

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УПРАВЛЕНИЕ

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ ЧЕЛОВЕКА И ТЕХНИКИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ КОСМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

К.А. Пупков, А.Д. Устюжанин

Кафедра систем автоматического управления
МГТУ им. Н.Э. Баумана
ул. 2-я Бауманская, 5, Москва, Россия, 105005

Рассматривается задача синтеза системы управления с человеком-оператором в контуре управления. Приведен метод построения параметров желаемой передаточной функции человека-оператора на основе аппроксимации Паде.

Ключевые слова: система «человек—машина», передаточная функция человека-оператора.

Системы «человек—машина» относятся к классу интеллектуальных систем [1], под которыми понимается объединенная информационным процессом совокупность технических средств и программного обеспечения, работающая во взаимосвязи с человеком (коллективом людей) или автономно, способная на основе сведений и знаний при наличии мотивации синтезировать цель, принимать решение к действию и находить рациональные способы достижения цели. Часть определения «...находить рациональные способы достижения цели» можно отнести к интеллектуальным системам [2], т.е. для таких систем цель определена.

Сложность объектов управления непрерывно возрастает. Это связано с тем, что цели, которые ставятся перед этими объектами, становятся более многогранными и должны достигаться при различных, порой экстремальных, воздействиях окружающей среды. В связи с этим в системах, где в управлении объектом участвует человек, возникают проблемы обеспечения необходимых динамических свойств человека, позволяющих достигнуть цели системы.

Существенная часть результатов исследований в области динамики систем «человек—машина» приведена в работах авторов [3—6]. В статье будет показано, каким образом можно определить желаемые динамические характеристики человека-оператора, исходя из решения задачи синтеза [7] оптимальной системы управления, обеспечивающей минимум среднего квадрата ошибки при воспроизведении полезного случайного сигнала и требуемых коэффициентах ошибки воспроизведения регулярного полезного сигнала и при заданном времени переход-

ного процесса. Показано также, каким образом можно определить желаемые характеристики человека-оператора при управлении космическим аппаратом.

Структурная схема рассматриваемой системы показана на рис. 1.

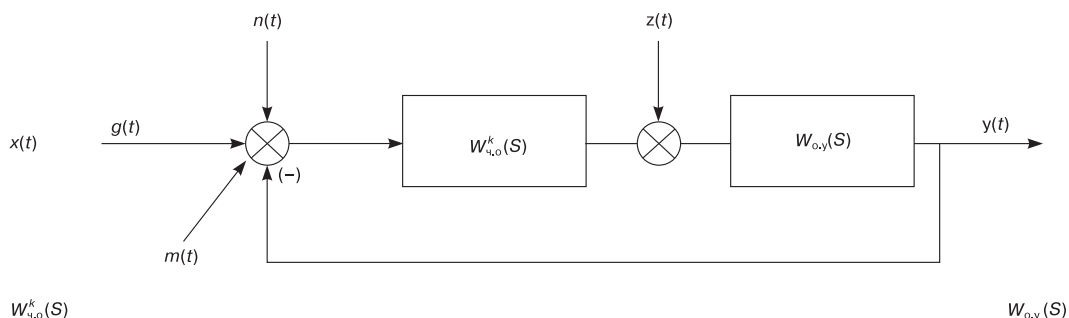


Рис. 1. Структурная схема системы «человек—машина»:

$x(t) = g(t) + m(t) + n(t)$ — сумма регулярного сигнала $g(t)$, полезного случайного сигнала $m(t)$ и помехи — $n(t)$; $z(t)$ — вибрационное воздействие; $W_{ч.о}^k(S)$ — искомая передаточная функция человека-оператора; $W_{о.у}(S)$ — передаточная функция объекта управления; $y(t)$ — выход системы

Схему получения ошибки воспроизведения представим так, как это показано на рис. 2.

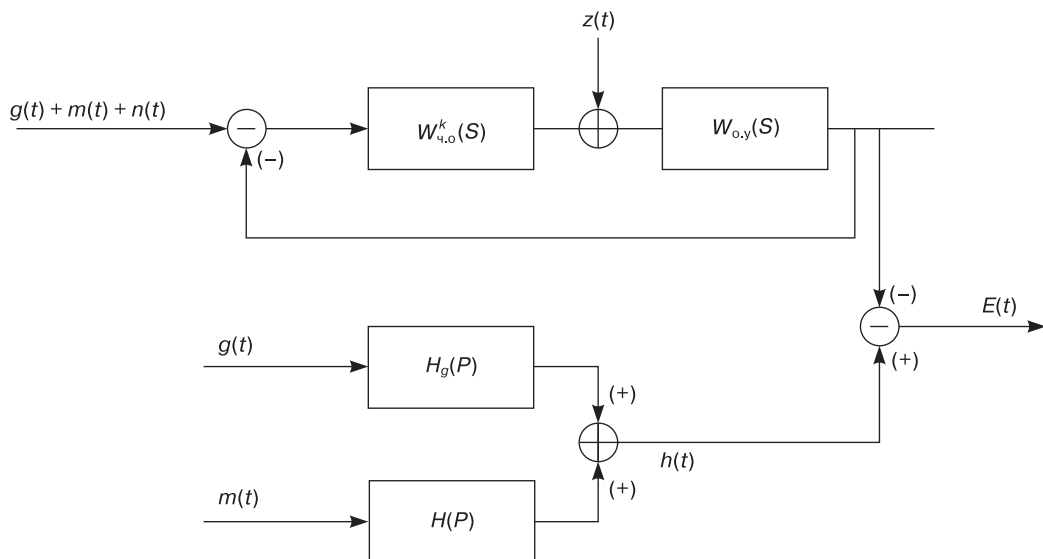


Рис. 2. Структурная схема системы «человек—машина» с ошибкой воспроизведения:

$h(t)$ — желаемый сигнал на выходе идеальной системы с желаемыми операторами преобразования $H_g(p)$ + сигнала $g(t)$ и $H(p)$ случайных сигналов

Передаточные функции замкнутой системы (см. рис. 1) будет иметь вид

$$\Phi(S) = \frac{W_{ч.о}^k(S)W_{о.у}(S)}{1 + W_{ч.о}^k(S)W_{о.у}(S)}$$

Мы же будем отыскивать ИПФ $K(t)$ этой системы, которая доставляет минимум среднему квадрату ошибки $\bar{\varepsilon}^2$.

Этот средний квадрат ошибки будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon}^2 = & \int_{-\infty}^{\infty} \chi(\tau) d\tau \int_{-\infty}^{\infty} R_m(\tau - \theta) \chi(\theta) d\theta - 2 \int_0^T K(\tau) d\tau \times \int_{-\infty}^{\infty} R_m(\tau - \theta) \chi(\theta) d\theta + \\ & + \int_0^T K(\tau) d\tau \int_0^T [R_m(\tau - \theta) - R_n(\tau - \theta)] \times K(\theta) d\theta + R_z^*(\theta) + \\ & + \int_0^T K(\tau) d\tau \int_0^T [R_m(\tau - \theta) - R_n(\tau - \theta)] \times K(\theta) d\theta - 2 \int_0^T R_2^x(\tau) K(\tau) d\tau, \end{aligned}$$

где $\chi(\tau) = \frac{1}{24} \int_{-\infty}^{\infty} H(j\omega) \ell^{j\omega\tau} d\omega$, $R_2^*(\tau) = \int_0^{\infty} b(\tau) d\tau \int_0^{\infty} R_2(\tau + \sigma - \theta) b(\theta) d\theta$,

где $R_m(\tau - \theta)$, $R_n(\tau - \theta)$, $R_2^*(\tau)$ — корреляционные функции случайных сигналов полезного $m(t)$; помехи $n(t)$ и вибрации $z(t)$; $b(\tau)$ — ИПФ, соответствующая $W_{oy}(S)$.

Это решение имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} K(\tau) = & \sum_{i=0}^q A_i \tau^i + \sum_{i=1}^{2k} B_i \ell^{\lambda i \tau} + \sum_{j=0}^q E_j \delta^{(j)}(\tau) + \sum_{j=0}^q D_j \delta^{(j)}(\tau - T) + \\ & + L(\rho) L^*(\rho) M^{-1}(\rho) M^{-1*}(\rho) \cdot \left[\int_{-\infty}^{\infty} R_m(\tau - \theta) \chi(\theta) d\theta + R_2^*(\tau) \right], \\ & 0 \leq \tau \leq T, \end{aligned}$$

где $L(\rho)$ и $M(\rho)$ — функции Грина, $\delta^{(j)}$ — дельта-функции.

Коэффициенты A_i , B_i , D_j и E_j определяются из решения системы линейного $2\ell + r + 1$ порядка.

Пусть теперь объектом управления является космический корабль, управляемый реактивными двигателями. Его передаточная функция $W_{oy} = \frac{K_{o.y}}{S^2}$. Найдем желаемую передаточную функцию человека-оператора $W_{ч.о}^K(S)$ для случая,

когда $m(t)$ и $z(t)$ равны нулю, $g(t) = g_0 + g_1 t + g_2 t^2$ и $n(t)$ имеет спектральную

плотность $S_n(\omega) = \frac{2\alpha N^2}{\omega^2 + \alpha^2} = \frac{N^2}{2T_1} \frac{2 \frac{1}{T^1}}{\omega^2 + \frac{1}{T^2}}$; коэффициенты ошибки воспроизведе-

дения регулярного сигнала: $c_0 = 0$, $c_1 = 0$ и $c_2 = 2, 0$. Другие параметры равны $T_1 = 0,125c$; $\alpha = 8$ и $T = 4c$, $H(p) = H_0 = 1$.

Искомая импульсная переходная функция будет иметь вид

$$K(t) = A_0 + A_1 t + A_2 t^2,$$

где $A_0 = \frac{gH_0 T^r - 36c_1 T - 30c_2}{T_2^3}$; $A_1 = \frac{-36H_0 T^2 + 192c_1 T + 180c_2}{T^4}$;

$$A_2 = \frac{30H_0 T^2 - 180c_1 T - 180c_2}{T_5},$$

и $\Phi(S) = \frac{A_0}{S}(1 - e^{-ST}) + \left(\frac{A_1}{S} \frac{1}{S} - \frac{1}{S} e^{-St} - T e^{-ST} \right) + \frac{A_2}{S} \left(\frac{2}{S^2} - \frac{2}{S^2} e^{-ST} - \frac{2T e^{-ST}}{S} - T^2 e^{-ST} \right)$.

Принимая аппроксимацию по Паде $e^{-ST} \approx \frac{1 - ST/2}{1 + ST/2}$, получим для передаточной функции оптимальной системы

$$\Phi(S) = \frac{\left(\frac{T^2}{T_0} + \frac{1}{2} c_1 T + \frac{1}{2} c_2 \right) S^2 + \frac{1}{2} (T - 2c_1) S + 1}{\frac{T^3 S^3}{120} + \frac{T^2 S^2}{10} + \frac{TS}{2} + 1}.$$

Для разомкнутой системы имеем

$$W(S) = \frac{\left(\frac{T^2}{10} - \frac{1}{2} c^2 \right) S^2 + \frac{1}{2} TS + 1}{S^2 \left(\frac{T^3 S}{120} + \frac{1}{2} c^2 \right)}.$$

Отсюда $W_{ч.о}^K(S) = \frac{W(S)}{W_{о.у} S} = \frac{1}{K_{о.у}} \frac{\left(\frac{T^2}{10} + \frac{1}{2} c_2 \right) S^2 + \frac{1}{2} TS + 1}{\frac{T^3 S}{120} + \frac{1}{2} c_2}$.

Такая передаточная функция человека-оператора свидетельствует о сложности управления объектом такого типа. Кроме того, при анализе устойчивости системы управления необходимо учитывать чистое запаздывание [3], присущее определенной деятельности и не выявленное в найденной передаточной функции.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пупков К.А., Коньков В.Г. Интеллектуальные системы. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.
- [2] Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунев Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. — М.: Физико-математическая литература, 2000.
- [3] Poupkoff K. The Optimization of connection between Human being and techniques in Man—Machine Systems // Preprint of the IFAC-IFORS Symposium (Warna, Bulgaria, 8—10 oct.) 1974. — P. 419—426.

- [4] Пупков К.А., Устюжанин А.Д. Идентификация и оценка обученности в динамических человеко-машинных системах // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, сер. «Приборостроение». — 2003. — 4. — С. 95—103.
- [5] Пупков К.А., Устюжанин А.Д. Предельные значения параметров динамических характеристик человека-оператора при управлении объектами различного типа // Вестник РУДН, серия «Инженерные исследования». — 2007. — № 4. — С. 96—107.
- [6] Пупков К.А., Устюжанин А.Д., Шашурин В.Д. Оценка влияния вибрации на эффективность работы человека-оператора в человеко-машинных системах // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, серия «Приборостроение». — 2006. — 2. — С. 30—36.
- [7] Солодовников В.В., Матвеев П.С. Расчет оптимальных систем автоматического управления при наличии помех. — М.: Машиностроение, 1973.

THE OPTIMIZATION OF HUMAN AND MACHINERY INTERRELATION FOR A SPACE UNITS' CONTROL

К.А. Pupkov, A.D. Ustyuzhanin

Automatic Control Systems Department
Bauman Moscow State Technical University
2-nd Baumanskaya str., 5, Moscow, Russia, 105005

The problem of control system synthesis with a human operator in a loop of control is considered. The optimal transfer function calculation method based on Pade approximation for the human operator is presented.

Key words: system human and technique, transfer function of human operator.