

Параметрическое обеспечение робастной устойчивости базовой модели беспилотного летательного аппарата

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Рассмотрены вопросы параметрического синтеза конструктивных параметров беспилотного летательного аппарата (БЛА) в целях обеспечения робастной устойчивости для различных полетных заданий. Предложен интерактивный метод их выбора на базе использования интегрированного математического пакета MAPLE-11 с библиотекой программ, поддерживающих интервальные вычисления. Предложенный подход гарантирует такой выбор конструктивных параметров БЛА, который обеспечит робастность конструктивной схемы БЛА (обеспечит устойчивость в максимально широком диапазоне режимов полета).

Ключевые слова: летательный аппарат, робастная устойчивость, интервальные параметры, характеристическое уравнение, области устойчивости.

1 Постановка задачи

При проектировании линейки беспилотных летательных аппаратов, предназначенных для выполнения определенных функций, что связано с различным весом полезной нагрузки, изменением аэродинамических характеристик, возникает вопрос о сохранении устойчивости и управляемости базовой модели летательного аппарата. При этом могут быть рассмотрены следующие задачи:

- сохраняется ли устойчивость той или иной модификации БЛА при заданных интервалах изменения исходных параметров математической модели базового БЛА (обладает ли исходная модель свойством робастной устойчивости);
- каковы запасы устойчивости рассматриваемой модификации БЛА относительно тех или иных аэродинамических характеристик;
- каким образом должны быть выбраны конструктивные параметры базовой модели, обеспечивающие робастную устойчивость всей линейке беспилотных летательных аппаратов.

Оценка робастной устойчивости БЛА может привести к положительному результату – удовлетворению условий устойчивости при заданных вариациях массогабаритных и аэродинамических характеристик базового варианта БЛА. Однако более вероятным является потеря устойчивости для некоторых сочетаний изменений таких параметров. В данном случае целесообразным представляется коррекция номинальных значений этих параметров в целях обеспечения устойчивости в максимально широких пределах их изменения. Следует отметить, что анализ ведется для широкого диапазона режимов полета, что приводит к интервальному характеристическому уравнению замкнутой системы относительно исследуемых параметров.

2 Метод решения

Предложен следующий метод синтеза робастно-устойчивого базового варианта БЛА.

В интервальном характеристическом уравнении необходимо перейти от самих исследуемых параметров к их относительным изменениям. Это позволит рассматривать безразмерные величины и центрировать их относительно начала ко-

ординат – точки с нулевыми отклонениями параметров от их номинальных значений.

Методика робастного синтеза:

1. Переход к новому базису $\Delta_1\%$, $\Delta_2\%$,... (нормирование). Так как

$$\Delta_i\% = (\mu_i - \mu_i^*) / |\mu_i^*| \times 100\%, \quad (1)$$

где $\Delta_i\%$ – относительное изменение μ_i массогабаритной или аэродинамической характеристики базового варианта БЛА в процентах;

μ_i^* – номинальное значение μ_i массогабаритной или аэродинамической характеристики базового варианта БЛА, выраженное в соответствующих физических единицах.

Следовательно,

$$\mu_i = \Delta_i\% \times |\mu_i^*| / 100 + \mu_i^*. \quad (2)$$

(Выполняется для варианта расчета относительных изменений исследуемых параметров).

2. Установление символьных границ робастного разбиения пространства (плоскости) нормированных параметров $\Delta_i\%$:

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^m G_{ij}(\mu_1, \mu_2, \dots) = 0, \quad (3)$$

где m – число условий, соответствующее выбранному алгебраическому критерию.

Снятие неоднозначности решения путем выбора требуемого соотношения допусков на нормированные параметры (аппроксимация области устойчивости параллелотопом):

$$\Delta_i\% / \Delta_I\% = R_i. \quad (4)$$

(Определяется полетным заданием и техническими требованиями к режимам функционирования).

3. Переход к рассмотрению $m(m-1)/2$ плоских ортогональных сечений пространственной области робастного разбиения. Ограничением на допустимость такого перехода является требование выпуклости пространственной области устойчивости. (Переход осуществляется различными вариантами подстановки $m-2$ численных значений исследуемых параметров).

4. Определение начального значения допуска на параметры (геометрическая интерпретация – минимальное значение модулей координат точки пересечения линий):

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^m G_{ij}(\mu_1, \mu_2, \dots) = 0 \text{ и } \Delta_i\% / \Delta_I\% = R_i; \quad (5)$$

$$\Delta^{(0)}\% = \min_{k,j} |\Delta_{kj}|, \%, k = I, II, III, IV; j = 1, 2, \dots, m, \quad (6)$$

где k – номер квадранта плоскости параметров.

(Задача может быть решена как путем использования математических систем символьных вычислений, так и переходом к известным численным методам).

5. Перенос начала координат (центрирование начальных значений исходных параметров относительно поля допусков):

$$\Delta_1\% := \delta_1 + \Delta_1\%, \quad \delta_1 = \Delta_1\% + (|\Delta_1^{0\%}| + \Delta_1^{0\%}) / 2. \quad (7)$$

(Выполнение операций подстановок и символьно–численный интерфейс полиномиальных процедур символьных вычислений).

6. Завершение процедуры определения параметров системы, обеспечивающих наибольшие значения независимых допусков, гарантирующих сохранение устойчивости по условию выполнения одного из неравенств

$$\begin{aligned} \overline{|\Delta_1^{0\%}| + \Delta_1^{0\%}} &< \varepsilon, \\ \overline{|\Delta_2^{0\%}| + \Delta_2^{0\%}} &< \varepsilon, \end{aligned} \quad (8)$$

где ε – любое, сколь угодно малое положительное число;

$$\begin{aligned} \overline{\Delta_1^{0\%}} &= \min \Delta_1\% = \Delta_1^{III}\%; \\ \underline{\Delta_1^{0\%}} &= \max \Delta_1\% = \Delta_1^{IV}\%; \\ \overline{\Delta_2^{0\%}} &= \min \Delta_2\% = \Delta_2^{III}\%; \\ \underline{\Delta_2^{0\%}} &= \max \Delta_2\% = \Delta_2^{II}\% \end{aligned} \quad (9)$$

– относительные значения исследуемых параметров, вычисляемые как точки пересечения диагоналей вписываемого прямоугольника с границей области, заданной уравнением, в каждом из квадрантов рассматриваемого сечения области.

7. Пересчет коэффициентов отрицательных обратных связей для скорректированных значений номинальных конструктивных параметров модели БЛА и оценка величины робастной устойчивости. (Выполняется итерационно до достижения требуемых значений).

Плоскостная геометрическая интерпретация робастного синтеза показана на рис. 1.

3 Методический пример

Рассмотрим объект управления с динамикой, описываемой системой линейных дифференциальных уравнений

$$\dot{X} = A \times X + B \times U, \quad (10)$$

где $X = [\omega_z, v, \alpha, V]$;

ω_z – вариация угловой скорости тангажа, град./с;

v – вариация угла тангажа, град.;

α – вариация угла атаки, град.;

V – вариация скорости полета, м/с.

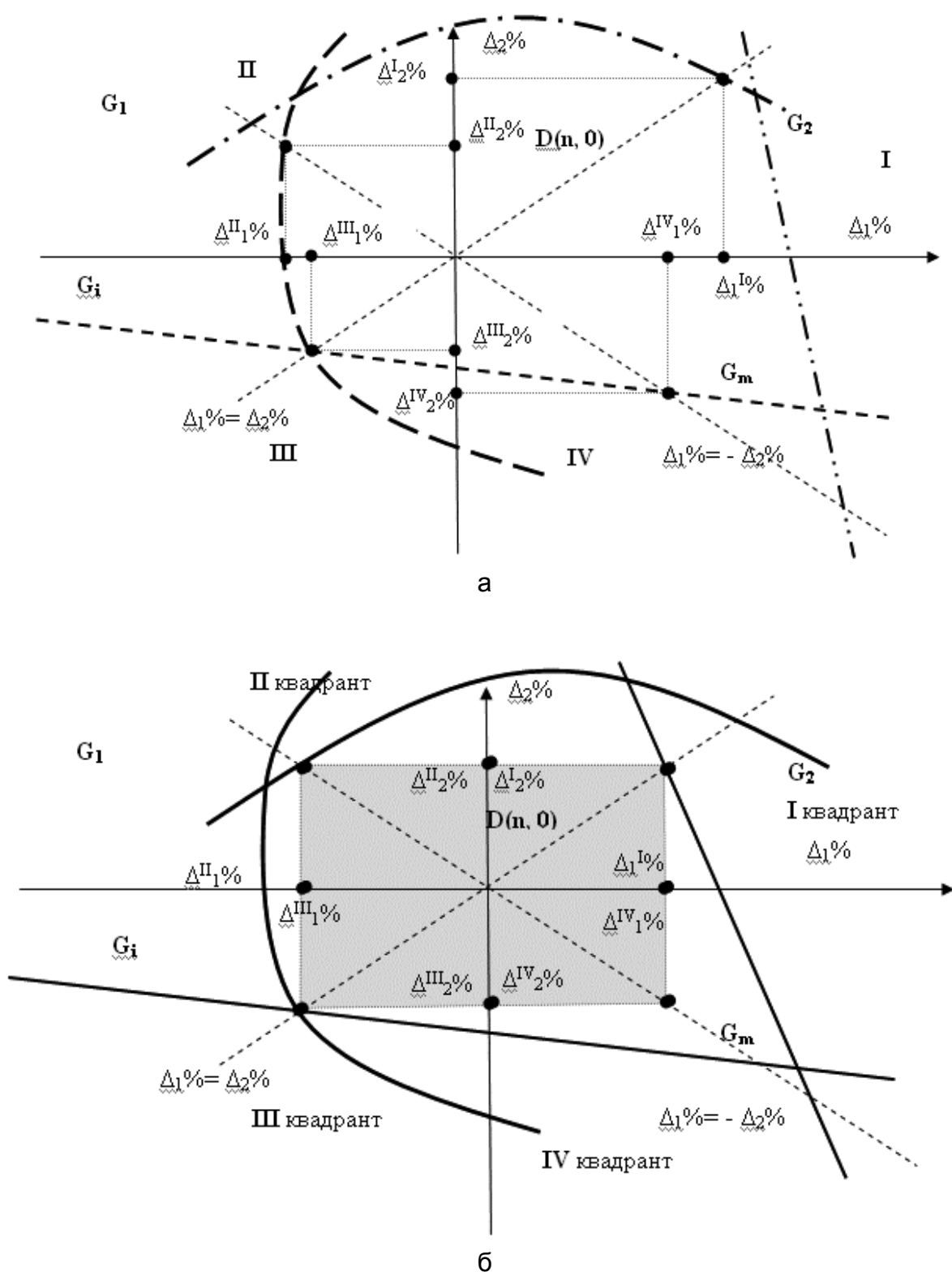


Рис. 1. Область устойчивости в плоскости параметров $\Delta_1\%$, $\Delta_2\%$ (G_i – граница области устойчивости по i -му условию):
 а – $\Delta_2^{I\%} \neq \Delta_2^{II\%} \neq |\Delta_2^{III\%}| \neq |\Delta_2^{IV\%}|$; $|\Delta_1^{II\%}| \neq |\Delta_1^{III\%}| \neq \Delta_1^{I\%} \neq \Delta_1^{IV\%}$;
 б – $\Delta_2^{I\%} = \Delta_2^{II\%} = |\Delta_2^{III\%}| = |\Delta_2^{IV\%}|$; $\Delta_1^{II\%} = \Delta_1^{III\%}$

Для управления по состоянию и со значениями коэффициентов обратных связей, найденных для стандартного характеристического полинома со степенью устойчивости $\eta = -4$, характеристическое уравнение продольного возмущенного движения базового изделия в аналитическом виде примет вид [1, 2]

$$\lambda^4 - ((m^2 \cdot V^2 \cdot S \cdot b_A \cdot q \cdot m_z^{\omega z} + m^2 \cdot V^2 \cdot S \cdot b_A \cdot q \cdot m_z^b - 1.29m^2 \cdot V^2 \cdot S \cdot b_A \cdot q \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} - m \cdot V \cdot J_{zz} \cdot S \cdot q \cdot c_y^\alpha - 0.017m^2 \cdot V^2 \cdot J_{zz} \cdot g))\lambda^3 / (J_{zz} \cdot m^2 \cdot V^2) - ((-S^2 \cdot b_A \cdot q \cdot m \cdot V^2 \cdot m_z^b \cdot \rho \cdot c_y - 0.017m \cdot V \cdot J_{zz} \cdot g \cdot S \cdot q \cdot c_y^\alpha - 7.654 \cdot m^2 \cdot V^2 \cdot S \cdot b_A \cdot q \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} - 0.0225 \cdot S \cdot b_A \cdot q \cdot m^2 \cdot V^2 \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} \cdot g + m \cdot V \cdot S^2 \cdot b_A \cdot q^2 \cdot m_z^{\omega z} \cdot c_y^\alpha + 0.01745 \cdot m^2 \cdot V^2 \cdot S \cdot b_A \cdot q \cdot m_z^{\omega z} \cdot g + 0.017m^2 \cdot V^2 \cdot S \cdot b_A \cdot q \cdot m_z^b \cdot g - 1.29 \cdot S^2 \cdot b_A \cdot q^2 \cdot m \cdot V \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} \cdot c_y^\alpha + S \cdot b_A \cdot q \cdot m^2 \cdot V^2 \cdot m_z^\alpha))\lambda^2 / ((J_{zz} \cdot m^2 \cdot V^2) - ((-2924.82 \cdot S \cdot b_A \cdot q \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} \cdot P^V \cdot V^2 \cdot m - 51.17 \cdot S \cdot b_A \cdot q \cdot m^2 V^2 m_z^{\bar{p}p\bar{e}} \cdot g - 0.017S^2 \cdot b_A \cdot q \cdot m \cdot V^2 \cdot g \cdot m_z^b \cdot \rho \cdot c_y + 51.04S^2 b_A \cdot q^2 \cdot m \cdot V^2 \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} \cdot c_x^\alpha + 0.017 \cdot S \cdot b_A q \cdot m^2 \cdot V^2 \cdot g \cdot m_z^\alpha + 5849.64 \cdot S^2 b_A \cdot q^2 \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} \cdot c_x \cdot m \cdot V - S^2 \cdot b_A \cdot q \cdot m \cdot V^2 \cdot \rho \cdot c_y \cdot m_z^\alpha - 3453.32 \cdot S^2 \cdot b_A q \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} \cdot \rho \cdot c_y \cdot V^2 \cdot m - 3460.97 \cdot S^2 b_A \cdot q^2 \cdot m \cdot V \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} \cdot c_y^\alpha - 0.0225S^2 \cdot b_A \cdot q^2 \cdot m \cdot V \cdot g \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} \cdot c_y^\alpha + 0.017m \cdot V \cdot S^2 \cdot b_A \cdot q^2 \cdot m_z^{\omega z} \cdot g \cdot c_y^\alpha))\lambda / (J_{zz} \cdot m^2 \cdot V^2) - ((5849.64 \cdot S^3 \cdot b_A \cdot q^3 \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} \cdot c_x \cdot c_y^\alpha - 60.4 \cdot S^2 \cdot b_A \cdot q^2 m \cdot V \cdot g \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} \cdot c_y^\alpha - 2924.8 \cdot S^2 b_A \cdot q^2 \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} \cdot P^V \cdot V c_y^\alpha - 0.017S^2 b_A \cdot q \cdot m \cdot V^2 \cdot g \rho \cdot c_y \cdot m_z^\alpha - 9.223S^2 \cdot b_A \cdot q \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} \cdot \rho \cdot c_y^2 \cdot g \cdot m - 51.044 \cdot S^3 \cdot b_A \cdot q^2 \cdot m_z^{\bar{p}p\bar{e}} \cdot \rho \cdot c_y \cdot V^2 \cdot c_x^\alpha)) / (J_{zz} \cdot m^2 \cdot V^2) = 0. \tag{11}$$

Описание физических величин приведено в табл. 1.

Таблица 1

Описание физических величин

Параметр	Физическая величина	Значение номинальное
S	Площадь крыла, м	9.2
m	Масса изделия, кг	520
P^V	Производная тяги двигателя от скорости полета, Нхс/м	-20
ρ	Плотность воздуха, кг/м ³ , на высоте 500 м	1.165
b_A	Средняя аэродинамическая хорда эквивалентного крыла, м	1.02
J_{zz}	Момент инерции изделия по угловой скорости тангажа, кгхм ²	1800
q	Скоростной напор, Н/м ²	1450

Продолжение таблицы 1

Параметр	Физическая величина	Значение номинальное
c_x	Коэффициент лобового сопротивления	0.0475
c_x^α	Производная аэродинамического коэффициента лобового сопротивления по углу атаки, град.	0.0056
c_y	Коэффициент подъемной силы	0.7763
c_y^α	Производная аэродинамического коэффициента подъемной силы по углу атаки, град.	0.08227
m_z^α	Производная продольного аэродинамического момента по углу атаки, град.	-0.015
$m_z^{\omega z}$	Коэффициент аэродинамического демпфирования по угловой скорости тангажа, град./с	-0.00224
$m_z^{\dot{\alpha}}$	Коэффициент аэродинамического демпфирования по скорости изменения угла атаки, град./с	-0.00112
$m_z^{\delta_{рв}}$	Аэродинамический коэффициент эффективности руля высоты по отклонению, град.	0.026

Уравнения границ условий устойчивости по критерию Льенара–Шипара для рассматриваемого случая системы четвертого порядка определяются уравнениями

$$G_{i1} = a_3 = 0,$$

$$G_{i2} = a_0 a_1 a_2 - a_2^2 a_2 - a_1^2 = 0. \quad (12)$$

Вместо b_A , $m_z^{\delta_{рв}}$ в характеристическое уравнение подставим

$$b_A = 1.02 \cdot \Delta Ba\% / 100 + 1.02,$$

$$m_z^{\delta_{рв}} = 1.489 \cdot \Delta MZ_DRV\% / 100 + 1.489.$$

Получим

$$\begin{aligned} & \lambda^4 + (0.1454e - 2 \cdot \Delta MZ_DRV\% \cdot \Delta Ba\% + 0.15787 \cdot \Delta Ba\% + 0.1454 \cdot \\ & \cdot \Delta MZ_DRV\% + 16.0) \lambda^3 + (96.0 + 0.89254e - 2 \cdot \Delta MZ_DRV\% \cdot \Delta Ba\% + \\ & + 9.599 \times \Delta Ba\% + 0.89254 \cdot \Delta MZ_DRV\%) \lambda^2 + (2.5499 \cdot \Delta MZ_DRV\% + \\ & + 256.0 + 2.56 \cdot \Delta Ba\% + 0.25499e - 1 \cdot \Delta MZ_DRV\% \cdot \Delta Ba\%) \lambda + 2.529 \cdot \\ & \cdot \Delta MZ_DRV\% + 252.893 + 2.5289 \cdot \Delta Ba\% + 0.02529 \cdot \Delta MZ_DRV\% \cdot \\ & \cdot \Delta Ba\% = 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Построим графически все границы в плоскости параметров $\Delta Ba\%$, $\Delta MZ_DRV\%$ и найдем область, где для всех уравнений корни имеют отрицательную вещественную часть (рис. 2).

$$G_1 = a_3 = 0.001454 \cdot \Delta MZ_DRV\% \cdot \Delta Ba\% + 0.157867 \cdot \Delta Ba\% + 0.1454 \cdot \Delta MZ_DRV\% + 16.0 = 0.$$

$$\begin{aligned}
 G_2 = a_0 a_1 a_2 - a^2_3 a_2 - a^2_1 = & 6.124996 \times 10^6 + 5.737 \cdot \Delta MZ_DRV\%^3 + \\
 & + 0.0017663 \cdot \Delta MZ_DRV\%^2 \cdot \Delta Ba\%^3 + 0.18117 \cdot \Delta Ba\%^3 \cdot \Delta MZ_DRV\% + \\
 & + 0.00172 \cdot \Delta MZ_DRV\%^3 \cdot \Delta Ba\%^2 + 0.5737 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta MZ_DRV\%^3 \cdot \Delta Ba\%^3 + \\
 & + 6.1907 \cdot \Delta Ba\%^3 + 1.844 \cdot 10^5 \cdot \Delta Ba\% + 52.86 \cdot \Delta MZ_DRV\%^2 \cdot \Delta Ba\% + \\
 & + 1850.64 \cdot \Delta Ba\%^2 + 54.22 \cdot \Delta MZ_DRV\% \cdot \Delta Ba\%^2 + 0.529255 \cdot \Delta MZ_DRV\%^2 \cdot \\
 & \cdot \Delta Ba\%^2 + 0.1721 \cdot \Delta MZ_DRV\%^3 \cdot \Delta Ba\% + 1.7986 \cdot 10^5 \cdot \Delta MZ_DRV\% + \\
 & + 5408.998 \cdot \Delta MZ_DRV\% \cdot \Delta Ba\% + 1759.84 \cdot \Delta MZ_DRV\%^2 = 0.
 \end{aligned}$$

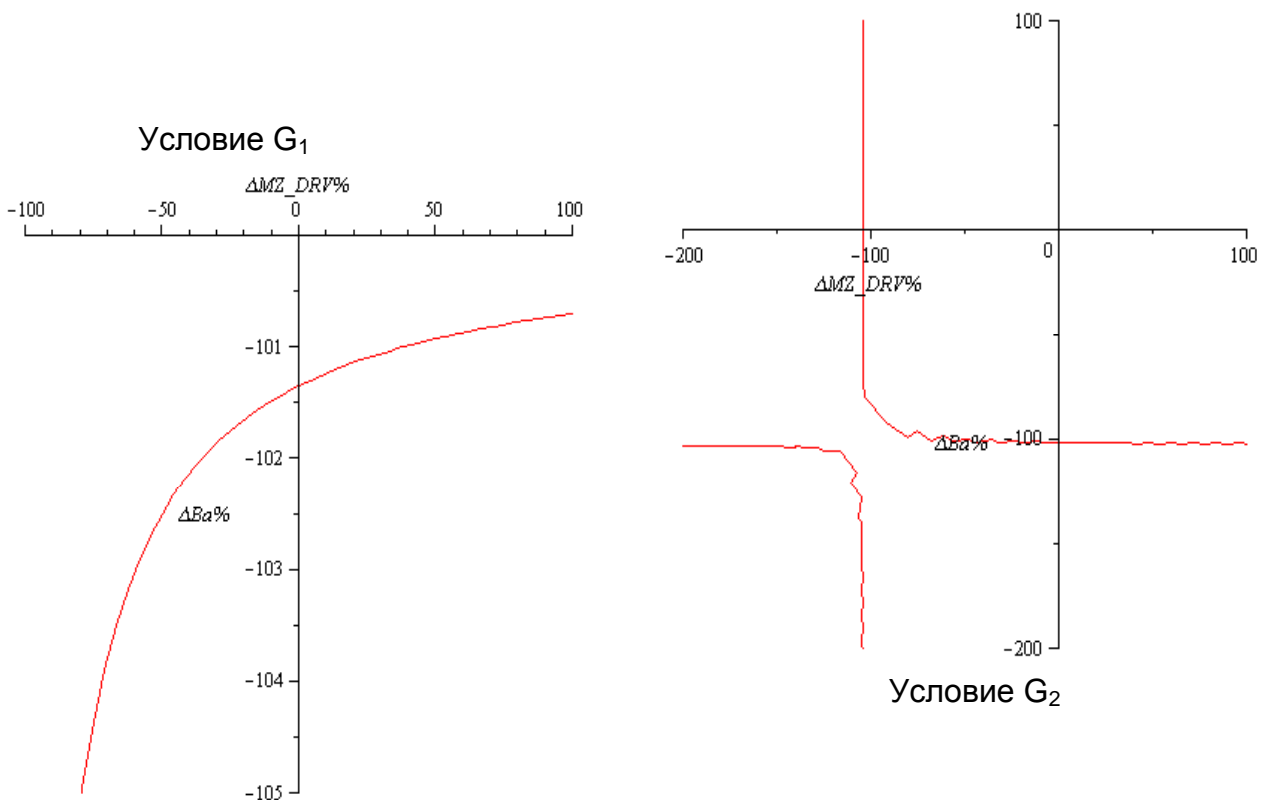


Рис. 2. Границы в плоскости параметров $\Delta Ba\%$, $\Delta MZ_DRV\%$

Дальнейшее исследование связано с получением характеристического уравнения

$$D(\lambda) = \lambda^n + \sum_{i=1}^n [\underline{a}_{n-i}, \bar{a}_{n-i}] \lambda^{n-i} \quad (14)$$

для интервальных значений входящих в него параметров [3, 4]. Для определенности примем $P^V = [-10; 30]$, параметры $\Delta Ba\%$, $\Delta MZ_DRV\%$ оставим символьными, а для остальных возьмем их номинальные значения. Тогда

$$\begin{aligned}
 & \lambda^4 + (0.157867 \cdot \Delta Ba\% + 0.1454 \cdot \Delta MZ_DRV\% + 0.001454 \cdot \Delta MZ_DRV\% \cdot \\
 & \cdot \Delta Ba\% + 16.0) \lambda^3 + (0.9599 \cdot \Delta Ba\% + 95.99 + 0.89254 \cdot \Delta MZ_DRV\% + 0.00892 \cdot
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \cdot \Delta MZ_DRV\% \cdot \Delta Ba\% \lambda^2 + (1522.205 + [-15.827 \cdot MZ_DRV\% - 1582.75 - \\
& - 9.4965 \cdot \Delta MZ_DRV\% - 949.653] + 15.2119 \cdot \Delta MZ_DRV\% + 0.152119 \cdot \\
& \cdot \Delta MZ_DRV\% \cdot \Delta Ba\% + 15.222 \cdot \Delta Ba\% + \Delta Ba\% + [-0.15827 \cdot \Delta MZ_DRV\% - \\
& - 15.827 - 0.09496 \cdot \Delta MZ_DRV\% - 9.4965])\lambda + 0.0306 \cdot \Delta MZ_DRV\% \cdot \Delta Ba\% + \\
& + [-0.66809 \cdot \Delta MZ_DRV\% - 66.809 - 0.40085 \cdot \Delta MZ_DRV\% - 40.0856] + \\
& + \Delta Ba\% \cdot [-0.66809 - 0.0066809 \cdot \Delta MZ_DRV\% - 0.40085 - 0.0040085 \cdot \\
& \cdot \Delta MZ_DRV\%] + 3.0634 \cdot \Delta Ba\% + 306.34 + 3.063587 \cdot \Delta MZ_DRV\%.
\end{aligned} \tag{15}$$

Составим четыре уравнения для угловых полиномов:

$$\begin{aligned}
d_1(\lambda) &= \underline{a}_0 + \underline{a}_1 \lambda + \underline{a}_2 \lambda^2 + \underline{a}_3 \lambda^3 + \underline{a}_4 \lambda^4 + \dots; \\
d_2(\lambda) &= \underline{a}_0 + \underline{a}_1 \lambda + \underline{a}_2 \lambda^2 + \underline{a}_3 \lambda^3 + \underline{a}_4 \lambda^4 + \dots; \\
d_3(\lambda) &= \underline{a}_0 + \underline{a}_1 \lambda + \underline{a}_2 \lambda^2 + \underline{a}_3 \lambda^3 + \underline{a}_4 \lambda^4 + \dots; \\
d_4(\lambda) &= \underline{a}_0 + \underline{a}_1 \lambda + \underline{a}_2 \lambda^2 + \underline{a}_3 \lambda^3 + \underline{a}_4 \lambda^4 + \dots,
\end{aligned} \tag{16}$$

для которых выпишем условия устойчивости.

Полный набор уравнений границ G_{ij} для четырех угловых полиномов составит восемь условий: $G_{11}, G_{12}, G_{21}, G_{22}, G_{31}, G_{32}, G_{41}, G_{42}$, причем $G_{11}=G_{41}, G_{21}=G_{31}$. Здесь $i=1,4$ – порядковый номер углового полинома, $j=1,2$ – порядковый номер уравнения границы области устойчивости по критерию Лъенара–Шипара.

Необходимо построить все границы в плоскости параметров $\Delta Ba\%$, $\Delta MZ_DRV\%$ и найти область, где для всех уравнений выполняются условия устойчивости.

Расположение границ областей устойчивости позволяет сделать вывод о том, что возможна коррекция номинальных значений исследуемых параметров, которая расширит допустимые их отклонения при сохранении устойчивости БЛА. Однако следует иметь в виду, что это влечет за собой изменение качества переходных процессов. Так, если в рассмотренном примере номинальные параметры обеспечивали заданную степень устойчивости при отсутствии колебательности, то их изменение может привести БЛА к границе колебательной устойчивости.

4 Выводы

Особенностью предложенного подхода является то, что рассматриваются конструктивные параметры БЛА, а целью является их выбор, обеспечивающий робастность конструктивной схемы БЛА (обеспечение устойчивости в максимально широком диапазоне режимов полета).

Список литературы

1. Системы автоматического управления самолетом [Текст] / И.А. Михалев и др. - М.: Машиностроение, 1971. – 464 с.
2. Вартамян, В.М. Применение метода физического моделирования для создания новых образцов беспилотной техники [Текст] / В.М. Вартамян, В.О. Чер-

новский, Аль Дахери Али Мохамед // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 3 (70). – С. 51-56.

3. Али Мохамед, Аль Дахери. Обеспечение робастной устойчивости на этапе проектирования конфигурации беспилотного летательного аппарата [Текст] / Аль Дахери Али Мохамед, В.М. Вартамян // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 6 (73). – С. 37-43.

4. Жабко, А.П. Необходимые и достаточные условия устойчивости линейного семейства полиномов [Текст] / А.П. Жабко, В.Л. Харитонов // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 10. – С. 125-134.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. И.В. Чумаченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

Поступила в редакцию 12.09.11.

Параметричне забезпечення робастної стійкості базової моделі безпілотного літального апарата

Розглянуто питання параметричного синтезу конструктивних параметрів безпілотного літального апарата (БЛА) з метою забезпечення робастної стійкості для різних польотних завдань. Запропоновано інтерактивний метод їх вибору на базі використання інтегрованого математичного пакета MAPLE-11 з бібліотекою програм, що підтримують інтервальні обчислення. Запропонований підхід гарантує такий вибір конструктивних параметрів БЛА, який забезпечить робастність конструктивної схеми БЛА (забезпечить стійкість у максимально широкому діапазоні режимів польоту).

Ключові слова: літальний апарат, робастна стійкість, інтервальні параметри, характеристичне рівняння, області стійкості.

Robust stability parametric ensuring of the basic model of unmanned aerial vehicle

The problems of parametric synthesis of the unmanned aerial vehicle (UAV) constructive parameters are examined to provide robust stability for a variety of flight tasks. The interactive method of their choice based on using of an integrated mathematical package MAPLE-11 and its library of programs that support interval computation is offered. The proposed approach guarantees a choice of constructive parameters of UAVs, which will ensure the robustness of UAV construction arrangement (ensure sustainability in the widest possible range of flight modes).

Keywords: aircraft, robust stability, interval parameters, the characteristic equation, the stability areas.