=S_y(\omega)-|W(j\omega)|^2 S_l(\omega),$$

где $W(j\omega)$ - частотная характеристика системы, соответствующая импульсной переходной функции $\omega(\tau)$.

При приведении помехи к выходу рассматриваемую структурную схему можно изобразить в виде, приведенном на рис. 2.

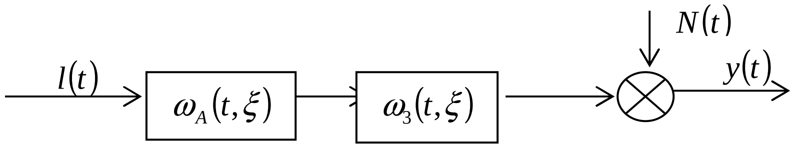

Рис. 2. Преобразованная структурная схема.

Справедливо

$$K_N(t_1,t_2)=K_y(t_1,t_2)-\int_0^{t_1}\int_0^{t_2}\omega(t_1,\xi,)\omega(t_2,\eta)K_l(\xi,\eta)d\xi d\eta$$

(знания $\omega_A(t,\xi)$, $\omega_B(t,\xi)$, $\omega_C(t,\xi)$ для отыскания корреляционной функции помехи, приведенной к выходу системы, не требуется).

Часто знания статистических характеристик приведенной помехи может оказаться недостаточным, и необходимо выявить место ее возникновения, то есть возникает задача структурной локализации помехи. В общем случае задача сводится к отысканию импульсных переходных функций $\omega_A(t,\xi)$ и $\omega_B(t,\xi)$ звеньев системы. А именно, требуется определить такую функцию $\omega_A(t,\xi)$ части функционирующей системы, которая максимально подавляет помеху, а также функцию $\omega_B(t,\xi)$, которая, наоборот, максимально пропускает ее. В связи с этим структурную локализацию помехи целесообразно производить последовательным переносом $N(t)$ через звенья $\omega_{B_i}(t,\xi)$ системы против хода сигнала ошибки, определяя характеристики помехи в каждой узловой точке структурной схемы исследуемой системы. Необходимо исходить из априорных данных о системе, задаваясь импульсными переходными функциями $\omega_{A_i}(t,\xi),\omega_{B_i}(t,\xi)$ ее звеньев, сохраняя условия:

$$\omega_3(t,\xi)=\omega_B(t,\xi)+\int_\xi^t\int_u^t\omega_B(t,\eta)\omega_{AC}(\eta,u)\omega_3(u,\xi)d\eta du\,,$$

$$\omega_{AC}(t,\xi)=\int_\xi^t\omega_A(t,\eta)\omega_C(\eta,\xi)d\eta\quad\forall i\,.$$

Определим статистические характеристики помехи $n(t)$ в узловой точке структурной схемы (рис. 3).

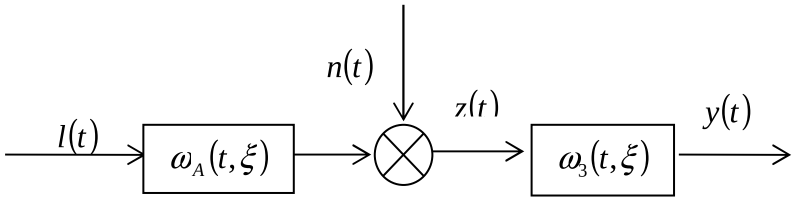

Рис. 3. К определению статистических характеристик помехи.

Для системы с постоянными параметрами, внутренние помехи в которых стационарны, можно записать выражение, справедливое для установившегося режима:

$$m_n = \frac{m_y}{W_3(j0)} - W_A(j0)m_i,$$

$$S_n(\omega) = \frac{S_y(\omega)}{|W_3(j\omega)|^2} - |W_A(j\omega)|^2 S_l(\omega),$$

$S_n(\omega)$ - спектральная плотность помехи.

Рассмотрим *приложение указанных методик к разработке авиационных тренажеров* [1; 3; 5; 9; 10]. Примем:

- передаточные функции

$$W_A(p) = a_0 \frac{T_A p + 1}{T_1 p + 1}, W_B(p) = \frac{K_B}{T_B p + 1} \;\; W_{oc}(p) = K_{oc}(T_{oc} p + 1);$$

- статистические характеристики возмущения $l(t)$

$$m_l = const, K_l(\tau) = D_l e^{-\alpha_l |\tau|} \cos \beta_l \tau;$$

- статистические характеристики выходной координаты $y(t)$

$$m_y = const,\; K_y(\tau) = D_y e^{-\alpha_y |\tau|} \left[\cos \beta_y \tau - \frac{\alpha_y}{\beta_y} \sin \beta_y |\tau| \right].$$

Предполагалась справедливость гипотезы о некоррелированности внутренней помехи и входного сигнала системы (входной сигнал (или возмущение) $l(t)$ регистрируется).

Требуется найти статистические характеристики $n(t)$.

Схему на рис. 1 преобразуем в схему на рис. 3. При $T_{oc} = T_1$ получим

$$W_3(p) = \frac{K_3}{T_3 p + 1},$$

где

$$K_3 = \frac{K_B}{1 + K_{oc} a_0 K_B},\; T_3 = \frac{T_B + T_A K_{oc} K_B a_0}{1 + K_{oc} K_B a_0},$$

$$S_l(\omega) = D_l \frac{2\alpha_l(\alpha_l^2 + \beta_l^2 + \omega^2)}{(\alpha_l^2 + \beta_l^2)^2 + 2(\alpha_l^2 - \beta_l^2)\omega^2 + \omega^4},\; S_y(\omega) = D_y \frac{4\alpha_y \omega^2}{(\alpha_y^2 + \beta_y^2)^2 + 2(\alpha_y^2 - \beta_y^2)\omega^2 + \omega^4},$$

$$W_A(j\omega) = a_0 \frac{T_A j\omega + 1}{T_1 j\omega + 1},$$

$$\left|W_A(j\omega)\right|^2 = a_0^2 \frac{T_A^2\omega^2+1}{T_1^2\omega^2+1} = a_0^2 \frac{\alpha_1^2}{\alpha_A^2}\frac{\omega^2+\alpha_A^2}{\omega^2+\alpha_1^2},$$

$$\alpha_A = \frac{1}{T_A}, \alpha_1 = \frac{1}{T_1},$$

$$\left|\frac{1}{W_3(j\omega)}\right|^2 = \frac{T_3^2\omega^2+1}{K_3^2} = \frac{\omega_3^2+\alpha_3^2}{K_3^2\alpha_3^2}, \alpha_3 = \frac{1}{T_3}.$$

Спектральная плотность помехи определится в виде

$$S_n(\omega) = \frac{S_y(\omega)}{\left|W_3(j\omega)\right|^2} - \left|W_A(j\omega)\right|^2 S_l(\omega) = \frac{4D_y\alpha_y}{K_3^2\alpha_3^2}\frac{\omega^2\left(\omega^2+\alpha_3^2\right)}{\left[\left(\alpha_y^2+\beta_y^2\right)^2+2\left(\alpha_l^2-\beta_l^2\right)\omega^2+\omega^4\right]\left(\omega^2+\alpha_1^2\right)}.$$

Таким образом, получили нижеприводимый алгоритм для определения характеристик помехи.

1. Из уравнения динамики определяются передаточные функции

$$W_{xy_1}(p), W_{xy_2}(p), W_{xy_3}(p).$$

2. Определяется спектральная плотность помехи

$$S_n(\omega) = \frac{S_{y_i}(\omega)}{\left|W_{3_i}(j\omega)\right|^2} - \left|W_{A_i}(j\omega)\right|^2 S_{xx}(\omega),$$

изменяя узловые точки.

Замечания. W_{A_i} и W_{3_i} определяются по уравнениям движения; $S_{xx}(\omega)$, $S_{y_i}(\omega)$ аппроксимируются аналитическими выражениями.

Список литературы

1. Авиационные тренажеры модульной архитектуры : монография / под редакцией Лапшина Э.В., д.т.н., проф. Данилова А.М. – Пенза : ИИЦ ПГУ, 2005. – 146 с.
2. Будылина Е.А., Гарькина И.А., Данилов А.М. Моделирование с позиций управления в технических системах // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 2. – С. 138-142.
3. Будылина Е.А., Гарькина И.А., Данилов А.М. Приближенные методы декомпозиции при настройке имитаторов динамических систем // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 150-156.
4. Гарькина И.А., Данилов А.М. Формализованная оценка качества сложных систем: состояние и перспективы // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 2. – С. 34-37.

5. Гарькина И.А., Данилов А.М., Домке Э.Р. Математическое моделирование управляющих воздействий оператора в эргатической системе // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2011. – № 2. – С. 18-23.
6. Гарькина И.А., Данилов А.М., Пылайкин С.А.Транспортные эргатические системы: информационные модели и управление // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – № 1 (40). – С. 113-120.
7. Гарькина И.А., Данилов А.М., Хнаев О.А. Управление качеством динамической системы: селекция информативных сигналов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 1. – С. 137-141.
8. Гарькина И.А., Данилов А.М., Юрков Н.К. Системный подход к идентификации и управлению качеством, пример реализации // Проектирование и технология электронных средств. – 2009. – № 4. – С. 41-46.
9. Данилов А.М., Лапшин Э.В., Беликов Г.Г., Лебедев В.Б. Методологические принципы организации многопотоковой обработки данных с распараллеливанием вычислительных процессов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 4. – С. 26-34.
10. Andreev A.N., Danilov A.M., Klyuev B.V., Lapshin E.V., Blinov A.V., Yurkov N.K. Information models for designing conceptual broad-profile flight simulators // Measurement Techniques. August 2000. – Vol. 43. - Issue 8. – P. 667-672.

Рецензенты:

Родионов Ю.В., д.т.н., профессор, декан автомобильно-дорожного института ПГУАС, заведующий кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта», г. Пенза;

Кошев А.Н., д.х.н., профессор, профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, г. Пенза.