

Касьянов В.Г. (ОАО НПК КЗА им. Петровского, Украина)
 Безкорвайный Ю.Н., Сафронова И.Ю. (НАУ, Украина)

СТРУКТУРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ОСНОВНОГО КАНАЛА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ КУРСА КОРАБЛЯ

Произведена структурная идентификация основного канала системы измерения курса корабля на стенде-имитаторе «качки» основания. В результате идентификации получены передаточная функция исследуемого тракта, а также спектральная плотность действующего на него неконтролируемого возмущения.

Введение. Одним из главных требований, выдвигаемых к современным измерительным системам подвижных объектов, является их точность как основной показатель конкурентоспособности подобной продукции. Особую нишу среди измерительных систем занимают навигационные измерители, в частности измерители курса.

Для этапа проведения динамической аттестации [1] использовался макет корабельной системы измерения курса. Исследования производились с целью дальнейшей модернизации системы. Для этой цели изделие помещалось и испытывалось на трехступенном динамическом стенде-имитаторе угловых пространственных движений объекта, на вход которого подавались выходные сигналы предварительно созданной с помощью компьютерной техники многомерной модели динамики «качки» корабля.

Постановка задачи. Объектом исследования является основной канал навигационной системы (тракта), на вход которого поступает сигнал курса, а выходом является выходной сигнал системы измерения курса корабля ξ – сигнал отклонения судна от заданного курса. Необходимо произвести структурную идентификацию моделей динамики системы «сигнал курса ψ – выходной сигнал изделия ξ », а также неконтролируемого возмущающего воздействия в этой системе.

Для этого применим алгоритм структурной идентификации [1], разработанный научной школой кафедры. Алгоритм заметно упрощается, если можно пренебречь помехами измерений сигналов. Опишем указанный алгоритм. Объект идентификации можно представить следующим образом (рис. 1).



Рис. 1. Структурная схема идентифицируемой системы.

Здесь $K(s)$ – искомая матрица передаточных функций тракта, все элементы которой – дробно-рациональные выражения комплексной переменной s ; $r(s)$ – Фурье-образ регистрируемого n -мерного вектора входных сигналов; $x(s)$ – Фурье-образ регистрируемого m -мерного вектора выходных сигналов; $\varphi(s)$ – Фурье-образ n -мерного вектора неконтролируемых возмущений, действующих на систему. Далее аргумент s опустим.

Входные и выходные сигналы исследуемого объекта записываются системой регистрации, после чего в процессе первичной обработки полученных экспериментальных данных можно определить модели динамики указанных сигналов в виде их матриц

спектральных и взаимных спектральных плотностей S_{rr} , S_{xx} , S_{rr} и S_{xx} . Считается, что сигналы φ некоррелированы с сигналами r .

Итак, вектор выходных сигналов системы может быть представлен в виде

$$x = Kr + \varphi. \quad (1)$$

Учитывая стохастический характер сигналов в системе и некоррелированность входного сигнала r с неконтролируемым возмущением φ , согласно теореме Винера-Хинчина [1] запишем матрицу спектральных плотностей выходного сигнала

$$S'_{xx} = \langle (Kr + \varphi)(r^* K_* + \varphi_*) \rangle = KS'_{rr} K_* + S'_{\varphi\varphi}, \quad (2)$$

где $\langle \rangle$ – знак математического ожидания, «*» – знак эрмитова сопряжения, «'» – знак транспонирования.

Матрицы взаимных спектральных плотностей векторов входных и выходных сигналов запишем как

$$S'_{rx} = KS'_{rr}; \quad S'_{xr} = K_* S'_{rr}. \quad (3)$$

Теперь из выражений можно вывести уравнения для матрицы передаточных функций объекта идентификации и матрицы спектральных плотностей неконтролируемой помехи:

$$K = S'_{rx} (S'_{rr})^{-1}, \quad (4)$$

$$S'_{\varphi\varphi} = S'_{xx} - KS'_{rr} K_*.$$

или

$$S'_{\varphi\varphi} = S'_{xx} - S'_{rx} (S'_{rr})^{-1} S'_{xr}. \quad (5)$$

В рассматриваемом случае идентифицируемая система скалярна, следовательно, выражения (4), (5) примут вид

$$K_{\xi}^{\psi} = S_{\psi\xi} (S_{\psi\psi})^{-1}, \quad (6)$$

$$S_{\varphi_{\xi}\varphi_{\xi}} = S_{\xi\xi} - S_{\psi\xi} (S_{\psi\psi})^{-1} S_{\psi\xi}. \quad (7)$$

Необходимые для проведения этапа структурной идентификации исследуемого тракта спектральные и взаимные спектральные плотности сигналов ψ и ξ определяем при первичной обработке экспериментальных данных.

Первичная обработка экспериментальной информации. Исходными данными для первичной обработки являются зарегистрированные в процессе эксперимента сигнал курса платформы стенда-имитатора и выходной сигнал исследуемой системы. Осциллограммы указанных сигналов представлены на рис. 2.

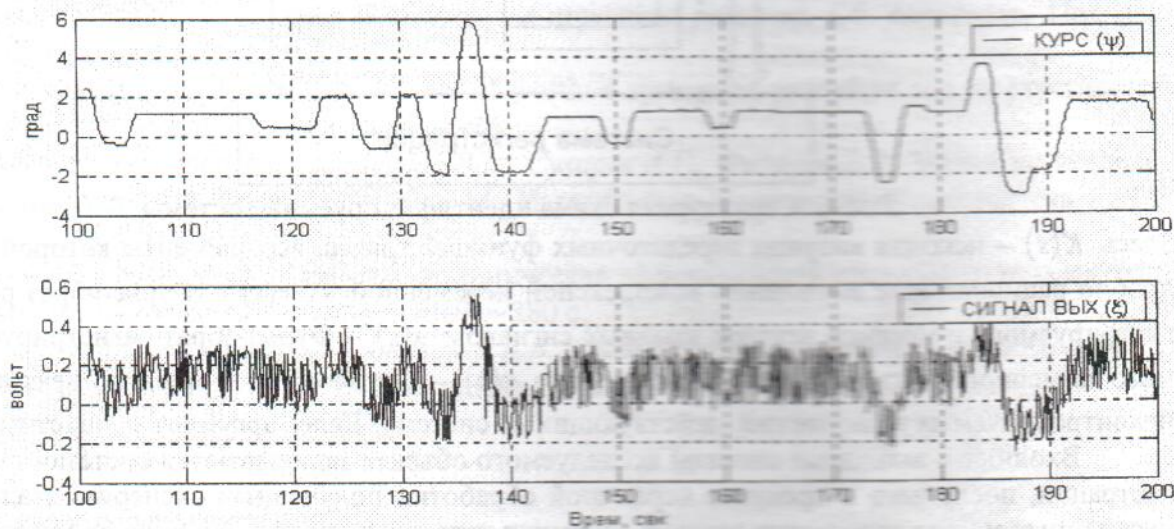


Рис. 2. Осциллограммы измеренных сигналов.

Обработка полученных в результате эксперимента данных производилась по разработанному на кафедре методикам и с использованием соответствующего программного обеспечения. Результатами первичной обработки сигналов ψ и ξ являются их спектральные и взаимные спектральные плотности, представленные в виде графических зависимостей амплитуды и фазы от частоты (см. рис.3).

Для представления моделей динамики сигналов в аналитической форме произведена аппроксимация указанных графических зависимостей с помощью обобщенного метода логарифмических характеристик. В результате были получены следующие аналитические зависимости:

- Спектральная плотность сигнала курса платформы стенда-имитатора

$$S_{\psi\psi} = \frac{5,024}{\pi} \left| \frac{(0,4^2 s^2 + 2 \cdot 0,8 \cdot 0,4s + 1)}{(1,33^2 s^2 + 2 \cdot 0,2 \cdot 1,33s + 1)(0,22^2 s^2 + 2 \cdot 0,7 \cdot 0,22s + 1)} \right|^2, [\text{град}^2 \cdot \text{с}]; \quad (8)$$

- Спектральная плотность выходного сигнала системы измерения курса

$$S_{\xi\xi} = \frac{0,025}{\pi} \left| \frac{(0,62^2 s^2 + 2 \cdot 1 \cdot 0,62s + 1)}{(1,33^2 s^2 + 2 \cdot 0,3 \cdot 1,33s + 1)(0,05s + 1)} \right|^2, [\text{В}^2 \cdot \text{с}]; \quad (9)$$

- Взаимная спектральная плотность сигнала курса – выходного сигнала системы измерения курса

$$S_{\psi\xi} = \frac{0,19}{\pi} \frac{(0,62^2 s^2 + 2 \cdot 1 \cdot 0,62s + 1)(0,4^2 s^2 - 2 \cdot 0,8 \cdot 0,4s + 1)}{(1,33^2 s^2 + 2 \cdot 0,3 \cdot 1,33s + 1)(0,05s + 1)(1,33^2 s^2 - 2 \cdot 0,2 \cdot 1,33s + 1)(0,22^2 s^2 - 2 \cdot 0,7 \cdot 0,22s + 1)}, [\text{град} \cdot \text{В} \cdot \text{с}]; \quad (10)$$

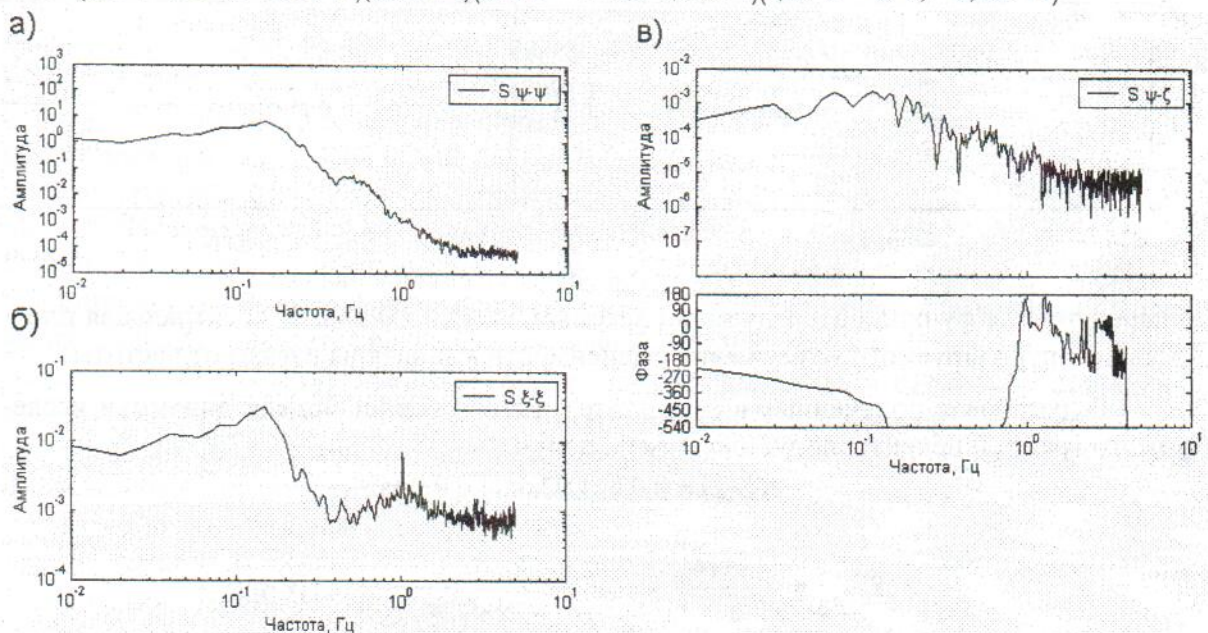


Рис. 3. Спектральные характеристики сигналов входа и выхода исследуемой системы: а) спектральная плотность сигнала курса; б) спектральная плотность сигнала отклонения судна от заданного курса; в) взаимная спектральная плотность входного и выходного сигналов (зависимости амплитуды и фазы от частоты).

Результаты структурной идентификации исследуемого тракта.

Теперь, используя полученные спектральные и взаимные спектральные плотности сигналов, выполним процедуру структурной идентификации системы по описанному выше алгоритму.

Подставив спектральные и взаимные спектральные плотности (8), (9) и (10) в уравнения (6) и (7), получим выражения для передаточной функции исследуемого трак-

та и спектральной плотности неконтролируемого возмущения, действующего в системе, в следующем виде

$$K_{\xi}^{\Psi} = S'_{\Psi\xi} (S'_{\Psi\Psi})^{-1} = 0,0375 \frac{(1,33^2 s^2 + 2 \cdot 0,2 \cdot 1,33s + 1)(0,62^2 s^2 + 2 \cdot 1 \cdot 0,62s + 1)(0,22^2 s^2 + 2 \cdot 0,7 \cdot 0,22s + 1)}{(1,33^2 s^2 + 2 \cdot 0,3 \cdot 1,33s + 1)(0,4^2 s^2 + 2 \cdot 0,8 \cdot 0,4s + 1)(0,05s + 1)}, \text{ [В/град]} \quad (11)$$

$$S'_{\Phi_{\xi}\Phi_{\xi}} = S'_{\xi\xi} - S'_{\Psi\xi} (S'_{\Psi\Psi})^{-1} S'_{\xi\Psi} = \frac{0,01884}{\pi} \left| \frac{(0,62^2 s^2 + 2 \cdot 1 \cdot 0,62s + 1)}{(1,33^2 s^2 + 2 \cdot 0,3 \cdot 1,33s + 1)(0,05s + 1)} \right|^2, \text{ [В}^2 \cdot \text{с]}. \quad (12)$$

Для наглядности на рис.4 представим ЛАЧХ и ЛФЧХ передаточной функции тракта K_{ξ}^{Ψ} , а также спектральную плотность неконтролируемой помехи $S'_{\Phi_{\xi}\Phi_{\xi}}$ в виде зависимости ее амплитуды и фазы от частоты.

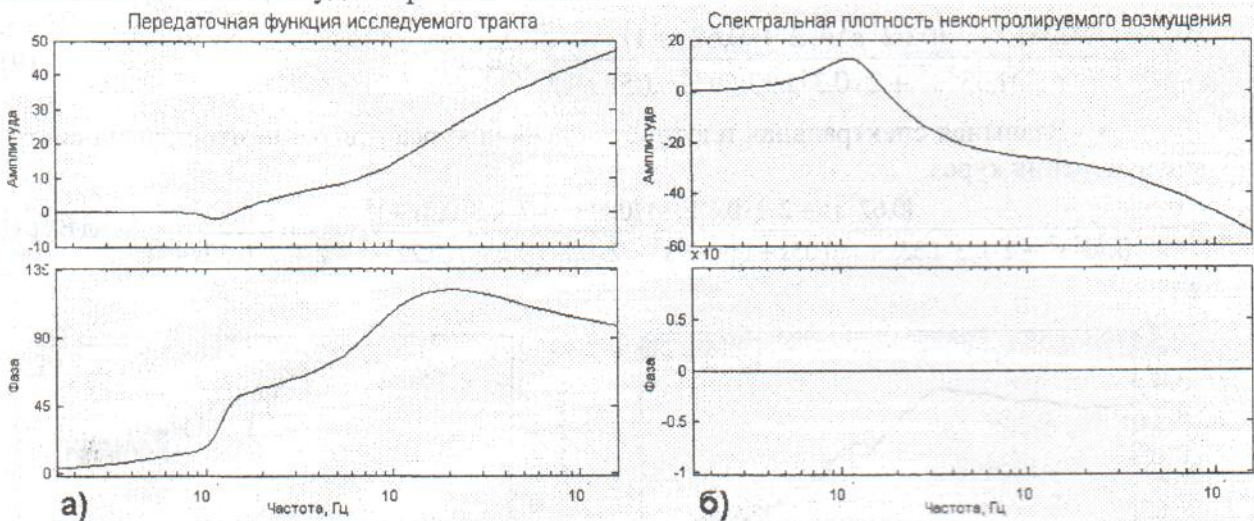


Рис. 4.

а) передаточная функция исследуемой системы (ЛАЧХ, ЛФЧХ); б) спектральная плотность неконтролируемого возмущения (зависимости амплитуды и фазы от частоты)

Редуцировав полученные в результате идентификации модели динамики исследуемого тракта и неконтролируемых помех, получим

$$K_{\xi}^{\Psi}(s) = 0,038(1,07s + 1), \text{ [В/град]};$$

$$S'_{\Phi_{\xi}\Phi_{\xi}} = \frac{0,0314}{\pi} \left| \frac{1}{0,22^2 s^2 + 2 \cdot 0,7 \cdot 0,22s + 1} \right|^2, \text{ [В}^2 \cdot \text{с]};$$

Выводы. В результате проведения структурной идентификации тракта «курс платформы стенда-имитатора – выходной сигнал измерительной системы» определены его передаточная функция и спектральная плотность неконтролируемого возмущения, действующего в системе. Полученные модели динамики могут быть использованы в дальнейшем при синтезе оптимальной структуры фильтра в исследуемом тракте.

Список литературы

1. Блохін Л.М., Буриченко М.Ю. Статистична динаміка систем управління // Підручник для ВНЗ. – К.: НАУ, 2003. – 214 с.
2. Сафронова І.Ю. Узагальнений модернізований метод структурної ідентифікації багатовимірної стабілізованого об'єкта при стохастичних впливах // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2004». – К.: НАУ, 2004.