логических задач развивает способность выделять существенное, самостоятельно подходить к обобщениям. Логические игры помогают воспитывать познавательный интерес, способность к творческому поиску, желание и умение учиться, а это помогает развитию логического мышления у обучающихся. В результате формируются основные мыслительные операции, такие как анализ, синтез, сопоставление, обобщение, классификация и умение применять полученные знания. А значит, студенты умеют определять закономерности и выполнять задание по данной закономерности, классифицировать и группировать предметы, сравнивать, находить общее и частное свойства, обобщать и абстрагировать, анализировать и оценивать свою деятельность; путем рассуждений решать логические, нестандартные задачи, уметь ориентироваться в схематическом изображении графических заданий.

В статье рассматриваются навыки логического мышления при обучении теории вероятности. Проведен эксперимент и показаны результаты эффективности решения данной проблемы.

**РЕЗЮМЕ**

Логикалық ойлау - дерексіз ұғымдарды қолдана алу мүмкіндігі, ол ақылмен және талқылау арқылы ойлау. Логикалық ойлау деңгейі пән бойынша үлгерімге әсер етеді, сондықтан білім алушылардың логикасын дамыту керек. Логикалық есептерді шешу жалпыға бірдей көзқарастарды анықтауға мүмкіндік береді. Логикалық ойындар когнитивтік қызығушылықты, шығармашылық ізденуді, оқуға қабілеттілікті жоғарылатады, бұл білім алушылар арасында логикалық ойлауды дамытуға көмектеседі. Нәтижесінде талдау, синтез, салыстыру, қорыту, жіктеу және осы білімді қолдану мүмкіндігі сияқты негізгі операциялар жасалады. Бұл дегеніміз, студенттер негізгі тұрақтылықты анықтай алады және сәйкес үлгіде тапсырмаларды орындау, объектілерді жіктеу және топтастыру, салыстыру, жалпы және нақты қасиеттерді табу, олардың қызметін талдау және бағалау жұмыстарын атқара алады; логикалық, стандартты емес тапсырмаларды негіздеу арқылы шешіп, графикалық тапсырмалардың схемалық көрінісінде жұмыс жасай алады.

Мақалада ықтималдық теориясын оқытудағы логикалық ойлау дағдылары қарастырылады. Тәжірибе жүргізіліп және осы мәселені шешу тиімділігінің нәтижелері көрсетілді.

УДК 502.175: 504.5 (574.1)
**Бейсенби М.А.,** доктор технических наук, профессор
**Қуаныш А.Е.,** магистрант
«Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Нур-Султан, Республика Казахстан

# ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО И СИММЕТРИЧНОГО КЛА ПРИ ВОЗМУЩЕНИИ

**Аннотация**

В настоящей работе предлагается новый подход к построению вектор-функций Ляпунова. Для исследования симметричных КЛА линейных и нелинейных систем управления с успехом может реально применяться метод функций А.М.Ляпунова. Использование этого метода сдерживается отсутствием универсального подхода к построению функции Ляпунова. Следует напомнить, что ошибка в выборе или неудача в построении необходимой функции Ляпунова не означает неустойчивости системы: она указывает лишь на неудачу при построении функции Ляпунова.

Предлагается динамически компенсатор для оценки вектора состояния космического летательного аппарата и возмущений. Исследование робастной устойчивости систем управления космического летательного аппарата с учетом возмущений производится градиентно-скоростным методом вектор функций Ляпунова. Область робастной устойчивости

получена в форме системы простейших неравенств по неопределенным параметрам динамического компенсатора.

***Ключевые слова:*** *космический летательный аппарат, динамический компенсатор, вектор состояния.*

**Введение**. Важное место в теории и практике управления космическими летательными аппаратами (КЛА) занимает проблема исследования робастной устойчивости. Устойчивость системы управления в условиях неопределенности понимается, как робастная устойчивость [1-3]. При этом неопределенность может быть обусловлена незнанием истинных значений параметров системы управления и непредсказуемых изменением их во времени, в процессе эксплуатации системы. В частности напряжения на шинах питания связано с работой панелей солнечных батарей и может колебаться в значительных диапазонах. Большинство компонентов системы управления КЛА подвержены значительным перепадам температур и влиянию нейтронов, ионизирующей радиаций и воздействию космических лучей различной интенсивности. Все это приводит непредсказуемым отклонениям параметров от номинальных величин в различных частях системы, приводят к таким последствиям, что динамика системы управления КЛА становится менее предсказуемой и может характеризоваться нежелательными колебаниями.

Исследования робастной устойчивости системы управления КЛА, в условиях неопределенности и возмущении является актуальной проблемой и предлагается для оценки вектора состояния и возмущений построить динамически компенсатор [4]. Робастная устойчивость системы управления КЛА с учетом возмущений исследуется градиентно-скоростным методом вектор-функций Ляпунова. Область устойчивости получается в виде систем простейших неравенств по неопределенным параметрам динамического компенсатора.

Рассматривается КЛА с исполнительным маховичным устройством и датчиком измерения симметричный относительно одной оси симметрии [9-11]:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = a_{23}x_3 \\ \frac{dx_3}{dt} = x_4 \\ \frac{dx_4}{dt} = -a_{44}x_4 - a_{43}x_3 + b_{41}u_1 + b_{42}u_2 + \frac{1}{I}m(t) + \frac{1}{I_x}v(t) \end{cases}, \quad (1)$$

$x_1(t)$ – угол крена, $x_2$ – угловая скорость, $u_1(t)$ – управляющий момент по углу крена, $u_2(t)$ – управляющий момент по угловой скорости.

M(t) – возмущающий момент. Пусть доступна измерению угол крена $x_1(t)$ и угловая скорость $x_2(t)$. Значения $u_1(t)$ и $u_2(t)$ также считаются известными. Подлежит оцениванию не измеряемый момент возмущения M(t). Будем полагать его линейной функцией времени M(t) = $M_0$ + Vt, причем $M_0$ и $V$- неизвестные величины.

Этот процесс можно представить как решение системы однородных дифференциальных уровней [4].

$$\begin{cases} \frac{dM(t)}{dt} = V(t) \\ \frac{dV(t)}{dt} = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

с начальными условиями M(0), V(0). Введем вектор состояния системы «объект-среда» x(t) = $(x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t), M(t), V(t))^T$. Выход системы y(t) = $(x_1(t), x_2(t))$. Таким образом, приходим к уравнениям состояния вида.

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = a_{23}x_3 \\ \frac{dx_3}{dt} = x_4 \\ \frac{dx_4}{dt} = -a_{44}x_4 - a_{43}x_3 + b_{41}u_1 + b_{42}u_2 + \frac{1}{k_c}M(t) + \frac{1}{k_c}V(t) \\ \frac{dM}{dt} = V \\ \frac{dV}{dt} = 0 \end{cases} \quad , \qquad (3)$$

где

$$\frac{1}{k_c} = b_{45}$$
$$x_5(t) = M(t)$$
$$x_6(t) = V(t)$$

Введем обозначение: $b_{45} = b_{46} = \frac{1}{k_c}$, $x_5(t) = M(t)$, $x_6(t) = V(t)$.
x(t) = $(x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t), x_5(t), x_6(t))^T$.

где

$$A = \left\| \begin{matrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -a_{43} & -a_{44} & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{matrix} \right\|, \qquad B = \left\| \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_{41} & b_{42} & 0 & 0 & b_{42} & b_{46} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \right\|$$

$$X(t) = \left\| \begin{matrix} X_1(t) \\ X_2(t) \\ X_3(t) \\ X_4(t) \\ X_5(t) \\ X_6(t) \end{matrix} \right\|, \qquad Y(t) = \left\| \begin{matrix} X_1(t) \\ X_2(t) \\ X_3(t) \\ X_4(t) \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \right\|, \qquad C = \left\| \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \right\|$$

Уравнения замкнутой системы имеет вид [4]

$$\frac{dx}{dt} = Ax(t)+Bu(t), \qquad y(t) = Cx(t), \qquad x(t_0) = x_0, \qquad (4)$$

$$u(t) = -K\hat{x}(t), \qquad (5)$$

$$\frac{d\hat{x}(t)}{dt} = (A - LC)\hat{x}(t) + Bu(t) + Ly(t), \qquad \hat{x}(t_0) = \hat{x}_0, \qquad (6)$$

Здесь $\hat{x}(t)$- оценка вектора состояния и возмущений.

Преобразуем уравнения состояния (4), (5), (6)
Для этого используем ошибку оценивания
$\varepsilon$(t) = x(t) + $\hat{x}(t)$. Тогда можем записать:

$\hat{x}(t) = x(t) - \varepsilon(t)$ и уравнения (4) – (6) преобразуется к виду:

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t), \quad x(t_0) = x_0, \qquad (7)$$

$$u(t) = -kx(t) + k\varepsilon(t), \qquad (8)$$

$$\frac{d\varepsilon(t)}{dt} = (A-LC)\,\varepsilon(t), \quad \varepsilon(t_0) = x_0 - \hat{x}_0, \qquad (9)$$

Уравнения состояния (7) – (9) можем представить в виде:

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) - Bkx(t) + Bk\varepsilon(t), \quad x(t_0) = x_0, \qquad (10)$$

$$\frac{d\varepsilon(t)}{dt} = A\varepsilon(t) - LC\varepsilon(t), \quad x(t_0) = x_0, \qquad (11)$$

$L = \left\| l_1, l_2, l_5, l_6 \right\|$, $C \left\| \begin{matrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \right\|$, $\varepsilon(t) = \left\| \begin{matrix} \varepsilon_1(t) \\ \varepsilon_2(t) \\ \varepsilon_3(t) \\ \varepsilon_4(t) \\ \varepsilon_5(t) \\ \varepsilon_6(t) \end{matrix} \right\|$,

Систему (10), (11) развернутой форме представим в виде:

$$\begin{cases} \dfrac{dx_1}{dt} = x_2 \\ \dfrac{dx_1}{dt} = a_{23}x_3 \\ \dfrac{dx_3}{dt} = x_4 \\ \dfrac{dx_4}{dt} = -a_{43}x_3 - a_{44}x_4 - b_{41}k_1x_1 - b_{42}k_2x_2 - b_{45}x_5 - b_{46}x_6 + b_{41}k_1\varepsilon_1 \\ \quad + b_{42}k_2\varepsilon_2 + b_{45}\varepsilon_5 + b_{46}\varepsilon_6 \\ \dfrac{dx_5}{dt} = x_6 \\ \dfrac{dx_6}{dt} = 0 \\ \dfrac{d\varepsilon_1}{dt} = \varepsilon_2 \\ \dfrac{d\varepsilon_2}{dt} = a_{23}\varepsilon_3 \\ \dfrac{d\varepsilon_3}{dt} = \varepsilon_4 \\ \dfrac{d\varepsilon_4}{dt} = -a_{43}\varepsilon_3 - a_{44}\varepsilon_4 - l_1\varepsilon_1 - l_2\varepsilon_2 - l_5\varepsilon_5 - l_6\varepsilon_6 \\ \dfrac{d\varepsilon_5}{dt} = \varepsilon_6 \\ \dfrac{d\varepsilon_6}{dt} = 0 \end{cases} \qquad (12)$$

Основное свойство системы (12) – это асимптотическая устойчивость. Находим условие робастной асимптотической устойчивости системы (12) градиентно скоростным методом вектор функции Ляпунова.

Из (12) находим компонентов вектора градиента для вектор-функций Ляпунова

V(x,$\varepsilon$) = ($V_1(x,\varepsilon), \ldots, V_{12}(x,\varepsilon)$):

$$\begin{cases} \frac{\partial V_1(x,\varepsilon)}{\partial x_2} = -x_2, \ \frac{\partial V_2(x,\varepsilon)}{\partial x_3} = -a_{23}x_3, \frac{\partial V_3(x,\varepsilon)}{\partial x_4} = -x_4, \\ \frac{\partial V_4(x,\varepsilon)}{\partial x_1} = b_{41}k_1x_1, \quad \frac{\partial V_4(x,\varepsilon)}{\partial x_2} = b_{42}k_2x_2, \frac{\partial V_4(x,\varepsilon)}{\partial x_3} = a_{43}x_3, \\ \frac{\partial V_4(x,\varepsilon)}{\partial x_4} = a_{44}x_4, \frac{\partial V_4(x,\varepsilon)}{\partial x_5} = b_{45}k_5x_5, \frac{\partial V_4(x\varepsilon)}{\partial \varepsilon_1} = -b_{41}k_1\varepsilon_1, \\ \frac{\partial V_4(x\varepsilon)}{\partial \varepsilon_2} = -b_{42}k_2\varepsilon_2, \frac{\partial V_4(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_5} = -b_{45}k_5\varepsilon_5, \frac{\partial V_4(x\varepsilon)}{\partial \varepsilon_6} = -b_{46}k_6\varepsilon_6, \\ \frac{\partial V_5(x,\varepsilon)}{\partial x_5} = -x_6, \ \frac{\partial V_6(x,\varepsilon)}{\partial x_6} = 0, \ \frac{\partial V_7(x,\varepsilon)}{\partial x_2} = -\varepsilon_2, \\ \frac{\partial V_8(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_3} = -a_{23}\varepsilon_3, \ \frac{\partial V_9(x,\varepsilon)}{\partial x_4} = -\varepsilon_4, \frac{\partial V_{10}(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_1} = l_1\varepsilon_1, \\ \frac{\partial V_{10}(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_2} = l_2\varepsilon_2, \frac{\partial V_{10}(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_3} = a_{43}\varepsilon_3, \frac{\partial V_{10}(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_4} = a_{44}\varepsilon_4, \\ \frac{\partial V_{10}(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_5} = l_5\varepsilon_5, \quad \frac{\partial V_{11}(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_6} = -\varepsilon_6, \frac{\partial V_{12}(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_6} = 0 \\ \frac{\partial V_{10}(x,\varepsilon)}{\partial \varepsilon_6} = l_6\varepsilon_6 \end{cases} \qquad (13)$$

Из (12) определяем разложение вектора скорости по координатам ($x_1, \ldots, x_6, \varepsilon_1, \ldots, \varepsilon_6$)

$$\begin{cases} \left(\frac{dx_1}{dt}\right)_{x_2} = x_2, \ \left(\frac{dx_2}{dt}\right)_{x_3} = a_{23}x_3, \left(\frac{dx_3}{dt}\right)_{x_4} = x_4, \left(\frac{dx_4}{dt}\right)_{x_1} = -b_{41}k_1x_1 \\ \left(\frac{dx_4}{dt}\right)_{x_2} = -b_{42}k_2x_2, \left(\frac{dx_4}{dt}\right)_{x_3} = -a_{43}x_3, \left(\frac{dx_4}{dt}\right)_{x_4} = -a_{44}x_4, \\ \left(\frac{dx_4}{dt}\right)_{x_5} = -b_{45}k_5x_5, \left(\frac{dx_4}{dt}\right)_{\varepsilon_1} = +b_{41}k_1\varepsilon_1, \left(\frac{dx_4}{dt}\right)_{\varepsilon_2} = b_{42}k_2\varepsilon_2, \\ \left(\frac{dx_4}{dt}\right)_{\varepsilon_5} = b_{45}k_5\varepsilon_5, \left(\frac{dx_5}{dt}\right)_{x_6} = -x_6, \left(\frac{d\varepsilon_1}{dt}\right)_{\varepsilon_2} = \varepsilon_2, \left(\frac{d\varepsilon_2}{dt}\right)_{\varepsilon_3} = a_{23}\varepsilon_3 \\ \left(\frac{d\varepsilon_3}{dt}\right)_{\varepsilon_4} = +\varepsilon_4, \left(\frac{d\varepsilon_4}{dt}\right)_{\varepsilon_1} = -l_1\varepsilon_1, \left(\frac{d\varepsilon_4}{dt}\right)_{\varepsilon_2} = -l_2\varepsilon_2, \left(\frac{d\varepsilon_4}{dt}\right)_{\varepsilon_5} = l_5\varepsilon_5, \\ \left(\frac{d\varepsilon_4}{dt}\right)_{\varepsilon_3} = -a_{43}\varepsilon_3, \left(\frac{d\varepsilon_4}{dt}\right)_{\varepsilon_4} = -a_{44}\varepsilon_4, \left(\frac{d\varepsilon_5}{dt}\right)_{\varepsilon_6} = \varepsilon_6 \end{cases} , \qquad (14)$$

Полная производная по времени от вектора-функции Ляпунова, с учетом уравнения состояния (12) определяется как скалярное произведение вектора градиента (13) на вектор скорости (14):

$$\frac{\partial V(x,\varepsilon)}{\partial t} = -x_2^2 - (a_{23}x_3)^2 - x_4^2 - (b_{41}k_1x_1^2)^2 - (b_{42}k_2x_2)^2 - (a_{43}x_3)^2 - -(a_{44}x_4)^2 - (b_{45}k_5x_5)^2 - (b_{46}k_6x_6)^2 - x_6^2 - \varepsilon_2^2 - (a_{23}\varepsilon_3)^2 - -\varepsilon_4^2 - (l_1\varepsilon_1)^2 - (l_2\varepsilon_2)^2 - (a_{23}\varepsilon_3)^2 - (a_{43}\varepsilon_3)^2 - (a_{44}\varepsilon_4)^2 - (l_5\varepsilon_5)^2 - (l_6\varepsilon_6)^2$$

Из (15) следует, что полная производна по времени от вектор-функций всегда является (15) знако – отрицательной.

Функцию Ляпунова в скалярной форме представить в виде:

$$V(x,\varepsilon)=\frac{1}{2}b_{41}k_1x_1{}^2+\frac{1}{2}(b_{42}k_2-1)x_2{}^2+\frac{1}{2}(a_{43}-a_{23})x_3{}^2+\frac{1}{2}(a_{44}-1)x_4{}^2+$$
$$+\frac{1}{2}b_{45}x_5{}^2+\frac{1}{2}(b_{46}k_6-1)x_6{}^2+\frac{1}{2}l_1\varepsilon_1{}^2+\frac{1}{2}(l_2-1)+\frac{1}{2}(a_{43}-a_{23})\varepsilon_3{}^2+\frac{1}{2}(a_{44}-1)\varepsilon_4{}^2+\frac{1}{2}(l_6-1)\varepsilon_6{}^2+\frac{1}{2}l_5\varepsilon_5{}^2 \quad (16)$$

Условие положительной определенности т.е. условие существование функции Ляпунова будет определяться:

$$k_1>0, k_2>\frac{1}{b_{42}}, a_{43}-a_{23}>0, a_{44}-1>0, k_5>0, k_6>\frac{1}{b_{46}}, \quad (17)$$
$$l_1>0, l_2>1, a_{43}-a_{23}>0, a_{44}-1>0, l_5>0, l_6>1$$

Согласно неравенств (17) является условием робастной устойчивочти динамического компенсатора.

Заключение. На практике к измерению не доступны возмущений КЛА. В этом случае используется в законе управления не сами применяемые характеризующие возмущений, а их оценки полученные с помощью наблюдателя. При этом требуется показать как изменяются динамические свойства системы управления КЛА и как влияет на свойство системы.

Исследование динамического компенсатора, оценивающего влияния возмущений на КЛА производится градиентно скоростным методом вектор-функции Ляпунова. При этом построение вектор-функций Ляпунова базируется на градиентности модели динамического компенсатора и эквивалентности вектор-функций Ляпунова и потенциальной функций градиентных систем из теорий катастроф. Исследование робастной устойчивости замкнутой системы управления по выходу КЛА и по возмущений градиентно-скоростным методом вектор-функций Ляпунова позволяет определить допустимые области изменения коэффициентов усиления регулятора элементов наблюдающего устройства и для элементов матрицы КЛА.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. – М.:Наука, 2002. – 303 с.
2. Dorato P., Vedavalli Recent Advanced in Robust Control – New York: IEEE press, 1990
3. Кунцевич В.М. Управление в условиях неопределенности. Гарантированные результаты в задачах управления и идентификации, 2007 – 620 с.
4. Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB. – СПб,: Наука, 2000. 475 с.
5. Бейсенби М.А. Исследование робастной устойчивости систем автоматического управления методом функций А.М.Ляпунова. – Астана, 2015.- 204 с.
6. Beisenbi M., Uskenbayeva G. The New Approach of Design Robust Stability for Linear Control System. Proc. Of the Intl. Conf. on Advances in Electronics and Electrical Technology – AEET. - 2014, P.11-18.
7. Beisenbi M., Yermekbayeva J. Construction of Lyapunov function to examine Robust Sta,ility for Linear System. International Journal of Control. Energy and Electrical Engineering (CEEE). – 2001. - V (1).- P. .17-22.
8. Beisenbi M., Uskenbayeva G.Satybaldina D., Martsenyuk V., Shailhanova A. Robust stability of spacecraft traffic control system using Lyapunov functions. 16th International Conference on Control, Automation and System (ICCAS). - IEEE, 2016. – P. 743-748.
9. Боднер В.А. Системы управления летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1973. - 697 с.
10. Раушенбах Б.В. Лекции по динамике космического полета – М.:МФТИ, 1997. – 302 с.

11. Лебедев Д.В. Навигация и управление ориентацией малых космических аппаратов. - Киев: Наук. думка, 2006. — 298 с.

**ТҮЙІН**

Осы жұмыста Ляпуновтың вектор-функцияларын құруға жаңа көзқарас ұсынылады. Басқару жүйесінің симметриялық класын зерттеу үшін А. М. Ляпуновтың функциясының әдісі табысты қолданылуы мүмкін. Бұл әдісті пайдалану Ляпунов функциясын құруға әмбебап тәсілдің болмауынан тежеледі. Ляпуновтың қажетті функциясын құрудағы қате немесе сәтсіздік жүйенің тұрақсыздығын білдірмейді: ол Ляпунов функциясын құрудағы сәтсіздікті ғана көрсетеді.

Ғарыштық ұшу аппараты жай-күйінің векторын бағалау үшін динамикалық компенсатор ұсынылады. Ғарыштық ұшу аппаратын басқару жүйелерінің робасты орнықтылығын зерттеу ауытқуларды есепке ала отырып, Ляпунов функцияларының векторы градиентті-жылдамдық әдісімен жүргізіледі. Робасты орнықтылық аймағы динамикалық компенсатордың белгісіз параметрлері бойынша қарапайым теңсіздіктер жүйесі түрінде алынған.

**RESUME**

In this paper we propose a new approach to the construction of Lyapunov vector functions. The method of A. M. Lyapunov functions can be successfully applied to study symmetric CLA of linear and nonlinear control systems. The use of this method is constrained by the lack of a universal approach to the construction of the Lyapunov function. It should be recalled that the error in the choice or failure in the construction of the necessary Lyapunov function does not mean instability of the system: it indicates only a failure in the construction of the Lyapunov function.

A dynamic compensator for estimating the state vector of the spacecraft and perturbations is proposed. The study of the robust stability of the spacecraft control systems taking into account perturbations is carried out by the gradient-velocity method of Lyapunov vector functions. The region of robust stability is obtained in the form of a system of simple inequalities in uncertain parameters of the dynamic compensator.