

МОДАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ¹

В.Г. Борисов, Г.Н. Начинкина, А.М. Шевченко

Отмечено, что энергетический подход к управлению движением служит методологической базой для проектирования систем управления подвижными объектами с повышенными требованиями к качеству управления, однако подвижные объекты с сильно меняющимися свойствами требуют настройки параметров системы управления. Для оптимизации параметров разработана версия модального метода, позволяющая получить однозначное решение за один вычислительный цикл, не прибегая к итеративным процедурам. Результаты моделирования маневренного высокоскоростного самолета показали, что сочетание рационального энергетического подхода и формальных математических методов позволяет обеспечить практически одинаковое качество управления во всей эксплуатационной области летательного аппарата.

Ключевые слова: управление полетом, энергетический подход, оптимизация, модальное управление.

ВВЕДЕНИЕ

В работах [1—4] предложен энергетический подход к управлению движущимися объектами, позволивший обосновать построение рациональной структуры системы автоматического управления, формирование директорного индекса управления двигателем и генерации сигнала оповещения о сложной ветровой обстановке. Разработанная в соответствии с этим подходом энергетическая система управления (ЭНСУ) продемонстрировала высокие характеристики на режимах захода летательного аппарата (ЛА) на посадку в условиях сильных атмосферных возмущений, отказа двигателей, крутых глиссад и др. При этом структура ЭНСУ и коэффициенты передачи ее звеньев оставались неизменными на самолетах разных классов. Однако попытки применить ЭНСУ на маневренных высокоскоростных самолетах во всей эксплуатационной области показали, что система с постоянными коэффициентами не в состоянии обеспечить приемлемое качество управления. Причина состоит в

том, что существенно изменяется эффективность управлений в каждом из каналов управления, и непропорционально изменяются основные динамические свойства последних. Поэтому для обеспечения возможности работы ЭНСУ в широкой эксплуатационной области потребовалась настройка ее параметров. В настоящей статье для поиска оптимальных настроек предлагается версия модального метода синтеза управлений в многосвязной системе.

Модальное управление обычно определяют как управление, которое изменяет моды (собственные значения матрицы системы уравнений движения объекта) для достижения цели управления. Модальные методы широко распространяются для решения задач синтеза систем управления с заданными требованиями к качеству и устойчивости. Наиболее развиты и освещены в литературе методы синтеза одноконтурных систем управления [5—7]. В области многоконтурных систем широко известны ставшие классическими работы Аккермана [8, 9] и, в частности, формула его имени, которая дает формальное решение задачи о размещении корней характеристического полинома в соответствии с неформальными требованиями качества и устойчивости, задаваемыми желаемым

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 05-08-01334).



спектром собственных значений матрицы замкнутой системы.

Однако применение формулы Аккермана предполагает выполнение операций возведения в $(n - 1)$ -ю степень матрицы, что требует ее хорошей обусловленности. В работе [10] матрица обратных связей находится в форме произведения матрицы собственных векторов и некоторой произвольной матрицы, обладающей весьма формальными свойствами. В работе [11] предложено назначать весовые коэффициенты управлений.

В данной работе для устранения неоднозначности решения при неполном векторе управлений вводится матрица весов управлений, с помощью которой конфигурируется структура матрицы обратных связей, наиболее соответствующая назначению органов управления в реальном техническом объекте. Найден алгоритм расчета матрицы коэффициентов обратных связей в явном виде за один вычислительный цикл без итеративных процедур. С его помощью были найдены оптимальные наборы коэффициентов на дискретном множестве режимов во всей эксплуатационной области, затем эти наборы были редуцированы путем исключения коэффициентов, не требующих настроек или ввиду их малости. Для оставшихся настраиваемых коэффициентов были найдены аналитические аппроксимации.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Характеристики качества и устойчивости системы определяются расположением собственных чисел матрицы замкнутой системы управления. Регулятор должен обеспечить выполнение разнообразных требований, предъявляемых к переходному процессу и сложным образом зависящих как от собственных чисел замкнутой системы, так и от нулей ее передаточной функции.

Предполагается, что априори известен желаемый набор собственных чисел. Единственным необходимым, но не достаточным требованием будет требование устойчивости замкнутой системы. Модальные методы расчета регуляторов обеспечивают *формализацию* и *алгоритмизацию* важнейшего этапа решения этой задачи — расчета обратной связи по заданным желаемым собственным числам замкнутой системы.

Рассматривается многомерная непрерывная система управления, описываемая матричным дифференциальным уравнением

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

где $A \in R^{n \times n}$ — матрица объекта управления, $x \in R^{n \times 1}$ — вектор переменных состояния объек-

та, $B \in R^{n \times m}$ — матрица управления, $u \in R^{m \times 1}$ — вектор управления.

Пусть пара матриц $(A|B)$ управляема. Требуется найти управление вида $u = Kx$ такое, чтобы замкнутая система, описываемая уравнением

$$\dot{x} = (A + BK)x, \quad (1)$$

имела желаемый набор собственных чисел. Здесь $K \in R^{m \times n}$ — искомая матрица обратной связи.

2. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Пусть желаемый спектр $\Lambda^* = \{\lambda_1^*, \dots, \lambda_n^*\}$ матрицы замкнутой системы $A + BK$ не содержит кратных собственных чисел. Этому спектру соответствует набор собственных векторов $V = \{V_1, \dots, V_n\}$. Желаемый спектр Λ^* достигается методом модального управления путем формирования требуемой матрицы K .

Решение задачи определения матрицы K неоднозначно при $m > 1$, так как коррекция спектра может быть достигнута различным выбором отдельных компонент вектора управления u_i или их линейными комбинациями.

Действительно, зададимся произвольным вектором взвешивания управлений $q \in R^{m \times 1}$ и предположим, что пара матриц $(A|Bq)$ управляема. Тогда может быть найдено такое скалярное управление $u = qK$, что матрица $(A + BqK)$ будет обладать желаемым спектром $\Lambda^* = \{\lambda_1^*, \dots, \lambda_n^*\}$. Из-за произвольности выбора вектора взвешивания $q \in R^{m \times 1}$ (при сохранении управляемости пары $(A|Bq)$) получаем множественность решений.

Предлагается вид управления в виде суммы модальных управлений, в которых векторы взвешивания по каждой моде назначаются. Тем самым будет обеспечиваться однозначность решения. Отсюда управление

$$u = Kx = \sum_{i=1}^n q_i K_i x,$$

т. е. матрица K имеет структуру

$$K = \sum_{i=1}^n q_i K_i, \quad (2)$$

где $q_i \in R^{m \times 1}$, $i = \overline{1, n}$ — назначаемый вектор весов по моде λ_i^* , $K_i \in R^{1 \times n}$, $i = \overline{1, m}$ — искомые коэффициенты по моде λ_i^* , на которые накладываются дополнительные условия, обеспечивающие независимость управления по модам:

$$K_j V_i = 0 \text{ при } i \neq j. \quad (3)$$

Запишем уравнение для определения собственного вектора V_i матрицы замкнутой системы (1)

$$\lambda_i^* V_i = (A + BK)V_i = AV_i + BKV_i.$$

Используем представления (2) матрицы K :

$$\lambda_i^* V_i = AV_i + B \sum_{j=1}^n q_j K_j V_i.$$

В силу дополнительных условий (3) в выражении суммы ненулевым останется только слагаемое при $i = j$:

$$\lambda_i^* V_i = AV_i + Bq_i K_i V_i. \quad (4)$$

Разрешим выражение (4) относительно вектора V_i :

$$V_i = (I_n \lambda_i^* - A)^{-1} Bq_i K_i V_i. \quad (5)$$

Воспользуемся этим уравнением для определения вектора-строки K_i . Сначала умножим обе части уравнения на K_i слева:

$$K_i V_i = K_i (I_n \lambda_i^* - A)^{-1} Bq_i K_i V_i. \quad (6)$$

Отметим, что величина $K_i V_i$ имеет размерность (1×1) , т. е. является скаляром, и на него можно сократить правую и левую части уравнения:

$$1 = K_i (I_n \lambda_i^* - A)^{-1} Bq_i.$$

Теперь умножим j -й собственный вектор V_j слева на K_i :

$$K_i V_j = K_i (I_n \lambda_j^* - A)^{-1} Bq_j K_j V_j = 0.$$

Аналогично можно сократить на скаляр $K_j V_j$:

$$0 = K_i (I_n \lambda_j^* - A)^{-1} Bq_j.$$

Получена система из n линейных уравнений для определения вектора-строки K_i

$$1 = K_i (I_n \lambda_i^* - A)^{-1} Bq_i \text{ при } i = j \text{ (одно уравнение),} \quad (7)$$

$$0 = K_i (I_n \lambda_j^* - A)^{-1} Bq_j \text{ при } i \neq j \text{ (} n - 1 \text{ уравнений).}$$

Для дальнейшего анализа, учитывая, что в общем выражении (6) $K_i V_i$ — скаляр, введем понятие нормированных собственных векторов \bar{V}_i

$$\bar{V}_i = (I_n \lambda_i^* - A)^{-1} Bq_i \quad (8)$$

и тогда n линейных уравнений (7) переписываются в виде

$$\begin{aligned} 1 &= K_i \bar{V}_i, \quad i = j, \\ 0 &= K_i \bar{V}_j, \quad i \neq j. \end{aligned} \quad (9)$$

В выражении (9) заданы и назначены все входящие в него переменные, поэтому все собственные векторы \bar{V}_i могут быть определены.

Введем обозначение матрицы собственных векторов

$$\bar{V} = (\bar{V}_1 \dots \bar{V}_n).$$

Умножая вектор-строку K_i справа на матрицу \bar{V} и учитывая условия (9), получаем следующее выражение

$$K_i \bar{V} = (0 \dots 1_i \dots 0),$$

где у вектора-строки $(0 \dots 1_i \dots 0)$ на i -м месте 1, а на всех остальных нули.

Отсюда в силу независимости собственных векторов \bar{V}_i и, следовательно, невырожденности матрицы \bar{V} выражение (5) можно разрешить относительно K_i :

$$K_i = (0 \dots 1_i \dots 0) \bar{V}^{-1}.$$

Найдем матрицу коэффициентов K в соответствии с выражением (2) и учтем, что \bar{V}^{-1} — общий множитель, который может быть вынесен за знак суммы:

$$\begin{aligned} K &= \sum_{i=1}^n q_i K_i = \left\{ \sum_{i=1}^n q_i (0 \dots 1_i \dots 0) \right\} \bar{V}^{-1} = \\ &= \left\{ \sum_{i=1}^n (0 \dots q_i \dots 0) \right\} \bar{V}^{-1}. \end{aligned} \quad (10)$$

Обозначим матрицу весов

$$Q = (q_1 \dots q_n), \quad Q \in R^{m \times n}.$$

Тогда выражение (10) примет вид

$$K = Q \bar{V}^{-1}.$$

Элементы матрицы назначаются так, чтобы их относительные значения отражали бы степень влияния какого-либо органа управления на каждую из выходных координат объекта.

Вектор управления удобнее записывать не через координаты, а частично через производные. Для этого предлагается следующая процедура.



Введем матрицу C такую, что пара матриц A и C наблюдаема

$$y = Cx. \quad (11)$$

Обычно матрица C задает координаты, которые являются целевыми координатами управления.

Очевидно следующее соотношение:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix}$$

Матрицы управлений B и целевых координат C должны быть одинаковой размерности.

Рассмотрим блочную матрицу

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & 0 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

При условии, что блочная матрица (12) обратима, можно построить ее обратную. Матрица (12), в силу соотношений (6) и (11), задает переход от векторов (x, u) к векторам (\dot{x}, y) , а обратная матрица — обратный переход. Размерности блоков обратной матрицы должны совпадать с размерностями блоков исходной матрицы

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & 0 \end{bmatrix}^{-1}$$

$$\text{Тогда } u = Kx = [K \ 0] \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix} = [K \ 0] \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ y \end{bmatrix},$$

$$u = KP_{11}\dot{x} + KP_{12}y.$$

Полученное выражение показывает, что управление u может быть вычислено по производным \dot{x} и вектору целевых координат y .

3. ФОРМАЛЬНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К УПРАВЛЕНИЮ

Полная энергия движущегося ЛА состоит из кинетической и потенциальной составляющих:

$$E = \frac{mV^2}{2} + mgh. \quad (13)$$

Источником полной энергии ЛА является двигательная установка, при этом полная энергия равна работе импульсивной силы тяги двигателя P

$$E = \int (P \cos \alpha - D) dS, \quad (14)$$

где D — сила лобового сопротивления, α — угол атаки.

Из выражений (13) и (14) получим

$$\int (P \cos \alpha - D) V dt = \frac{mV^2}{2} + mgh.$$

Продифференцируем обе части по времени, разделив их на mgV и ввиду малости α положив $\cos \alpha = 1$:

$$\frac{P-D}{mg} = \frac{1}{g} \frac{dV}{dt} + \frac{1}{V} \frac{dh}{dt}. \quad (15)$$

Полученное соотношение показывает, что импульсивная сила создает тангенциальное ускорение и обеспечивает некоторую скорость подъема ЛА, но не показывает, в каких ее долях это осуществляется. В качестве органа управления распределением долей движущей силы можно использовать руль высоты (или отклоняемый стабилизатор). Отклонения руля высоты при постоянной силе тяги двигателя не изменяют полной энергии ЛА, поэтому

$$\frac{1}{g} \frac{dV}{dt} = -\frac{1}{V} \frac{dh}{dt}. \quad (16)$$

Эти величины равны по модулю, что и характеризует обмен между кинетической и потенциальной энергиями. По гипотезе энергетического подхода при малых вариациях отклонения $\Delta \delta_b$ руля высоты изменение потенциальной энергии пропорционально отклонению руля высоты:

$$k_p^* \Delta \delta_b = -\frac{1}{V} \frac{dh}{dt}.$$

$$\begin{aligned} \text{Учитывая (16), можно положить, что } k_p^* \Delta \delta_b &= \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{g} \frac{dV}{dt} - \frac{1}{V} \frac{dh}{dt} \right). \end{aligned}$$

Обозначим коэффициент пропорциональности $k_p = 2k_p^*$, тогда

$$k_p^* \Delta \delta_b = \frac{1}{g} \frac{dV}{dt} - \frac{1}{V} \frac{dh}{dt}. \quad (17)$$

При наличии одновременно вариаций по тяге и по отклонению руля высоты выполняются соотношения (15) и (18), записанные в других обозначениях:

$$\frac{P-D}{mg} = \frac{\dot{V}}{g} + \frac{V_y}{V},$$

$$k_p \Delta \delta_b = \frac{\dot{V}}{g} - \frac{V_y}{V}.$$

Соотношения (15) и (18) позволяют по желаемым величинам $\frac{dV}{dt}$ и $\frac{dh}{dt}$ определить необходимые

управления по отклонению руля высоты и тяге двигателя. Таким образом, величины $\frac{dV}{dt}$ и $\frac{dh}{dt}$ становятся входами энергетической системы управления. При пропорциональном, П-законе управления с отрицательной обратной связью на основании соотношений (15) и (18) возникает статическая ошибка управления. Для ее устранения предпочтительно применение пропорционально-интегральных, ПИ-законов управления

$$\frac{\Delta(P-D)}{mg} = k_i \int \left[\left(k_v \Delta V - \frac{dV}{dt} \right) \frac{1}{g} + \left(k_h \Delta h - \frac{dh}{dt} \right) \frac{1}{V} \right] dt - \frac{1}{g} \frac{dV}{dt} - \frac{1}{V} \frac{dh}{dt},$$

$$k_p \Delta \delta_B = k_i \int \left[\left(k_v \Delta V - \frac{dV}{dt} \right) \frac{1}{g} - \left(k_h \Delta h - \frac{dh}{dt} \right) \frac{1}{V} \right] dt - \frac{1}{g} \frac{dV}{dt} + \frac{1}{V} \frac{dh}{dt},$$

где $\Delta V = V_3 - V$, $\Delta h = h_3 - h$ — ошибки управления, V_3 и h_3 — заданные значения фазовых координат движения, $k_v \Delta V$ и $k_h \Delta h$ — члены, формирующие задание тангенциального ускорения и вертикальной скорости ЛА.

Приведенные алгоритмы управления были получены с использованием ряда приближенных соотношений, но, как показывает исследование методами моделирования, эти алгоритмы достаточно робастны по отношению к возмущениям, они хорошо настраиваются и обеспечивают физически осмысленные переходные процессы. Поэтому в системе управления продольным движением ЛА, описываемой в данной работе, применяются ПИ-алгоритмы, построенные в соответствии с энергетическим подходом. Для настройки коэффициентов предлагается применить рассмотренный вариант модального метода.

4. СИНТЕЗ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОТОМ МАНЕВРЕННОГО САМОЛЕТА

В качестве объекта управления была взята нелинейная модель гипотетического высокоскоростного маневренного самолета с максимальной тягой 250 кН. Программно эта модель, как и модель системы управления, реализована в форме разностных уравнений с дискретностью 0,001 и 0,02 с соответственно. Была поставлена задача обеспечения одинаково высоких пилотажных характеристик самолета во всей эксплуатационной области полетов

За эталонный переходный процесс по скоростному и траекторному каналам принята реакция апериодического типа с длительностью не более 30 с. Формально эти требования к системе задавались значениями низкочастотных корней. Линеаризованная модель содержала три низкочастотных корня. Им были присвоены значения $-0,5$, $-0,6$ и $-0,7$. Постоянство этих корней достигалось благодаря цепям обратной связи с коэффициентами передачи Kd_{ij} .

Для установления пределов и характера изменения коэффициентов передачи обратных связей они были рассчитаны при движении по характерным траекториям во всей эксплуатационной области в пространстве переменных (H, M) , где H — высота, M — число Маха. Вдоль этих траекторий в нескольких точках рассчитывались модальным методом значения коэффициентов передачи цепей обратной связи в каждом из двух каналов управления.

Как показал анализ, диапазон изменения отдельных коэффициентов очень велик, минимальные и максимальные значения отличаются в десятки раз. Поэтому встала задача настройки параметров системы управления по условиям полета.

Поскольку реализация в системе управления табличных зависимостей коэффициентов требует значительных ресурсов памяти и быстродействия, было решено заменить их аналитическими аппрок-

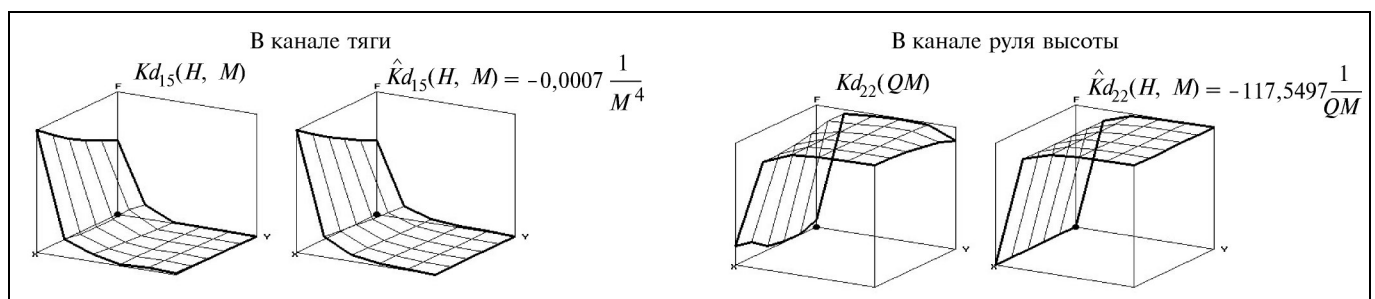


Рис. 1. Аппроксимация коэффициентов матрицы обратной связи

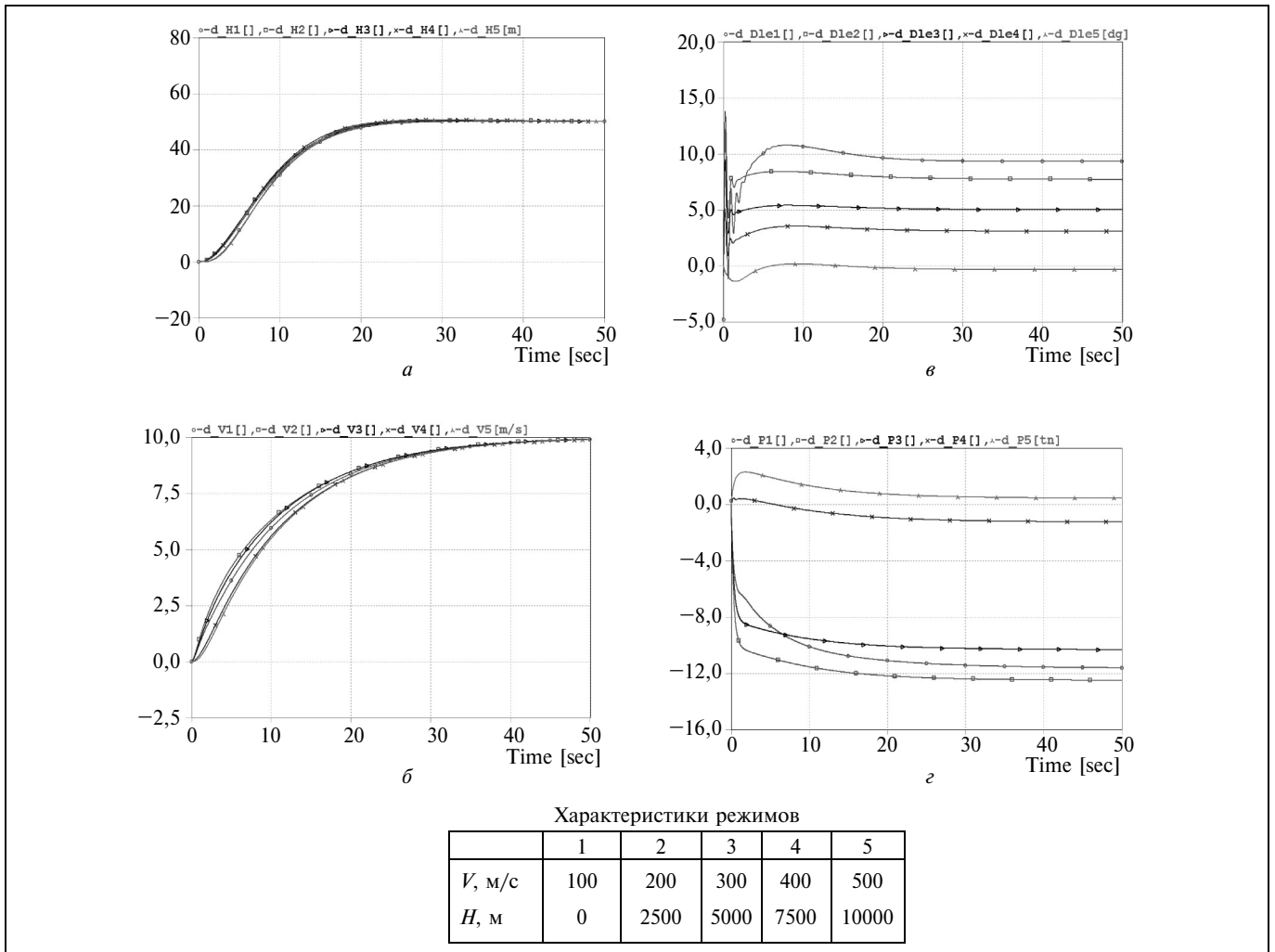


Рис. 2. Переходные процессы на различных режимах полета:
 а — переход по высоте; б — разгон по скорости; в — реакция руля высоты; г — реакция двигателя

симирующими функциями. Наилучшая аппроксимация была выбрана с помощью как наглядных визуальных, так и формальных аналитических методов.

Для этого на экране монитора одновременно с изображением поверхностей, образованных множеством значений Kd_{ij} , строились изображения нескольких различных типов аналитических функций $f(Q, M)$, таких как $1/Q$, $1/Q^2$, $1/M$, $1/M^2$, $1/M^4$, и их возможные сочетания $1/QM$, $1/QM^2$ и т. д. Здесь Q — скоростной напор.

Из этого множества функций для аппроксимации каждого из коэффициентов Kd_{ij} выбиралась функция конкретного вида. После выбора подходящих типов аппроксимирующих функций необходимо было найти масштабные коэффициенты Km_{ij} , чтобы построить размерные аппроксимации

$\hat{K}d_{ij} = Km_{ij}f_{ij}(Q, M)$. Их вычисление основывалось на минимизации среднеквадратичного отклонения.

Результаты аппроксимации некоторых коэффициентов иллюстрируются на рис. 1, где показаны пары функций: найденные безразмерные оптимальные коэффициенты Kd_{ij} и их приближенные аналитические зависимости $\hat{K}d_{ij}$. Налицо хорошее подобие зависимостей в парах.

5. МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Тестовыми сигналами являлись одновременные ступенчатые команды по высоте и скорости. Для сравнительной оценки пилотажных характеристик достаточными являются отклонения скорости ΔV и высоты ΔH , а также реакции органов управления — отклонения руля высоты δ_b и тяги P .

На графиках рис. 2, *a* и *b* в качестве примера показаны переходные процессы по высоте и скорости, а на рис. 2, *в* и *г* — изменение реакций δ_v руля высоты и тяги P двигателя в пяти точках вдоль траектории разгона по скорости с набором высоты. Условия полета в этих точках показаны в таблице на том же рисунке. Отметим, что диапазон режимов охватывает скорости от 100 до 500 м/с и высоты от 0 до 10 000 м.

Эти записи показывают, что даже в таких разнообразных условиях полета самолет практически одинаково выполняет маневры. Меняется лишь реакция органов управления. При этом не наблюдается никаких резких или интенсивных движений органов управления. Действия системы выглядят очень рациональными и экономичными. Это свойство придает системе заложенный в ее структуры энергетический подход к управлению движением в пространстве. А свойство инвариантности к изменениям параметров самолета обеспечивается настройкой коэффициентов системы таким образом, что во всех условиях полета она корректирует реакцию самолета, сохраняя ее неизменной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика оптимальной коррекции параметров систем управления полетом движущихся объектов, обеспечивающая инвариантность пилотажных характеристик в широком диапазоне полетных условий. В основе структуры этой системы лежит ядро энергетической системы управления с перекрестными связями. Высокое качество управления достигнуто благодаря введению пропорциональных обратных связей, а не применению динамических звеньев и повышению порядка системы, рациональная автоматическая настройка этих связей в полете поддерживает фундаментальные свойства системы на априори заданном высоком уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lambregts A.A.* Vertical Flight Path and Speed Control Autopilot Design Using Total Energy Principles // AIAA Paper 83-2239CP. — 1983.
2. *Борисов В.Г., Начинкина Г.Н., Шевченко А.М.* Энергетический подход к управлению полетом // Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 6. — С. 59–70.
3. *Kurdjukov A.P., Natchinkina G.N., Shevchenko A.M.* Energy Approach to Flight Control // AIAA Guidance Navigation and Control Conf., AIAA P. 98–4211. — Boston, 1998.
4. *Павлов Б.В., Шевченко А.М., Начинкина Г.Н.* Энергетический подход и его использование для проектирования систем управления полетом // Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем. — 2003. — Т. 8, — вып. 2 (16). — С. 24–43.
5. *Дылевский А.В., Лозгачев Г.И.* Синтез линейных систем управления с заданным характеристическим многочленом // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2003. — № 4. — С. 17–20.
6. *Doll C., Magni J.F. and Gorrec Y.Le.* A Modal Multi-Model Approach // Robust Flight Control: A design challenge. — Lecture Notes in Control & Information Sciences. — 1997. — Vol. 224.
7. *Тютиков В.В., Тарарыкин С.В., Варков Е.А.* Обеспечение статической точности систем модального управления с полиномиальными регуляторами // Приборы и системы. — 2004. — № 2. — С. 1–4.
8. *Ackermann J.* Sampled-Data Control Systems. — Berlin, Springer-Verlag, 1985.
9. *Ackermann J.* Multi-model approaches to robust control system design // Multi-model approaches to robust control system design. — Lecture Notes in Control and Information Sciences. — 1985. — Vol. 70. — P. 108–130.
10. *Акунов Т.А., Ушаков А.В.* Синтез систем гарантированной модальной стабильности // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2003. — № 4. — С. 9–16.
11. *Борисов В.Г., Дилгенский С.Н., Ефремов А.Ю.* Синтез инвариантных систем управления на основе собственных структур // Автоматика и телемеханика. — 1990. — № 7. — С. 3–17.

Статья представлена к публикации членом редколлегии С.Д. Земляковым.

Борисов Владимир Георгиевич — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-90-51,

Начинкина Галина Николаевна — науч. сотрудник, ☎ (495) 334-90-39,

Шевченко Андрей Михайлович — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-90-39, e-mail: anshev@ipu.ru, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва.

Читайте в номере 1, 2009 г.:

Бурков В. Н., Новиков Д. А., Щепкин А. В. Модели и механизмы управления эколого-экономическими системами
Курдюков А. П., Тимин В. Н. H_∞ -управление энергетической системой в аварийном режиме. Ч. 1. Теоретические основы синтеза робастных H_∞ -регуляторов

Гусев С. С., Чадеев В. М. Алгоритм идентификации с переходом в пространство параметров

Афанасьева К. Е., Ширяев В. И. Адаптивное гарантированное оценивание с учетом информации по множеству "родственных" объектов

Пронина В. А., Шипилина Л. Б. Использование отношений между атрибутами для построения онтологии предметной области

Никитин В. В. Применение экспертно-классификационных методов при проектировании профессиональных и образовательных стандартов

Федорец О. В. Использование обучающей выборки для определения приоритета критериев в рейтинговой системе оценивания научных журналов

Кононов О. А., Кононова О. В. Социальные и этические аспекты обеспечения информационной безопасности

Дурнев Р. А. Система информирования и оповещения населения: обоснование рациональных объемов реализации функций

