АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ ИМ. М.Т.УРАЗБАЕВА

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

Имени М.Улугбека

На правах рукописи
УДК 536

МУЛЛАЖОНОВ РУСТАМЖОН ВОХОБЖОНОВИЧ

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ НЕКОТОРЫХ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ

01.02.01 – Теоретическая механика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Ташкент – 2012

Работа выполнена в Андижанском государственном университете имени З.М.Бобура и Института механики имени С.П.Тимошенко НАН Украины.

Научный руководитель - доктор физико-математических наук профессор, академик НАН Украины **Мартынюк Анатолии Андреевич,** заведующей отдела устойчивости процессов института механики им. С.П.Тимошенко НАН Украины.

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита состоится «….» ………………2010 г. в ….. часов на заседании объединенного специализированного совета К.025.01.02 при Институте механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз и Национальном университете Узбекистан по адресу: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 31. тел.: 262-71-32, 262-71-42, e-mail: instmech@uzsci.net

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института механики и сейсмостойкости сооружений

Автореферат разослан ………………………2010 г.

Ученый секретарь объединенного

специализированного совета

к.т.н. Сагдиев Х.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность темы работы. Задачей теории устойчивости движения является установление признаков, позволяющих судить, будет ли рассматриваемое движение устойчивым или неустойчивым. Так как в действительности возмущающие факторы всегда неизбежно существуют, то становится понятным, что задача устойчивости движения приобретает очень важное как теоретическое так и практическое значение.

Математическое моделирование процессов и явлений в живой и неживой природе всегда предполагает определенную их классификацию в соответствии с их сложностью. Многие процессы и явления моделируются крупномасштабными системами (КМС), которые состоят из обособленных подсистем, объединенных функциями связей. Во многих случаях для КМС характерны определенные признаки, описанные А.И.Кухтенко. Среди них: многомерность; многообразие структуры системы (сети, иерархические структуры и т.д.); многосвязность элементов системы (взаимосвязь подсистем в одном уровне и связи на различных уровнях иерархии); многообразие природы элементов (машины, автоматы, роботы и т.д,); многократность изменения состава и состояния системы (переменность структуры, связей и состава системы); многокритериальность системы (различие локальных критериев для подсистем и глобального критерия для системы в целом, противоречивость их) и т.д. Системы с такими свойствами в большинстве практически важных случаев труднодоступны для исследования динамических свойств их решений.

Например, исследование устойчивости решений методом функций Ляпунова может быть эффективно проведено при наличии алгоритма построения для рассматриваемой системы функции Ляпунова со специальными свойствами. Ряд направлений исследований связан с упрощением исходной системы так, что свойство устойчивости (неустойчивости) устанавливается не непосредственно, а путем исследования промежуточной системы.

Усилиями многих специалистов, занимавшихся проблемами устойчивости КМС, созданы или существенно развиты новые математические методы. Среди них отметим метод векторных функций Ляпунова (Bellman 1962, Матросов 1962, 1963,1968), метод векторных норм (Robert 1964) и метод матриц-функций Ляпунова (А.А.Мартынюк, 1979).

Наибольшее распространение получили векторные функции Ляпунова при изучении устойчивости КМС. Известно, что для этих систем использование классических аналитических и качественных методов изучения динамических свойств решений затруднительно. Одним из возможных подходов в анализе КМС является декомпозиция исходной системы на относительно простые подсистемы с учетом структурных особенностей сложной системы. Для подсистем, декомпозированной сложной системы, строятся скалярные функции Ляпунова, которые в свою очередь являются компонентами векторной функции Ляпунова. Впервые такой способ построения векторной функции Ляпунова был предложен в работе Бейли. Способ Бейли предполагает построение функций Ляпунова с оценками, характерными для квадратичных форм. Такие функции, являясь компонентами векторной функции Ляпунова, обеспечивают экспоненциальную устойчивость нулевого решения подсистем в целом.

Способ построения систем сравнения, не использующий технику оценок Бейли, был развит в работах В.Ф.Задорожного и А.А.Мартынюка.

В 1979 году А.А.Мартынюком введено понятие матрицы функции Ляпунова. Далтнейшее развитие этого понятия и его конкретная реализация отражены в работах А.А.Мартынюка и его учеников. В этом способе скалярная функция получается в результате скалярного умножения матрицы-функции на некоторый постоянный вектор справа и слева. При этом скалярная функция представляет собой взвешенную сумму от биградуированной системы функций. К такому способу, построения скалярной функции Ляпунова близок подход В.Е.Томпсона. В качестве скалярной функции Ляпунова им выбиралась взвешенная сумма, полученная в результате скалярного умножения векторной функции Ляпунова на некоторый постоянный вектор, причем компоненты векторной функции Ляпунова удовлетворяли оценкам, характерным для квадратичных форм.

Использование матриц-функций в известной степени облегчает построение скалярной функции Ляпунова, так как в качестве их элементов могут выбираться функции, которые удовлетворяют более широким требованиям, чем компоненты векторной функции Ляпунова. Кроме того, метод матриц-функций Ляпунова позволяет исследовать устойчивость отдельно взятой независимой подсистемы, так как диагональным элементом матрицы-функции может быть представлена динамика свободной подсистемы, а с помощью внедиагональных элементов может быть учтена связь с другими подсистемами.

В работе Н.С.Постникова и Е.Ф.Сабаева был предложен способ построения систем сравнения, сохраняющих структуру порядка относительно конуса симметрических, положительно полуопределенных матриц, для некоторых линейных и нелинейных дифференциальных уравнений. В этой же работе с помощью матричных систем сравнения авторам удалось расширить известные ранее условия абсолютной устойчивости для некоторых нелинейных регулируемых систем.

Современные системы автоматического регулирования представляет собой в большинство случаев весьма сложные электромеханические устройства, состоящие из объекта регулирования и регулятора. Назначение регулятора сводится к тому, что бы непрерывно поддерживать в объекта регулирования некоторое установившейся состояние или же состояние, изменяющееся по заданному закону. Следовательно, процесс регулирования заключается в том, что регулятор препятствует всяким отклонениям от этого состояния, возникающим в объекта регулирования в результате каких либо нарушений его работы. Одной из основных задач теории автоматического регулирования является изучение протекания процесса регулирования во времени. Если окажется, что при определенной настройке регулятора состояние будет устойчивым, то это будет построенного вмешательства, набирает тот режим невозмущенного движения. Если же состояние будет неустойчивым, то такой установившейся режим окажется физически невозможным.

Несмотря на усилия многих специалистов, при исследовании динамических свойств, в том числе устойчивости КМС в большинстве практически важных случаев возникает ряд трудностей. Поэтому актуальной проблемой остается разработка

а) анализа структуры крупномасштабных систем,

б) получение критериев устойчивости (асимптотической устойчивости) и неустойчивости состояния равновесия крупномасштабных систем.

Степень изученности проблемы. Задачей устойчивости движения занимались многие математики и механики. Основная теорема об устойчивости равновесия установлена еще Лагранжем. Она была исходным пунктом для исследований Рауса, который установил признаки устойчивости движения для некоторые частных случаев движений. Задачей устойчивости занимались также Томсон и Тэт и Н.Е.Жуковский и другие. Все эти авторы рассматривали весьма частные случаи движений и по теории устойчивости движения. Результаты Пуанкаре также носят весьма частный характер.

В 1892 году появилась знаменитая докторская диссертация А.М.Ляпунова «Общая задача об устойчивости движения». В этом замечательном труде задача об устойчивости движения была впервые поставлена во всей ее общности и были предложены мощные и вместе с тем строгие методы ее решения. Эта работа Ляпунова явилась отправным пунктом всех дальнейших исследований по теории устойчивости движения.

После появление работы А.М.Ляпунова, к задачами теории устойчивости движения посвящено огромное количество работ многих авторов, например, работы Е.А.Барбашина, Р.Беллмана, Г.Н.Дубошина, В.И.Зубова, Н.Н.Красовского, Ж.Ла-Салле, С.Лефшица, А.М.Летова, А.И.Лурье, И.Г.Малькина, В.И.Матросова, А.А.Мартынюка, Н.Г.Четаева, и дургие.

Настоящее время с такими задачами в Узбекистане занимаются Б. Атажанов, О.Дўсматов, Н.А.Каршунова, В.Миладжанов, Х.Тўраев и дургие.

Анализ устойчивости крупномасштабных систем, остается одной из актуальных проблем механики и качественной теории уравнений. Разработанные к настоящему времени методы анализа устойчивости систем такого рода основаны преимущественно на векторных либо матричных функциях Ляпунова. Отсутствие регулярного общего алгоритма построения подходящих функция Ляпунова часто затрудняет применение общих методов качественного анализа механических и другой природы систем. Поэтому возникает ряд направлений, связанных с таким упрощением системы (или с заменой исходной системы иной системой), при котором свойство устойчивости (неустойчивости) устанавливается не непосредственно, а путем исследования этой промежуточной системы.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. Теоретические основы научные исследование выпольненной в диссертации связана с основными направлениями теории устойчивости движения; “исследование устойчивости по первому приближению”, “прямой метод Ляпунова”, “метод матрица – функции Ляпунова”. А практически работа связана с задачами устойчивости изодромного регулятора и продольного движения самолета.

Цель работы. Разработка критериев устойчивости (асимптотической устойчивости) и неустойчивости состояние равновесия линейных и нелинейных крупномасштабных систем. Приложение полученных результатов к задачам устойчивости изодромного регулятора и продольного движения самолета.

Задача исследования. Для осуществления поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Изучение основных свойств обобщенной транспонированной матрицы и симметрических матриц.
2. Проведение анализа структуры линейной КМС.
3. Получить достаточные условия устойчивости состояние равновесия линейной КМС.
4. Установить достаточные условия устойчивости состояние равновесия нелинейной КМС.
5. Применений получченных результатов к исследовании устойчивости механических систем.

Объект и предмет исследований. Выпольненная работа имеет теоретический характер. Здесь рассматривается математические модели линейной и нелинейной КМС, изодромного регулятора и продольной движения самолета.

Метод исследования. В диссертации анализ устойчивости крупномасштабных систем выпольнено в двух этапах. В первом этапе рассматриваются линейная крупномасштабная система. Сначала введено понятие обобщенной транспонирование матриц и с помошью этих понятий исследована структура системы. Затем с помошью метода матрица-функция Ляпунова получено достаточное условия устойяивости состояние равновесия линейной КМС. Во втором этапе рассматриваются нелинейная КМС. Здесь введено понятий “строго положительных функции” и “порядок строгой положительности функции”. С помошью устойчивости этих линейных КМС получено достаточное условия устойчивости состояние равновесия рассматриваемой системы. Также при исследование использованы некоторые методы теоритической механики, теории матриц и теории устойчивости движения.

Основные положения, выносымая на зашиту. Научная новизна полученных результатов диссертации заключается в следуюшем:

1. Обобщенной транспонирование матриц и их свойства.
2. Анализ структуры линейных КМС.
3. Достаточное условия устойчивости состояние равновесия линейных КМС.
4. Достаточные условия состояние равновесия нелинейной КМС.
5. Достаточные условия устойчивости нелинейных регулируемых систем.
6. Достаточные условия устойчивости изодромного регулятора и продольного движения самолета.

Научная новизна. Научная новизна полученных результатов диссертации заключается в следуюшем:

1. Введено новое понятие обобщенной транспонирование матриц и исследовано их свойств.
2. Дано анализ структуры линейных КМС.
3. Получены достаточное условия устойчивости состояние равновесия линейных КМС.
4. Установлены достаточные условия состояние равновесия нелинейной КМС.
5. Получено достаточные условия устойчивости нелинейных регулируемых систем.
6. Найдены новые достаточные условия устойчивости изодромного регулятора и продольного движения самолета.

Научная и практическая ценность. Научное значение проведенных исследований состоит в том, что для широкого класса механических систем, моднлируемых крупномасштабными системами найдени новые достаточное условия устойчивости, асимптотической устойчивости и неустойяивости. Для нелинейных регулируемых систем получены достаточные условия асимптотической устойчивости. Практическая применимость полученных результатов доказана путем исследования асимптотической устойчивости изодромного регулятора и продольного движения самолета, а также путем разбора ряда модельных примеров.

Реализация результатов. Основные результаты диссертации имеют теоретической характер. Их можно применит для исследование устойчивости различных механических систем. Это доказана путем исследования асимптотической устойчивости изодромного регулятора и продольного движения самолета, а также путем разбора ряда модельных примеров.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены на Материалы международной научной конференции «Актуальные проблемы современной математической науки» (Ош, 26 февраля 2005г.), на республиканской научной конференции «Ёш математикларнинг янги теоремалари - 2006», (Наманган 15-16- ноябрь 2006 г), на республиканской научной конференции «Узлуксиз таълим тизимида математика фанини ўқитиш ни такомиллаштириш масалалари», (Андижон, 28-29-апрель 2006 г), на научно методической конференции "Илмий ва услубий тадқиқотдан амалиётга" , (Андижон, 17-18-май 2007 г), на республиканской научно-практической конференции аспирантов, доктарантов и соискателей, (Ташкент, 15-17 март, 2007 г), на международной конференции «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологии – Ал Хорезми 2009» (Ташкент, 18-21 сентября 2009 г), на семинаре кафедры математики АнГУ…

Публикации. Основные результаты диссертации отражены в 18 опубликованных работах, из них 6 в периодических научных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы, содержащего 102 наименование. Общий объем работы составляет 116 страницы.

Автор выражает искреннюю благодарность академику НАН Украины, проф. А.А.Мартынюку за консультации и постоянную поддержку в работе и проф. Н.А.Коршуновой за полезных замечаний и советы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновано актуальность темы, определены степень изученности проблемы, цель и задачи исследования, методы исследования, научная и практическая значимость результатов. Кратко охарактеризованы содержание диссертация.

В первой главе вводится понятие обобщенного транспонирования матриц и на основе этого понятия изучены различные виды симметрических матриц. Проведен анализ структуры линейных крупномасштабных систем при различных симметриях матриц.

В первом параграфе вводится понятие обобщенного транспонирования матриц и исследуются их свойства.

Определение 1.1. Обобщенным транспонированием произвольной матрицы А будем называть перестановку ее элементов по определенным законам или правилам.

Определение 1.2. Матрица $A=[a_{ij}],\ i=1,2,...m,\ j=1,2,...,n$ называется транспонированной относительно:

1) главной диагонали (обозначаем это $A^T=(a_{ji}),\ \ j=1,2,...,n,\ i=1,2,...,m,$) если она получена перестановкой строк (столбцов) со столбцами (строками) матрицы А в прямом порядке,

2) неглавной диагонали $A^{\perp}=(a_{n+1-j,m+1-i}),\ j=1,2,...n,\ i=1,2,...,m$, если она получена перестановкой строк (столбцов) со столбцами (строками) матрицы А в обратном порядке,

3) горизонтальной оси $A^{-}=(a_{m+1-i,j}),\ i=1,2,..,m,\ \ j=1,2,\dots,n,$ если она получена перестановкой i- строки с m+1-i –строками матрицы А ,

4) вертикальной оси $A^{|}=(a_{i,n+1-j}),\ i=1,2,..m,\ j=1,2,\dots,n$, если она получена перестановкой j-столбца с n+1-j- столбцами матрицы А ,

5) центра $A^0=(a_{m+1-i,n+1-j}),\ i=1,2,...,m,\ j=1,2,...,n,$ если она получена перестановкой i-строки с m+1-i-строками и j-столбца с n+1-j столбцами матрицы А.

Доказаны 13 свойств транспонирования матриц относительно главной (неглавной) диагонали, вертикальной (горизонтальной) оси симметрии и центра матрицы.

Во втором параграфе обсуждается геометрический и механический смысл транспонирования матриц. Здесь установлено взаимно–однозначное соответствие между матрицей и прямоугольником и КМС. Показано изменение прямоугольника и структуры КМС путем транспонирования матрицы относительно главной (неглавной) диагонали, вертикальной (горизонтальной) оси симметрии и центра матрицы.

Третий параграф посвящен рассмотрению симметрических квадратных матриц относительно главной (неглавной) диагонали, вертикальной (горизонтальной) оси симметрии и центра матрицы и исследовании их свойств. Приведены декомпозиции линейных КМС, в случае когда соответствующая матрица симметрична относительно главной (неглавной) диагонали, вертикальной (горизонтальной) оси симметрии и центра матрицы. В конце параграфа рассмотрен случай, когда матрица кососимметрическая или ортогональная. Установлены некоторые свойства таких матриц.

Вторая глава посвящена исследованию устойчивости линейных КМС. Известно, что устойчивость линейных систем исследована достаточно полно. Но в случае КМС проверка достаточных условий устойчивости представляет некоторые трудности из–за большой размерности системы. Поэтому необходимо применят декомпозирую исходной системы. Понятие обобщенного транспонирования и симметрические матрицы позволяют предложить удобную форму декомпозиции линейной КМС. При этом можно рассматривать декомпозиции двух видов: декомпозицию относительно вертикальной и горизонтальной осей симметрии КМС и декомпозицию относительно уравновешивающихся подсистем. Для нестационарных линейных КМС предложен новый подход, позволяющий исследование нестационарной системы на основе исследования нескольких стационарных линейные КМС.

Первый параграф носит вспомогательный характер. Здесь приведены результаты которые необходимы при дальнейших исследованиях. В конце параграфа доказано следующая теорема.

Теорема 2.6. Если n-мерная квадратная матрица А симметрична относительно главной и неглавной диагонали или центра матрицы, то для положительной (отрицательной) определенности этой матрицы достаточно выполнение условий

при $n=2k$

1. $\lambda_m(A_1) > 0 \;\; (\lambda_M(A_1) < 0)$

2. $\lambda_m^2(A_1) > \frac{1}{4}\lambda_M((A_2^T + A_2^0)(A_2^T + A_2^0)^T) \;\; \left(\lambda_M^2(A_1) > \frac{1}{4}\lambda_M(A_2^T + A_2^0)(A_2^T + A_2^0)^T\right)$;

при $n = 2k+1$

1′. $\lambda_m(A_1) > 0,\; a_{k+1,k+1} > 0 \;\; (\lambda_M(A_1) < 0,\; a_{k+1,k+1} < 0)$,

2′. $\lambda_m(A_1)\,a_{k+1,k+1} > |a| \;\; (\lambda_M(A_1)\,a_{k+1,k+1} > |a|)$,

3′. $\lambda_m^2(A_1)\,a_{k+1,k+1} > |a|^2\left(\lambda_M^{\frac{1}{2}}((A_2^T + A_2^0)(A_2^T + A_2^0)^T + 2\lambda_m(A_1)) + \frac{1}{4}a_{k+1,k+1}\lambda_M(A_2^T + A_2^0)(A_2^T + A_2^0)^T\right)$,

$\left(\lambda_M^2(A_1)a_{k+1,k+1} < |a|^2(2\lambda_M(A_1) - \lambda_M^{\frac{1}{2}}((A_2^T + A_2^0)(A_2^T + A_2^0)^T)) + \frac{1}{4}a_{k+1,k+1}\lambda_M((A_2^T + A_2^0)(A_2^T + A_2^0)^T)\right)$,

где A_1 и A_2 матрицы к-го порядка определенной из $A = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 \\ A_2^0 & A_1^0 \end{pmatrix}$, A_1^0 и A_2^0 их транспонирование относительно центра матрицы соответственно, вектор $a = a_1 + a_2$, $a_1 = (a_{k+1,1}, a_{k+1,2}, ..., a_{k+1,k})^T$, $a_2 = (a_{k+1,k+2}, a_{k+1,k+3}, ..., a_{k+1,n})^T$, $a_{k+1,k+1}$- скаляр находящийся в центре матрицы А.

Во вторим параграфе линейная крупномасштабная система

$$\dot{x} = Ax, \tag{1}$$

где $x \in R^n$, $A - n \times n$ квадратная матрица, симметричная относительно центра матрицы, декомпозирована к двум подсистемам:

$$\begin{aligned} \dot{y} &= A_1 y + B_1 z, \\ \dot{z} &= B_1^0 y + A_1^0 z, \end{aligned} \tag{2}$$

если $n = 2k$, и

$$\begin{aligned} \dot{y} &= A_1 y + a_2 x_{k+1} + B_1 z, \\ \dot{x}_{k+1} &= a_1^T y + a_{k+1,k+1} x_{k+1} + (a_1^T)^0 z, \\ \dot{z} &= B_1^0 y + a_2^0 x_{k+1} + A_1^0 z, \end{aligned} \tag{3}$$

если $n = 2k+1$.

Здесь A_1, B_1- квадратные матрицы к-го порядка, A_1^0, B_1^0 - их транспонирование относительно центра матрицы соответственно, векторы

$$a_1 = (a_{k+1,1}, a_{k+1,2}, ..., a_{k+1,k})^T, \;\; a_2 = (a_{k+1,k+2}, a_{k+1,k+3}, ..., a_{k+1,n})^T,$$
$$y = (x_1, x_2, ..., x_k)^T, \;\; z = (x_{k+2}, x_{k+3}, ..., x_n)^T, \;\; x = (y^T, x_{k+1}, z^T)^T.$$

Для системы (2) построена матрица–функция Ляпунова

$$U_1(y,z) = \begin{pmatrix} v_{11}(y) & v_{12}(y,z) \\ v_{21}(y,z) & v_{22}(z) \end{pmatrix}, \;\; v_{12} = v_{21}, \tag{4}$$

с элементами

$$v_{11}(y) = y^T P_1 y, \;\; v_{22}(z) = z^T P_1^0 z, \;\; v_{12}(y,z) = y^T P_2 z, \tag{5}$$

где матрицы P_1, P_1^0 - положительно определенные, симметрические относительно главной диагонали, P_2 -постоянная матрица, все матрицы к-го порядка. Для системы (3) предложено построение матрицы – функции

$$U_2(y, x_{k+1}, z) = (v'_{ij}(\cdot)), \;\; i,j = 1,2,3, \;\; v'_{ij} = v'_{ji} \tag{6}$$

с элементами

$$v'_{11}=v_{11}(y),\ v'_{12}=\alpha_{12}x_{k+1}y,\ \ v'_{13}=v_{12}(y,z),\ \ v'_{21}=v'_{12},\quad v'_{22}=\alpha_{22}x^2_{k+1},$$
$$v'_{23}=\alpha_{23}x_{k+1}z,\ v'_{33}=v_{22}(z),\ v'_{31}=v'_{13},\ v'_{32}=v'_{23}, \tag{7}$$

где матрицы P_1, P_1^0, P_2 - определяются так же, как в (5), $\alpha_{22}>0$, α_{12}, α_{23} - действительные числа.

Далее при помощи матриц–функций Ляпунова найдены достаточные условия устойчивости состояния равновесия систем (2) и (3). Эти условия приведены в теореме 2.7. В конце параграфа рассмотрен численный пример 6 – го порядка.

В третьем параграфе линейная КМС (1) декомпозирован относительно уравновешивающимся подсистем. В этом случае система (1) представлена в следующим виде:

1) при $n=2k$

$$\dot y_i=A_{ii}y_i+\sum_{\substack{j=1\\ i\neq j}}A_{ij}y_j,\quad i=1,2,...,k=\frac{n}{2} \tag{8}$$

2) при $n=2k+1$

$$\dot y_i=A_{ii}y_i+\sum_{\substack{j=1\\ i\neq j}}A_{ij}y_j+a_ix_{k+1},\quad i=1,2,...,k=\frac{n-1}{2}$$
$$\dot x_{k+1}=a_{k+1,k+1}x_{k+1}+\sum_{i=1}^{k}a_iy_i, \tag{9}$$

где

$$A_{ii}=\begin{pmatrix}a_{ii} & a_{i,n+1-i}\\ a_{i,n+1-i} & a_{ii}\end{pmatrix},\quad A_{ij}=\begin{pmatrix}a_{ij} & a_{i,n+1-j}\\ a_{i,n+1-j} & a_{ij}\end{pmatrix},\quad a_i=(a_{i,k+1},a_{i,k+1})^T$$

$$a_j=(a_{k+1,j},a_{k+1,j})^T,\ \ y_i=(x_i,x_{n+1-i})^T,\quad y=(y_1^T,y_2^T,...,y_k^T)^T,\ i,j=1,2,...,k,\ i\neq j$$

В этом параграфе путем применения матриц-функций Ляпунова получены достаточные условия устойчивости состояние равновесия систем (8), (9). Условия устойчивости приведены в теореме 2.8. Здесь также рассмотрен численный пример 6-го порядка.

Четвертый параграф посвящен анализу устойчивости нестационарных линейных КМС

$$\dot x=A(t)x, \tag{10}$$

где $x\in R^n$, $A(t)$ квадратная матрица $n-$го порядка. Матрица $A(t)$ представлена в виде

$$A(t)=A_0+A_1\varphi_1(t)+A_2\varphi_2(t)+...+A_s\varphi_s(t), \tag{11}$$

где $A_i,i=0,1,2,...,s$ постоянные квадратные матрицы $n-$го порядка, $\varphi_j(t),j=1,2,..,s$ - линейно независимые непрерывные скалярные функции. Задача исследования устойчивости состояние равновесия системы (10) приводятся к исследованию устойчивости состояние равновесия стационарной линейной КМС

$$\dot x=A^*x, \tag{12}$$

где матрица A^* определяется из условий

$$H_i=A_i(A^*)^{-1},\ \ i=0,1,2,...,s. \tag{13}$$

Здесь постоянные матрицы H_i, $i=0,1,2,...,s$ - положительно определенные, симметрические относительно главной (неглавной) диагонали и центра матрицы.

В конце параграфа рассмотрено численный пример 3 – го порядка.

В третьей главе излагается один подход к исследованию устойчивости состояния равновесия нелинейных КМС с помощью некоторых вспомогательных линейных систем. Этот подход основан на специальном представлении скалярных либо векторных функции через строго положительные функции.

В первом параграфе проведены определения строго положительных (отрицательных) функций, порядок строгости строго положительных функции и некоторые утверждения вытекающие из этих определений, которые необходимы при дальнейших исследованиях.

Определение 3.1. Скалярная функция $\varphi(x): R^n \to R$ называется

1) строго положительной, если существует инвариантная во времени окрестность $\mathcal{N}$ точки $x = 0$, $\mathcal{N} \subseteq R^n$ такая, что

а) $\varphi(x)$ - непрерывна на $\mathcal{N}$; $\varphi(x) \in \mathbb{C}(\mathcal{N})$;

б) существует число $\varepsilon > 0$ такое, что $\varphi(x)$ не меньше ε на $\mathcal{N}$, т.е. $\varphi(x) \geq \varepsilon > 0$, при всех $x \in \mathcal{N}$;

в) $\varphi(0) \geq \min \varphi(x) = \varepsilon > 0$;

2) строго положительной в целом, если условия а) - в) определения 1) выполняются при $\mathcal{N} = R^n$:

3) строго отрицательной (в целом), если $(-\varphi(x))$ – строго положительная (в целом).

Определение 3.2. Скалярная функция $\varphi(t, x): R \times R^n \to R$ называется

1) строго положительной на $\mathcal{T}_\tau = [\tau, +\infty[$, $\tau \in R_+$, если существует связная инвариантная во времени окрестность $\mathcal{N}$ точки $x = 0$, $\mathcal{N} \subseteq R^n$ такая что

а) $\varphi(t, x)$ – непрерывная по $(t, x) \in \mathcal{T}_\tau \times \mathcal{N}$, $\varphi(t, x) \in \mathbb{C}(\mathcal{T}_\tau \times \mathcal{N})$;

б) существует функция $\varepsilon(t) > 0$ такая, что $\varphi(t, x)$ не меньше $\varepsilon(t)$ на $\mathcal{N}$, $\varphi(t, x) \geq \varepsilon(t) > 0,$ при всех $(t, x) \in \mathcal{T}_\tau \times \mathcal{N}$;

в) $\varphi(t, 0) \geq \min \varphi(t, 0) = \varepsilon(t)$, $\forall t \in \mathcal{T}_\tau$;

2) строго положительной в целом на $\mathcal{T}_\tau$ если условия а) - в) определения 2 выполняются при $\mathcal{N} = R^n$;

3) строго отрицательной (в целом) на $\mathcal{T}_\tau$ (на $\mathcal{T}_\tau \times \mathcal{N}$) если $(-\varphi(t, x))$ – строго положительная (в целом) на $\mathcal{T}_\tau$ (на $\mathcal{T}_\tau \times \mathcal{N}$).

В приведенных определениях выражение « на $\mathcal{T}_\tau \times \mathcal{N}$ » опускается, если все соответствующие условия выполняются при всех $t \in R_+$.

Определение 3.3. Числа ε $(\min \varepsilon(t))$ в определении 3.1 (определении 3.2) называются порядком строгости строго положительной функции $\varphi(x)$ $(\varphi(t, x))$.

Второй параграф посвящен анализу устойчивости некоторых стационарных нелинейных КМС. Здесь нелинейная крупномасштабная система

$$\dot{x} = f(x) \tag{14}$$

где $x = (x_1, x_2, ..., x_n)^T \in R^n$, $f(x): R^n \to R^n$, $f(x) = (f_1(x), f_2(x), .., f_n(x))$, $f(0) = 0$, представлено в следующем виде

$$\dot{x} = A(x)x, \tag{15}$$

где $A(x) = \left(f_{ij}(x)\right)$, $i, j = 1,2,.., n$, $f_i(x) = \sum_{j=1}^{n} f_{ij}(x) x_j$, $j = 1,2,..., n$.

Заметим, что на основе полученных результатов в первом параграфе система (15) представляется в виде

$$\dot{x} = \left(\sum_{i=0}^{m} A_i \varphi_i(x) \right) x, \tag{16}$$

где $A_i = (a_{jl}^i)$, $j, l = 1,2,..., n$, $i = 0,1,2,..., m, \varphi_i(x)$, $i = 0,1,2,..., m$ строго положительные функция с порядком строгости $\varepsilon_i > 0$, $i = 0,1,2,..., m$ соответственно.

Для исследования устойчивости состояния равновесия $x = 0$ системы (16) вместе с этой системой рассматривается следующие системы

$$\dot{x} = A_i x, \quad i = 0,1,2,...,m. \tag{17}$$

В теореме 3.2 показано, что состояния равновесия $x = 0$ системы (16) и (17) одновременно будут устойчиво (асимптотической устойчиво) или неустойчиво.

Теорема 3.3 содержит достаточные условия устойчивости (асимптотически устойчивости) и неустойчивости состояния равновесия $x = 0$ системы (16).

В третьей параграфе результаты полученные в втором параграфе применяются к исследованию устойчивости нелинейных регулируемых систем

$$\begin{aligned} &\dot{x} = Ax + b\sigma + cf(\sigma), \\ &\dot{\sigma} = d^T x + r\sigma + qf(\sigma), \quad f(0) = 0 \end{aligned} \tag{18}$$

где $x \in R^n$, $\sigma \in R$, A - постоянная квадратная матрица n-го порядка, b, c, d - постоянные n-мерные векторы столбцы, r, q-отрицательные числа, непрерывная функция $f(\sigma)$ удовлетворяет условию

$$0 \le \frac{f(\sigma)}{\sigma} \le k, \quad k \in R^+ \tag{19}$$

Теорема 3.4 содержит достаточные условия устойчивости, асимптотической устойчивости и неустойчивости состояние равновесия $x = 0$ системы (18). В конце параграфа приведен численный пример.

Четвертый параграф посвящен исследованию устойчивости некоторых нестационарных КМС. Получены достаточные условия устойчивости, асимптотически устойчивости и неустойчивости состояния равновесия $x(t) = 0$ рассматриваемой системы. В конце параграфа проведено численный пример четвертого порядка.

В пятом параграфе приведен примеров исследования устойчивости систем автоматического регулирования. На основе результатов данной главы и оценки областей параметров системы, характеризующих область устойчивости нулевого решения.

В качестве первого примера рассмотрено система изодромного регулирования, описываемую уравнениями

$$\begin{aligned} &T^2\ddot{\varphi} + U\dot{\varphi} + k\varphi + \mu = \chi, \\ &\dot{\mu} = f(\sigma), \\ &G^2\ddot{\varphi} + E\dot{\varphi} + a\varphi + \frac{1}{N}\int_0^t \varphi dt - \frac{1}{N}\mu = \sigma. \end{aligned} \tag{20}$$

Здесь постоянная T^2 характеризует инерционность объекта регулирования, U естественное демпфирование, постоянные a, E, G, l характеризуют регулятор, постоянная χ - характеризует возмущающее воздействие внешней силы, постоянная N – изодромность регулятора, постоянная k характеризует действие так называемой восстанавливающей силы.

Второй формой канонического преобразования Лурье система уравнений (20) приведена к виду,

$$\begin{aligned} &\dot{x}_i = -\rho_i x_i + \sigma, \quad i = 1,2,...,n, \\ &\dot{\sigma} = \sum_{i=1}^{n} a_i x_i - p\sigma - f(\sigma), \end{aligned} \tag{21}$$

где $\rho_i > 0,\ p > 0,\ \sigma f(\sigma) > 0,$ при $\sigma \ne 0, \quad f(0) = 0.$

Для этой системы ограничениями на параметры, при которых состояние $y = 0$ (или $x = 0, \sigma = 0$) будет асимптотически устойчиво, имеет вид

$$|a_0| \le p\left(\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\rho_i}\right)^{-1}, \tag{22}$$

где $|a_0| = \max(|a_1|, |a_2|, ..., |a_n|)$.

В качестве второго примера рассмотрено продольного движение самолета, описываемую уравнениями

$$\begin{aligned} m\dot{V} &= P\cos\alpha - Q - G\sin\Theta, \\ mV\dot{\Theta} &= P\sin\alpha - G\cos\Theta + Y, \\ J_z\ddot{\vartheta} \ &= M_z, \end{aligned} \tag{23}$$

где m - масса самолета, α -уголь атаки, ϑ -угол тангажа, θ - угол наклона траектории, $\vec{V}$ - вектор воздушной скорости, $\vec{Y}$ - подъемная сила, $\vec{P}$ - сила тяга двигателей, $\vec{Q}$ -сила лобового сопротивления, $\vec{G}$ -сила тяжести, δ -угол отклонения рулей высоты, $\vec{M}_z$ -момент тангажа, вращающий самолет вокруг оси Oz, J_z -момента инерции самолёта относительно оси Oz. Ось Oz перпендикулярна к осям Ox и Oy.

В канонических переменных уравнения продольного движение самолета (23) приведены в работе,

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= -\rho_i x_i + \sigma, \\ \dot{\sigma} &= \sum_{i=1}^{4} \beta_i \mathrm{x_i} + rp_2\sigma - f(\sigma), \quad i = 1,2,3,4, \end{aligned} \tag{24}$$

где вещественные постоянные $\rho_i > 0, i = 1,2,3,4,\ r > 0,\ p_2 < 0,\ \sigma f(\sigma) > 0$ или $\dfrac{f(\sigma)}{\sigma} > 0$, $\rho = \min(\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4)$.

Учитывая неравенство

$$\sum_{i=1}^{4} \frac{\left(1 + \dfrac{\beta_i}{|\beta|}\right)^2 |\beta|}{4\rho_i} \le |\beta| \sum_{i=1}^{4} \frac{1}{\rho_i}.$$

получим достаточное условия асимптотической устойчивости состояния равновесия $y = 0$ системы (24) в следующем виде

$$|\beta| \le |p_2| r \left(\sum_{i=1}^{4} \frac{1}{\rho_i} \right)^{-1}, \tag{25}$$

где $|\beta| = \max(|\beta_1|, |\beta_2|, |\beta_3|, |\beta_4|)$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Форма агрегирования КМС имеет существенное значение для получения эффективных условий устойчивости ее решений. Суть метода агрегирования состоит в замене исходной КМС системой меньшей размерности таким образом, чтобы решения исходной и полученной систем находилась во взаимно однозначном соответствии.

Анализ КМС в большинстве практически важных случаев сопряжен с определенными трудностями при исследовании их динамических свойств. Поэтому обоснованным является направление, связанное с таким упрощением системы или заменой иной системой, при которым свойство устойчивости (неустойчивости) устанавливается не непосредственно, а путем исследования этой промежуточной системы.

Целю данной диссертации является исследование устойчивости состояния равновесия некоторых КМС с помощью вспомогательных линейных систем. С этой целью в работе введено понятие обобщенного транспонирования матриц и соответственно к этому анализируются различные виды симметрических матриц. На этот основе изложены подходы для исследования устойчивости нестационарных линейных КМС и нелинейных КМС, которые позволяют заменить исходную КМС некоторыми вспомогательными линейными системами.

Итак, в данной диссертации:

а) введено понятия обобщенного транспонирования матриц и исследованы их свойства обсуждается геометрический и механический смысл обобщенного транспонирования;

б) установлено соответствие между структурой матрицы и структурой крупномасштабной системы:

в) соответственно обобщенному транспонированию матриц установлены различные виды симметрических матриц;

г) методом матриц–функций Ляпунова установлены достаточные условия устойчивости линейных крупномасштабных систем, декомпозируя их относительно вертикальной и горизонтальной оси симметрии матриц (КМС) и относительно уравновешивающихся подсистем;

д) для исследовании устойчивости линейных нестационарных крупномасштабных систем предложен подход, приводящий к исследованию некоторого набора линейных стационарных крупномасштабных систем;

е) для исследовании устойчивости нелинейных крупномасштабных систем предложен подход, приводящий к исследованию устойчивости нескольких линейных стационарных крупномасштабных систем;

ж) получены достаточные условия асимптотической устойчивости состояние равновесия нелинейных регулируемых систем;

з) определены оценки области значений параметров, для систем описывающие продольное движение самолета и изодромного регулятора при которых состояние равновесия $x = 0,\ \sigma = 0$ асимптотически устойчиво.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Мартынюк А.А, Миладжонов В.Ғ., Муллажонов Р.В., К теории устойчивости стационарных линейных крупномасштабных систем, Илмий хабарнома, АДУ, 2009/ № 3, ст. 3.

2.Мартынюк А.А., Муллажонов Р.В. К теории устойчивости стационарных линейных крупномасштабных систем. // Прикладная механика.-2010, 46,-№4.

3.Мартынюк А.А., Муллажонов Р.В. Об одном методе исследования устойчивости нелинейных крупномасштабных систем. // Прикладная механика.- , - № . – С.

4. Мартынюк А.А., Муллажонов Р.В. Анализ устойчивости нелинейных регулируемых систем. // Прикладная механика.

5.Миладжанов В. Г., Муллажонов Р.В. Об одном методе анализа устойчивости линейных крупномасштабных систем. // Проблемы механики. № 2-3. Ташкент – 2009.

6.Миладжанов В. Г., Муллажонов Р.В., К Теории устойчивости орбитальной обсерватории при гироскопической стаблизации., Конф.тез. Андижан 2001 г.

7.Миладжанов В. Г., Муллажонов Р.В., Достаточные условия асимптотической устойчивости КМС при структурных возмущениях, XXI аср фани муаммолар ва ечимлар Андиждан 2002 г.

8. Миладжанов В. Г., Муллажонов Р.В., Достаточные условия абсалютное устойчивости крупномасштабных систем при структурных возмущуениях., Фан ва амалиёт Андижан 2004 г.

9.Миладжанов В. Г., Муллажонов Р.В., Анализ устойчивости динамической системы на основе матриц–функций Ляпунова. Известия вузов Бишкек 2005 г.

10. Миладжанов В. Г., Муллажонов Р.В., Миладжонов К.В., Турғунлик назариясини ўрганишда Ляпунов матрица–функцияси усулидан фойдаланиш, Узлуксиз таълим тизимида математика фанини ўқитишни такомиллаштириш масалалари Андижон 2006 й.

11. Миладжанов В. Г., Муллажонов Р.В., Абдугаппарова Ш., Ляпунов матрица функцияси ёрдамида нейрон торлар системасини турғунлигини текшириш, Ёш математикларнинг янги теоремалари- Наманган ,2006 й.

12.Муллажонов Р.В., Абдугаппарова Ш., Динамик системалар турғунлигини Ляпунов матрица–функцияси усули ёрдамида текшириш, Илмий хабарнома, АДУ, 2006 й, № 1-2.

13.Муллажонов Р.В., Абдугаппарова Ш., Динамик системалар турғунлигин текшириш, Илмий ва услубий тадқиқотдан амалиётга, Андижон, 2007 й.

14. Муллажонов Р.В., Абдугаппарова Ш, Транспонирланган ва симметрик матрицалар, Илмий хабарнома, АДУ, 2009/ № 1.

15.Муллажонов Р.В., Каримжонов А., Анализ устойчивости нестационарные линейных КМС, Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий-Аль Хорезми 2009, том №1. Ташкент 2009 г.

16. Муллажонов Р.В. Обобщенное транспонирование матриц и структуры линейных крупномасштабных систем // Доп.НАН Украини – 2009. - №11.

17.Муллажонов Р.В., Анализ устойчивости линейных крупномасштабных систем. // Проблемы механика. № . Ташкент – 2010 г.

18. Муллажонов Р.В., Анализ устойчивости нелинейных регулируемых систем, Ёш математикларнинг янги теоремалари- Наманган, 2010 й.

Физика-математика фанлари номзоди илмий даражасига талабгор Р.В.Муллажоновнинг 01.02.01 – «Назарий механика» ихтисослиги бўйича **«Айрим йирик масштабли системалар турғунлигининг тахлили»** мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч сўзлар: матрица, транспонирлаш, симметрия, ҳаракат, турғунлик, асимптотик турғунлик, турғунмаслик, йирикмасштабли система, Ляпуновнинг тўғри усули, Ляпуновнинг матрица-функция усули, декомпозиция, изодром регулятор, чизиқсизлик, структура, қатъий мусбат функция, қатъий мусбатлик тартиби.

Тадқиқот объектлари: бажарилган иш назарий характерга эга. Бу ерда чизиқли ва чизиқсиз йирик масштабли системалар, изодром регулятор ва самалётнинг илгариланма ҳаракатларининг математик моделлари кўриб чиқилади.

Ишнинг мақсади: чизиқли ва чизиқсиз йирик масштабли системалар мувозанат ҳолати турғунлиги (асимптотик турғунлиги) ва турғунмаслиги критерийлари ишлаб чиқилида.

Тадқиқот усуллари: Ляпуновнинг тўғри усули, Ляпуновнинг матрица функция усули ва назарий механиканинг бирқанча усуллари, ҳаракат турғунлиги назарияси.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: диссертация натижаларидан олинган илмий янгилик қуйидагича: янги тушунча, умумлашган транспонирланган матрицалар ва уларнинг хоссалари киритилди; чизиқли йирикмасштабли системалар структурасининг тахлили берилди; чизиқли йирикмасштабли системалар мувозанат холати турғунлигининг етарли шартлари хосил қилинди; чизиқсиз йирикмасштабли системалар турғунлигининг етарли шартлари ўрнатилди; чизиқсиз тўғриланувчи системалар турғунлигининг етарли шартлари олинди; изодром регуляторининг ва самалётнинг илгариланма ҳаракатлари турғунлигининг янги етарли шартлари топилди.

Ишнинг амалий аҳамияти: олинган натижаларни амалий қўлланилиши, изодром регулятор ва самалётнинг илгариланма ҳаракатининг асимптотик турғунлигини ўрганиш йўли билан, шунингдек, қатор сонли мисолларни мухокама қилиш йўли билан исботланади.

Тадбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: Усуллар ва олинган натижалар кенг доирадаги механик системалар турғунлиги масаласини ечиш учун қўлланилиши мумкин. Иш назарий ахамиятга эга бўлиб, йирик масштабли системалар орқали ифодаланувчи механик системалар турғунлигини чуқур ўрганиш имкониятини беради.

Қўлланилиш соҳаси:диссертациянинг асосий натижалари назарий характерга эга. Уларни хар-хил механик системалар турғунлигини текшириш учун қўллаш мумкин. Бу изодром регулятор ва самалётнинг илгариланма ҳаракатининг асимптотик турғунлигини ўрганиш йўли билан, шунингдек, қатор сонли мисолларни мухокама қилиш йўли билан исботланади.

РЕЗЮМЕ

Диссертации Рустамжона Муллажонова на тему “Анализ устойчивости некоторых крупномасштабных систем” представленной на соискание ученой степени кандидата физика-математических наук по специальности “01.02.01-Теоритического механика”

Ключевые слова: матрица, транспонирование, симметрия, движения, устойчивость, асимптотической устойчивости, неустойчивость, крупномасштабная система, прямой метод Ляпунова, метод матрица-функция Ляпунова, декомпозиция, изодромный регулятор, нелинейность, структура, строго положительная функция, порядок строго положительности.

Объект исследования: Выпольненная работа имеет теоретический характер. Здесь рассматривается математические модели линейной и нелинейной КМС, изодромного регулятора и продольной движения самолета.

Цель работы: Разработка критериев устойчивости (асимптотической устойчивости) и неустойчивости состояние равновесия линейных и нелинейных крупномасштабных систем. Приложение полученных результатов к задачам устойчивости изодромного регулятора и продольного движения самолета.

Методы исследования: прямой метод Ляпунова, метод матрица-функция Ляпунова и некоторые методы теоретической механики, теории устойчивости движения.

Полученные результаты и их новизна: Научная новизна полученных результатов диссертации заключается в следуюшем: ведено новое понятие обобщенной транспонирование матриц и исследовано их своств; дано анализ структуры линейных КМС; получены достаточное условия устойчивости состояние равновесия линейных КМС; установлены достаточные условия состояние равновесия нелинейной КМС; получено достаточные условия устойчивости нелинейных регулируемых систем; найдены новые достаточные условия устойчивости изодромного регулятора и продольного движения самалета.

Практическая значимость: практическая применимость полученных результатов доказана путем исследования асимптотической устойчивости изодромного регулятора и продольного движения самолета, а также путем разбора ряда модельных примеров.

Степень внедрения и экономическая эффектность: Методики и полученные результаты могут быть внедрены для решений задачи устойчивость широкого класса механических систем. Работа носит теоретический характер, полученные результаты диссертации позволяют более глубоко исследовать устойчивости механических систем моделируемых крупномасштабными системами.

Область применения: основные результаты диссертации имеют теоретической характер. Их можно применит для исследование устойчивости различных механических систем. Это доказана путем исследования асимптотической устойчивости изодромного регулятора и продольного движения самолета, а также путем разбора ряда модельных примеров.

RESUME

Thesis of Mullajonov R.V. on the scientific degree competition of the candidate of sciences in physic-mathematical on speciality 01.02.01-Theoretical mechanics, subject: «**Analysis stability of some large-scale systems**».

Key words: the matrix, rearrangement, symmetry, movements, stability, asymptotic stability, instability, large-scale system, direct method of Lyapunovs, method matrix - function Lyapunov, decomposition, izodroms a regulator, nonlinearity, structure, strictly positive function, order is strict positively.

Subjects of research: The job has theoretical Character. Here is considered (examined) mathematical models linear and nonlinear large-scale system, izodrom of a regulator and longitudinal movement plane.

Purpose of work: development of criteria of stability (asyptotic stability) and instability a condition of balance of linear and nonlinear large-scale systems. The application of the received results to tasks of stability izodrom of a regulator and longitudinal movement of the plane

Method of research: Direct method Lyapunovs, method a matrix Function Lyapunovs and some methods of the theoretical mechanics, theory of stability of movement.

The results achieved and their novelty: the scientific novelty of the received results of the dissertation consists in the following: the new concept generalized transpontions of matrixes is entered and is investigated of their properties; the analysis of structure linear large – scale systems is given: the sufficient conditions of stability a condition of balance linear large – scale systems are received; the sufficient conditions a condition of balance nonlinear large – scale systems are established; is received sufficient conditions of stability of nonlinear adjustable systems; the new sufficient conditions of stability izodrom of a regulator and longitudinal movement of the plane are found.

Practical value: practical applicability received results is proved by research asymptotic stability izodrom of a regulator and longitudinal movement of the plane, and also by analysis of a number(line) of modelling examples.

Degree of embed and economic effectivity: techniques and the received results can be introduced for the decisions of a task stability of a wide class of mechanical systems. The job carries theoretical character the received results of the dissertation allow more deeply to investigate stability of mechanical systems simulated by large-scale systems.

Sphere of usage: the basic results of the dissertation have theoretical character. Them it is possible will apply to research of stability of various mechanical systems. It is proved by research asymptotic stability izodrom of a regulator and longitudinal movement of the plane, and also by analysis of a number (line) of modelling examples.