

УДК 621.51

В.В. Иванович¹, С.И. Васюхно²

¹ Киевская государственная академия водного транспорта имени гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Киев

² Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ОБЪЕКТА В ДВУКРАТНОЙ ИНВАРИАНТНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Анализ литературы показал, что для повышения инвариантности в автоматических системах управления можно использовать информацию о состоянии объекта управления в качестве дополнительных корректирующих воздействий. В статье предложен один из путей повышения качества функционирования объекта управления, что дает возможность обеспечить качественное (более точное) управления объекта инвариантного к возмущающим воздействиям.

Ключевые слова: инвариантность, регулирование, управление объектом, возмущающие воздействия.

Введение

При ограниченной информации о возмущениях чрезвычайно большое значение приобретает выбор рациональных структур инвариантных систем регулирования [1, 2].

Аналитический обзор литературы [2 – 5] показал, что одним из успешных подходов компенсации возмущающим воздействием является использование данных о состоянии объекта в период когда подается управляющий сигнал.

Цель статьи. В настоящей работе будет показано, что использование дополнительной информации о состоянии объекта, что позволяет найти абсолютно (или до ϵ) инвариантные системы, физически

реализуемые, удовлетворяющие условиям грубости, требованиям качества процессор регулирования в широкой области изменения параметров объекта как по режимам работы, так и условиям функционирования объекта управления в движении.

Основное изложение материала

Будем считать, что структура системы задана частично. Кроме объекта управления, известны функционально необходимые элементы и место включения устройства, обеспечивающего инвариантность систем автоматического управления относительно возмущающего воздействия $f(t)$. Структурная схема систем автоматического управления представлена на рис. 1.

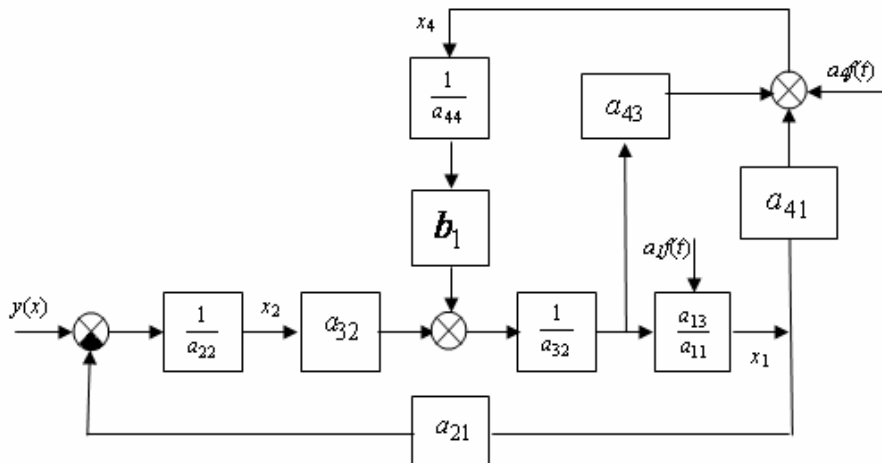


Рис. 1. Обобщенная структурная схема система автоматического управления.

Здесь видно, что образуются два контура – основной и дополнительный, который несет информацию не только о нерегулируемой координате x_4 , но и о возмущении $f(t)$.

Запишем уравнения движения систем автоматического управления в следующем виде [3, 4]:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 - a_{13}x_3 = u_1f(t); \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 = y(t); \\ -a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + b_1x_4 = 0; \\ -a_{41}x_1 - a_{43}x_3 + a_{44}x_4 = a_4f(t), \end{cases} \quad (1)$$

где x_1, x_4 – регулируемая и нерегулируемая координаты объекта соответственно;

x_2, x_3 – координаты систем управления;

$u(t)$ – управляющий сигнал

$f(t)$ – возмущающее воздействие;

a_{ij}, b_1 – операторные коэффициенты.

Здесь и далее для упрощения записи написано a_{ij} вместо $a_{ij}(p)$. Составляя частный определитель координаты x_1 по возмущающему воздействию $f(t)$, можно видеть, что здесь условие абсолютной инвариантности выполняется

$$a_1 A_{11} + a_4 A_{41} = 0, \quad (2)$$

где A_{11}, A_{41} – соответствующие миноры общего определителя системы уравнений (1).

В развернутом виде условия абсолютной инвариантности (2) можно представить следующим образом

$$a_1 [a_{22}(a_{33}a_{44} + b_1a_{43})] - a_4 a_{13} a_{22} b_1 = 0, \quad (3)$$

или

$$a_1 [a_{22}(a_{33}a_{44} + b_1a_{43})] - a_4 a_{13} a_{22} b_1 = \varepsilon, \quad (4)$$

если условия инвариантности выполняются до малой величины ε .

Естественно, что в любом из этих случаев инвариантной относительно возмущающего воздействия $f(t)$ будет только координата x_1 . При выполнении условий (3) при отсутствии других возмущающих воздействий и при нулевых начальных условиях переменная x_1 будет тождественно равна нулю $x_1 \equiv 0$. При выполнении условия (4) уравнение движения координаты запишется в виде

$$\begin{aligned} & \left[\begin{array}{l} a_{11}(\varepsilon + a_4 a_{13} a_{22} b_1) + \\ + a_1 a_{13} (a_{21} a_{32} a_{44} + a_{22} a_{41} b_1) \end{array} \right] \times \\ & \times x_1 = a_1 a_{13} a_{44} u(t) + a_1 \varepsilon f(t). \end{aligned} \quad (5)$$

Из уравнения (5) видно, что характеристическое уравнение не становится вырожденным, система может быть сделана грубой и удовлетворять требованиям устойчивости.

Для того, чтобы определить степень параметрической инвариантности таких систем, т.е. нечувствительности к изменению параметров объекта, воспользуемся теорией чувствительности [4] и запишем уравнение выходной координаты в следующем виде

$$x_1(t, \alpha, \beta) = L^{-1} \{ \varphi(s, \alpha, \beta) x_{bx}(s) \}, \quad (6)$$

где $x_{bx}(s)$ – преобразование Лапласа входного сигнала; α, β – отклонения параметров объекта.

В случае дифференцируемости уравнения (6), например, по функциям чувствительности запишется

$$Z^\alpha(t) = \frac{\partial x_1(t, \alpha)}{\partial \alpha} \Big|_{\alpha=0} = L^{-1} \left\{ \frac{\partial \varphi(s, \alpha)}{\partial \alpha} \Big|_{\alpha=0} \frac{1}{s} \right\} + \dots, \quad (7)$$

Здесь ограничимся первыми функциями чувствительности, когда на вход подается сигнал в виде единичной ступенчатой функции. При этом сигнал на выходе, при изменении параметра α , определяется следующим выражением

$$x_1(t, \alpha) = x_{10}(t) + Z^\alpha(t) \alpha, \quad (8)$$

где $x_{10}(t)$ – выходной сигнал системы при номинальном значении ее параметров (при $\alpha=0$).

Очевидно, если первая функция чувствительности равна нулю или представлена в виде

$$Z^\alpha(t) = \varepsilon L^{-1} \left\{ F(s) \frac{1}{s} \right\}, \quad (9)$$

где

$$\varepsilon F(s) = \frac{\partial \Phi(s, \alpha)}{\partial \alpha} \Big|_{\alpha=0}, \quad (10)$$

то система параметрически инвариантна до малой величины.

Пусть переменными коэффициентами объекта будут

$$a_{11} = a_{11}^0 + \alpha, \quad a_{13} = a_{13}^0 + \beta. \quad (11)$$

Из системы уравнений (1) при условии (3) видно, что система будет инвариантна относительно возмущающего воздействия $f(t)$ и параметрически инвариантна, т.е. нечувствительна к изменению параметров объекта a_{11}, a_{13} .

Рассмотрим свойства системы, условия инвариантности в которой выполняются до ε .

Первая функция чувствительности (7) при изменении параметра a_{11} определяется

$$Z^\alpha(t) = \varepsilon L^{-1} \times \quad (12)$$

$$\times \left\{ \frac{-a_1(\varepsilon + a_4 a_{13} a_{22} b_1)}{\left[\begin{array}{l} (\varepsilon + a_4 a_{13} a_{22} b_1) a_{11} + \\ + a_1 a_{13} (a_{21} a_{32} a_{44} + a_{22} a_{41} b_1) \end{array} \right]^2} \right\}.$$

При изменении a_{13} первая функция чувствительности будет записана следующим образом

$$Z^\beta(t) = \varepsilon L^{-1} \times \quad (13)$$

$$\times \left\{ \frac{-a_1(a_{21} a_{32} a_{44} + a_{22} a_{41} b_1)}{\left[\begin{array}{l} (\varepsilon + a_4 a_{13} a_{22} b_1) a_{11} + \\ + a_1 a_{13} (a_{21} a_{32} a_{44} + a_{22} a_{41} b_1) \end{array} \right]^2} \right\}.$$

Из выражений (12), (13) видно, что система при выполнении условий (4) становится еще параметрически инвариантной, т.е. чем меньше ε , тем менее чувствительна к изменению параметров объекта a_{11} и a_{13} .

Применение. Для примера сделаем анализ для трех различных структур систем автоматического регулирования частоты вращения ротора компрессора газотурбинных двигателей с точки зрения областей в плоскости параметров H и V где осуществ-

ляется параметрическая инвариантность и инвариантность относительно возмущающего воздействия до ϵ . Структурная схема первой системы управления газотурбинных двигателей, обычной в практической реализации, показана на рис. 2.

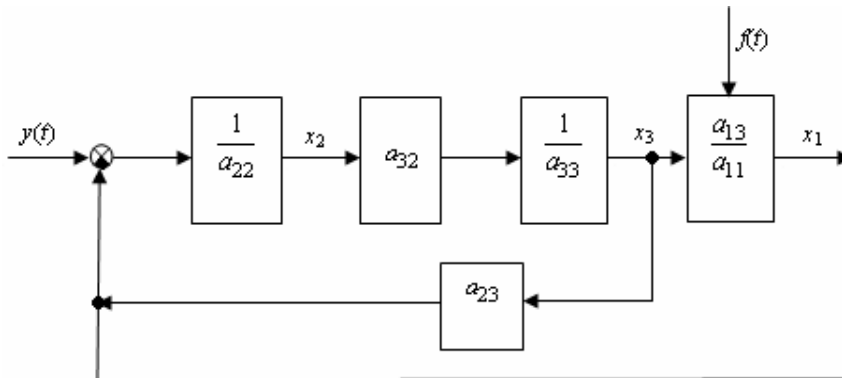


Рис. 2. Структурная схема системы управления газотурбинных двигателей

Уравнения движения этой системы запишутся в виде

$$\left. \begin{aligned} a_{11}x_1 - a_{13}x_3 &= a_1 f(t) \\ a_{21}x_1 - a_{22}x_2 + a_{23}x_3 &= y(t) \\ -a_{32}x_2 + a_{33}x_3 &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (14)$$

где x_1 – относительное изменение частоты вращения ротора компрессора;

x_2 – промежуточная координата системы управления;

x_3 – относительное изменение расхода топлива;

$y(t)$ – управляющий сигнал;

$f(t)$ – приведенное возмущение от изменения внешних условий;

$$a_{11} = T_p + 1; \quad a_{22} = 1;$$

$$a_{33} = P; \quad a_{32} = 15; \quad a_{21} = 1.$$

Передаточную функцию изодромной связи запишем следующим образом

$$a_{23} = \frac{0,05p}{0,05p + 1}, \quad (15)$$

Системы автоматического регулирования с дополнительной информацией о состоянии объема управления рассмотрим в двух вариантах:

а) с введением относительного изменения степени повышения давления в компрессоре $x_{\text{пк}}$;

б) с введением относительного изменения температуры газов перед турбиной $x_{\text{Т3}}$.

Уравнения относительного изменения степени повышения давления в компрессоре запишем в виде

$$x_4 = a_{41}x_1 + a_{43}x_3 + a_4 f(t). \quad (16)$$

Уравнение относительного изменения температуры газов перед турбиной запишется

$$x_4 = -a_{41}^*x_1 + a_{43}^*x_3 + a_4^* f(t). \quad (17)$$

Численные значения динамических параметров объекта сведена в табл. 1

Таблица 1

Численные значения динамических параметров объекта

T, с	a_{13}	a_{41}	a_{43}	a_{41}^*	a_{43}^*
0,4	0,16	1,87	0,26	1,02	0,6

Параметры регуляторов выбирались из условия заданного качества переходных процессов по частоте вращения ротора компрессора:

время регулирования $t \leq 1,8$ с.,

перерегулирование $\rho \leq 5\%$,

точность регулирования $\leq 2\%$.

В соответствии с выражением (4) устройство, обеспечивающее инвариантность до ϵ частоты вращения ротора компрессора, имеет вид

$$b_1^* = \frac{kp}{5p + 1}, \quad (18)$$

Численные значения динамических параметров систем управления приведены в табл. 2.

Таблица 2

Численные значения динамических параметров систем управления

Параметры САУ	a_{32}	k	τ , с
С введением $x_{\text{пк}}$	60	10	0,05
С введением $x_{\text{Т3}}$	50	5	0,6

Для определения динамических свойств газотурбинного двигателя как объекта управления при

изменении высоты и скорости полета использовались параметры подобия [5].

Расчеты показывают, что изменение коэффициентов a_1 , a_4 , a_4^* , a_{43} и a_{43}^* по режимам полета весьма малы и поэтому условия инвариантности (4) остаются постоянными.

На рис. 3 показаны области, в которых осуществляется параметрическая инвариантность и инвариантность относительно возмущающего воздействия до ε .

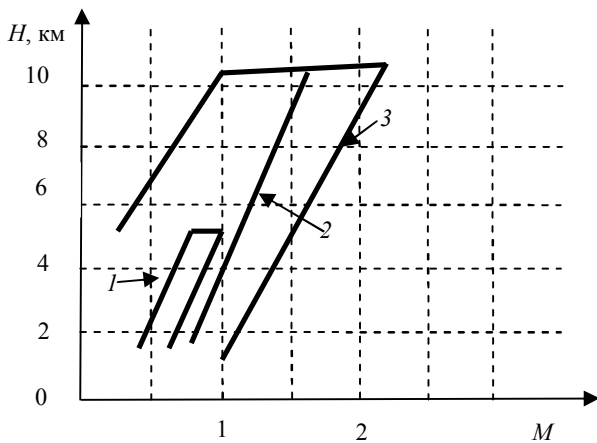


Рис. 3. Области параметрической инвариантности в зависимости от возмущающего воздействия

Здесь видно, что значительные ограничения имеет автоматическая система с издромным регулятором (1).

Области двукратной инвариантности до ε автоматической системы с дополнительной информацией об изменении x_{T_3} ограничены кривой 2 о

дополнительной информацией об изменении x_{T_k} кривой 3.

Большая область двукратной инвариантности у системы с дополнительной информацией о степени повышения давления в компрессоре газотурбинного двигателя.

Выводы

Все изложенное позволяет сделать вывод о преимуществах структурах схем инвариантных систем о использовании дополнительной информации о состоянии объекта управления.

Список литературы

1. Теория автоматического управления / С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев [и др.]. – М.: Высшая школа, 2003. – 567 с.
2. Оптимальное управление / В.М. Алексеев, В.М. Тихомиров, С.В. Фомин. – М.: Наука, 1979. – 430 с.
3. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы / Д.П. Ким. – М.: Физматлит, 2003. – 288 с.
4. Основы автоматизации управления производством / И.М. Макаров, Н.Д. Дмитриева, Д.П. Ким [и др.]. – М.: Высшая школа, 1983. – 504 с.
5. Солодовников В.В. Теория автоматического регулирования техническими системами / В.В. Солодовников, А.В. Яковлев. – М.: МГТУ, 1993. – 492 с.
6. Лукас В.А. Теория автоматического управления / В.А. Лукас. – М.: Недра, 1990. – 416 с.
7. Иванов В.А. Теория дискретных систем автоматического управления / В.А. Иванов, А.С. Ющенко. – М.: Наука, 1983. – 336 с.

Поступила в редколлегию 12.07.2013

Рецензент: д-р техн. наук проф. Э.Т. Скорик, ГП «Центральный научно-исследовательский институт навигации и управления», Киев.

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО СТАН ОБ'ЄКТА У ДВОРАЗОВІЙ ІНВАРІАНТІСНІЙ АВТОМАТИЧНІЙ СИСТЕМІ

В.В. Іванович, С.І. Васюхно

Аналіз літератури показав, що для підвищення інваріантності в автоматичних системах управління можна використовувати інформацію про стан об'єкта управління в якості додаткових коригувальних впливів. У статті запропоновано один із шляхів підвищення якості функціонування об'єкта управління, що дає можливість забезпечити якісне (більш точне) управління об'єкта, інваріантного до збурюючих дій.

Ключові слова: інваріантність, регулювання, управління об'єктом, впливи.

USE OF THE INFORMATION ON THE STATE BUILDING IN THE DOUBLE INVARIANCE AUTOMATIC SYSTEM

V.V. Ivanovic, S.I. Vasyuhno

Analysis of the literature showed that to improve the invariance in automatic control systems can use information about the state of the control object as additional corrective actions. The paper suggests one way to improve the performance of the control object that makes it possible to provide quality (more accurate) control object invariant to disturbing influences.

Keywords: invariance, regulation, management of the facility, the disturbing effects.