

Гарькина Ирина Александровна, Данилов Александр Максимович,
Пылайкин Сергей Александрович

ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Приводится методика определения управляющих воздействий человека-оператора по данным нормальной эксплуатации. Устанавливаются параметры и их связь с техническими характеристиками объекта. Обсуждаются вопросы определения передаточных функций объекта и оператора. Дается оценка имитационных характеристик тренажера из условия формирования требуемого стиля управления на основе сравнения параметров систем: "оператор – имитатор", "оператор – реальный объект".

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2013/8/15.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2013. № 8 (75). С. 50-52. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2013/8/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

УДК 656:51-7

Технические науки

Приводится методика определения управляющих воздействий человека-оператора по данным нормальной эксплуатации. Устанавливаются параметры и их связь с техническими характеристиками объекта. Обсуждаются вопросы определения передаточных функций объекта и оператора. Дается оценка имитационных характеристик тренажера из условия формирования требуемого стиля управления на основе сравнения параметров систем: «оператор – имитатор», «оператор – реальный объект».

Ключевые слова и фразы: транспортные системы; тренажеры; идентификация; методы; имитационные характеристики.

Гарькина Ирина Александровна, д.т.н.

Данилов Александр Максимович, д.т.н.

Пылайкин Сергей Александрович

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

fmatem@pguas.ru

ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ[©]

Эффективность использования тренажных и обучающих комплексов определяется возможностью привития обучаемым на имитаторе стиля управления, близкого к стилю управления реальным объектом. Идентификация целостной эргатической системы по сравнению с простой технической осложняется присутствием в ней человека, деятельность которого плохо формализуется.

Несмотря на обилие публикаций по вопросам идентификации эргатических систем по данным нормального функционирования, вероятно, наиболее целесообразным следует считать решение частной задачи идентификации с использованием итеративного способа. При этом, если с выбором структурной схемы объекта управления все обстоит более или менее благополучно, то с выбором структурной схемы человека-оператора и ее связи с объектом в зависимости от параметров внешней среды и психофизиологического состояния оператора не все так гладко. Поэтому особенно важен удачный выбор структурной схемы [1; 2]. В ней по каждому из каналов управления оператор представляется в виде трех звеньев (Рис. 1).

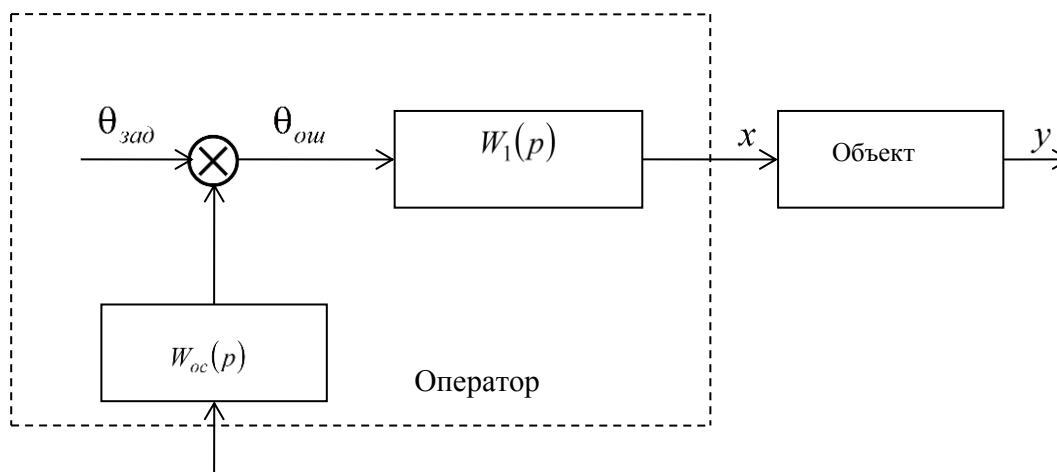


Рис. 1. Структурная схема эргатической системы

Первое характеризует двигательную (моторную) систему человека; второе – формирование мысленного образа выходной координаты; третье – сравнивающее «устройство» центральной нервной системы и формирование ошибки управления. Наибольшие трудности связаны с формализацией сравнивающего «устройства». В соответствии с организмическим принципом, объект, по существу, предопределяет поведение оператора (основной тормоз при разработке тренажных и обучающих комплексов).

Определение управляющих воздействий оператора (стабилизация программного движения без флуктуаций в его поведении) возможно лишь с использованием некоторой итерационной процедуры. Это относится и к определению передаточных функций объекта и оператора по данным нормальной эксплуатации. Непосредственная идентификация эргатической системы в силу ее замкнутости через человека встречает, по существу, непреодолимые трудности.

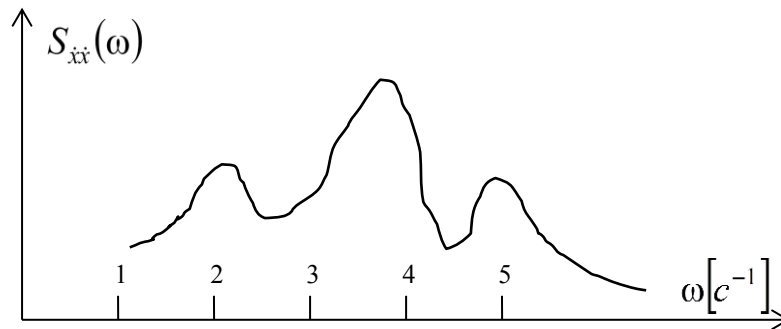


Рис. 2. Энергетический спектр

Классическим, традиционным считается определение оценки передаточных функций по спектральным характеристикам. Однако наблюдается сильное расхождение результатов в зависимости от параметров дискретизации, длительности рассматриваемых реализаций и применяемых для сглаживания различных типов «окон» (с неизбежными элементами субъективизма при их выборе). Известно, что точность определения передаточных характеристик вдали от доминирующих частот крайне низка. Правда, в этих зонах высокая точность и не нужна: оператор управляет объектом на частотах, близких к его собственной частоте (связь входного сигнала со спектральной характеристикой, Рис. 2).

Для некоторых режимов функционирования зоны доминирующих частот (здесь возможна их линейная аппроксимация) можно определить по обобщенным АЧХ (амплитудная частотная характеристика) и ФЧХ (фазовая частотная характеристика) (решением уравнений идентификации). В этих зонах оператор воспринимает объект как усилительное звено с запаздыванием.

Идентификация динамической системы в частотной области относится к классу некорректных задач. Так, для разомкнутой стационарной системы с одним входом и одним выходом импульсная переходная функция определяется выражением

$$k(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{S_{xy}(j\omega) \pm \delta S_{xy}(j\omega)}{S_{xx}(\omega)} e^{j\omega t} dt,$$

а норма ошибки решения –

$$\|k - \hat{k}\| = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{\delta S_{xy}(j\omega)}{S_{xx}(\omega)} e^{j\omega t} dt.$$

Как видим, ошибка может быть как угодно велика в зависимости от распределения спектральной плотности входного сигнала $S_{xx}(\omega)$ (если $S_{xx}(\omega)$ и $S_{xy}(j\omega)$ имеют нули одинаковой кратности в какой-либо конечной точке оси ω , то погрешность решения может быть как угодно большой). Для рассматриваемого здесь класса эргатических систем *рабочая частотная область по каждому из каналов управления достаточно узка* ($0,7 \dots 7 \text{ с}^{-1}$). Точность определения частотных передаточных функций $W(j\omega)$ зависит от спектральной плотности входного сигнала. Обычно оценка точности определения $W(j\omega)$ на разных частотах производится с весом, пропорциональным спектральной плотности $x(t)$, в соответствии с μ -критерием:

$$\mu = \sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{\infty} |\hat{W}(j\omega) - W(j\omega)|^2 S_{xx}(\omega) d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} |W(j\omega)|^2 S_{xx}(\omega) d\omega}}.$$

Вблизи каждой характерной («резонансной») частоты входного сигнала возможна линейная аппроксимация частотных характеристик (Рис. 3; согласуется с полученными по данным нормальной эксплуатации обобщенными частотными характеристиками; 5 с^{-1} – резонансная частота по одному из каналов).

Наибольшими возможностями обладают регрессионные методы идентификации; легко обобщаются на случай инерционного оператора с чистым запаздыванием (при переменных коэффициентах в уравнениях движения – аппроксимация с использованием полиномов Ньютона, методом наименьших произведений или квадратов). Удовлетворительные результаты были получены при определении матрицы $\mathbf{P}$ управления по синхронным измерениям $x(t)$, $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$; $u(t)$ в процессе нормальной эксплуатации эргатической системы $\dot{x} = Ax + Bu$, $u = Px$ или $x^{k+1} = Qx^k$, $x^k = x(k\Delta t)$.

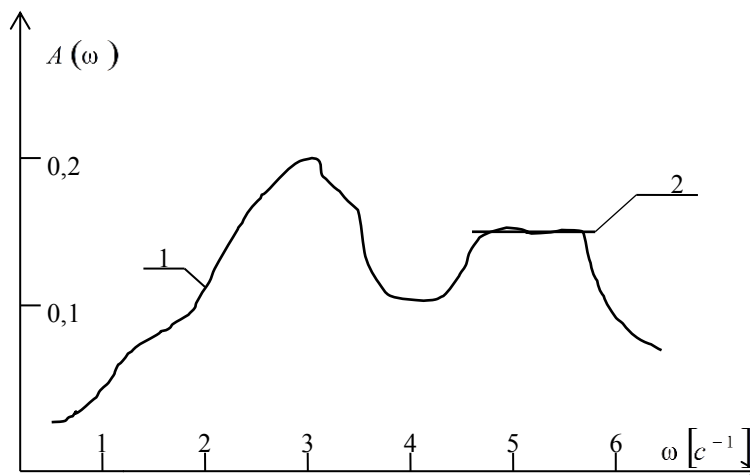


Рис. 3. Обобщенные частотные характеристики: кривая 1 – экспериментальная, 2 – аппроксимированная

Откуда $P = B^{-1} \left(\frac{1}{\Delta t} Q - \frac{1}{\Delta t} E - A \right)$; $Q^T = (U^T U)^{-1} U^T \chi$,

$$U = \begin{bmatrix} x_1(0) & \dots & x_n(0) \\ x_1(\Delta t) & \dots & x_n(\Delta t) \\ \dots & \dots & \dots \\ x_1((r-1)\Delta t) & \dots & x_n((r-1)\Delta t) \end{bmatrix}, \quad \chi = \begin{bmatrix} x_1(\Delta t) & \dots & x_n(\Delta t) \\ x_1(2\Delta t) & \dots & x_n(2\Delta t) \\ \dots & \dots & \dots \\ x_1(r\Delta t) & \dots & x_n(r\Delta t) \end{bmatrix}.$$

В случае, когда оператор можно представить как инерционное звено второго порядка с запаздыванием, а для формирования управляющих воздействий оператором используются как фазовые координаты, так и скорости и ускорения, имеем:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t),$$

$$\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Du(t) = F\ddot{x}(t) + Q\dot{x}(t) + Rx(t) + Sx(t - \tau).$$

В дискретной форме:

$$z^{k+1} = \Phi w^k,$$

$$z^{k+1} = (x_1^{k+1}, \dots, x_n^{k+1}, \dot{x}_1^{k+1}, \dots, \dot{x}_n^{k+1}, u_1^{k+1}, \dots, u_m^{k+1}, \dot{u}_1^{k+1}, \dots, \dot{u}_m^{k+1})^T,$$

$$w^k = (x_1^k, \dots, x_n^k, \dot{x}_1^k, \dots, \dot{x}_n^k, u_1^k, \dots, u_m^k, \dot{u}_1^k, \dots, \dot{u}_m^k, x_1^{k-s}, \dots, x_n^{k-s})^T; \quad \Delta t = \frac{\tau}{s}.$$

Тогда

$$\Phi^T = (U^T U)^{-1} U^T \chi,$$

$$U = \begin{bmatrix} x_1(s\Delta t) & \dots & x_n(s\Delta t) & \dots & x_1(0) & \dots & x_n(0) \\ x_1((s+1)\Delta t) & \dots & x_n((s+1)\Delta t) & \dots & x_1(\Delta t) & \dots & x_n(\Delta t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1((r-1)\Delta t) & \dots & x_n((r-1)\Delta t) & \dots & x_1((r-1-s)\Delta t) & \dots & x_n((r-1-s)\Delta t) \end{bmatrix},$$

$$\chi = \begin{bmatrix} x_1((s+1)\Delta t) & \dots & x_n((s+1)\Delta t) & \dots & \dot{u}_1((s+1)\Delta t) & \dots & \dot{u}_m((s+1)\Delta t) \\ x_1((s+2)\Delta t) & \dots & x_n((s+2)\Delta t) & \dots & \dot{u}_1((s+2)\Delta t) & \dots & \dot{u}_m((s+2)\Delta t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1(r\Delta t) & \dots & x_n(r\Delta t) & \dots & \dot{u}_1(r\Delta t) & \dots & \dot{u}_m(r\Delta t) \end{bmatrix}.$$

Оптимальное управление в системе определяется видом выбранного функционала качества (структура таких функционалов, в частности, указывается в [1]). Сравнение параметров оптимальных управлений на имитаторе и реальном объекте позволит получить необходимую оценку имитационных характеристик.

Все указанное выше прошло практическую апробацию с положительными результатами.

Список литературы

1. Данилов А. М., Домке Э. Р., Гарькина И. А. Математическое моделирование управляющих воздействий оператора в эргатической системе // Вестник МАДИ. 2011. № 2. С. 18-23.
2. Денисов В. А. Модель сложной управляемой системы с предварительно заданной иерархической структурой // Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2012. № 7. С. 33-35.