На правах рукописи

ШЕМЕЛОВА ОЛЬГА ВАСИЛЬЕВНА

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ С ПРОГРАММНЫМИ СВЯЗЯМИ

Специальность 01.02.01 -теоретическая механика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Москва 2005

Работа выполнена на кафедре математики и информатики Нижнекамского химико-технологического института Казанского государственного технологического университета

Научный руководитель — доктор физико-математических наук профессор Мухарлямов Р.Г.

Официальные оппоненты: — доктор физико-математических наук, профессор Журавлев С.Г.
кандидат физико-математических наук, доцент Бендик М.М.

Ведущая организация — Институт проблем механики Российской Академии Наук

Защита состоится « 9 » июня 2005 г. в 15^{30} часов на заседании диссертационного совета К 212.203.01 в Российском университете дружбы народов по адресу: 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3, зал № 1

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Российского университета дружбы народов по адресу: 117198, г.Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Автореферат разослан «3» мая 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета К 212.203.01
кандидат физико-математических наук — Чехлова Т.К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Среди разнообразных явлений различной физической природы нередко можно встретить похожие явления, обнаруживающие одинаковые признаки и закономерности. В таких случаях говорят о физических аналогиях, или аналогичных системах. При построении математических моделей существенное значение приобретает систематизация физических величин, характеризующих кинематику и динамику исследуемого процесса. Этой проблемой занимаются ученые, начиная с XIX века. В 30-х годах XX века быстрое развитие получила *теория физических (динамических) аналогий,* которая в основу систематизации физических величин положила основное уравнение движения, или, как его еще называют, *уравнение динамики,* откуда и появился термин "динамические аналогии". Физические аналогии предполагали механическое прямолинейное, механическое вращательное движение, акустические и электрические процессы. Они получили широкое практическое применение, особенно в прикладной акустике, в теории электрических и механических цепей, в аналоговой вычислительной технике. В дальнейшем теория физических аналогий была распространена и на гидродинамику малых скоростей и давлений.

Исследование динамических аналогий с общей точки зрения было проведено американским акустиком Г. Ольсоном (1943). Основными физическими величинами в его работе предполагались механические показатели: масса, длина и время, имеющие соответствующие аналоги для электрических и акустических систем.

Методы, основанные на применении аналогий, в ряде случаев оказываются весьма плодотворными при решении задач. Они позволяют использовать методы аналитической механики для исследования систем различной физической природы. Моделирование систем различной физической природы представляет собой построение аналитических выражений, которые в полной мере описывают изменение свойств фазового состояния таких систем. При моделировании различных явлений можно встретиться с полным или частичным совпадением математических моделей, описывающих поведение объектов различной физической природы. В науке рассматривается множество таких аналогий.

В диссертации рассмотрены задачи, решение которых позволило выработать некоторые новые подходы к моделированию управления систем различной физической природы. Построение методов анализа таких систем требует некоторой систематической классификации физических составляющих объектов и процессов.

В теории систем управления возникает необходимость исследования устойчивости динамики систем относительно уравнений связей. Исследование проблем устойчивости является традиционным разделом математики.

Исследованиями устойчивого или неустойчивого движения механической системы и построением устойчивых механических систем занимались многие механики и математики. Это вызвано, прежде всего, большой важностью понятия устойчивости для прикладных наук. Трудами Н.Е. Жуковского, А.М. Ляпунова, А. Пуанкаре были созданы основные методы современной теории устойчивости. В настоящее время теория устойчивости является таким разделом теоретической механики, методы которого применимы для исследования устойчивости не только механических систем, но и систем другой физической природы.

Для решения проблем, возникающих при разработке методов, требуется широкий системный подход ко всему комплексу решаемых задач. Актуальность предложенных методов обусловлена тем, что они применимы к широкому классу систем.

<u>Объект исследования.</u> Моделирование и управление динамикой систем различной физической природы.

<u>Предмет исследования.</u> Системы, составленные из элементов различной физической природы.

<u>Цель диссертации:</u>

1. Анализ способов систематизации физических величин, характеризующих кинематическое состояние и динамические показатели систем различной физической природы.

2. Изучение возможностей применения методов аналитической механики для исследования динамики систем различной физической природы.

3. Построение уравнений динамики систем различной физической природы с голономными и неголономными программными связями в обобщенных координатах и в канонических переменных.

4. Определение условий стабилизации связей, определяющих программное изменение свойств фазового состояния систем различной физической природы.

5. Приведение кинематических соотношений и уравнений динамики систем различной физической природы к соответствующей системе дифференциально-алгебраических уравнений.

6. Разработка методов моделирования динамики электромеханической системы, обеспечивающих стабилизацию.

Методы исследования. В диссертации использовались методы классической и аналитической механики, теории устойчивости движения, численные методы и методы компьютерной алгебры.

Научная новизна. Разработаны методы моделирования динамики систем различной физической природы. Разработан эффективный в вычислительном плане метод составления уравнений динамики систем различной физической природы в форме уравнений Лагранжа и уравнений Гамильтона, обеспечивающих стабилизацию связей. Для интегрирования уравнений динамики разработаны эффективные алгоритмы, которые обеспечивают выполнение условий устойчивости. Разработан алгоритм моделирования динамики электромеханической системы, обеспечивающий устойчивость численного решения уравнений динамики.

Теоретическая и практическая ценность работы. Работа носит теоретический характер. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего развития качественной теории исследуемых задач. А также при исследовании устойчивости динамики электромеханических систем аналитическими и численными методами, в механике управляемого движения, при решении задач управления динамикой систем различной физической природы, роботами-манипуляторами, транспортными и космическими системами.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались:

- на XXXVIII - XLI Всероссийских научных конференциях по проблемам математики, информатики, физики, химии и методики преподавания естественнонаучных дисциплин (Москва, Российский университет дружбы народов, 2002 - 2005 г.г.);

- на межрегиональной научно-практической конференции "Инновационные процессы в области образования, науки и производства" (Нижнекамск, Нижнекамский химико-технологический институт, 2004 г.);

- на международной научной конференции "Актуальные проблемы математики и механики" (Казань, Казанский государственный университет, 2004 г.).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в работах **[1-10].**

Структура и объем работы. Работа состоит из оглавления, введения, четырех глав и заключения, а также списка литературы, включающего в себя 74 наименования. Диссертация изложена на 130 страницах машинописного текста, содержит 39 рисунков и 10 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы, отмечены ее научная новизна и практическая значимость. Дан сжатый обзор литературы, относящейся к теме диссертации. Также во введении кратко излагается содержание работы по главам, и приводятся основные результаты, полученные в диссертации.

В первой главе приводится обзор понятий и определений, необходимых для описания кинематики и динамики систем различной физической природы.

Определенные динамические аналогии, описанные в известной работе Г. Ольсона, позволяют использовать положения аналитической механики для описания динамики систем различной физической природы. В последние годы появился цикл работ, направленных на создание единой теории динамических аналогий (И.Коган, 1998г.). Наиболее полное определение общих понятий, описывающих процессы в системах различной физической природы, дано в работе Р. Лейтона (1998 г.). Они определяют унифицированное множество переменных. Исходными переменными являются перемещение *q(t),* расход *f(t),* импульс *p (t)* и усилие *e (t)*. Выражения унифицированных переменных для некоторых физических систем приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Унифицированные множества переменных для физических систем

Усилие e	Расход f	Перемещение q	Импульс p
Сила F	Скорость v	Положение x	Количество движения p
Вращающий момент τ	Угловая скорость ω	Угол θ	Момент количества движения H
Напряжение e	Сила тока i	Заряд q	Магнитный поток λ
Давление P	Скорость течения материала Q	Объем γ	Давление импульса p_p

Унифицированные переменные позволяют перенести выражения основных динамических показателей механических систем на системы различной физической природы. Наряду с понятием кинетической энергии $T(p)=\dfrac{p^2}{2m}$

предлагается использовать понятие кинетической коэнергии $T^*(f)=\frac{mf^2}{2}$. Определяются понятия потенциальной энергии и коэнергии соответственно:

$$V(q)=\frac{1}{2}kq^2, \qquad V^*(e)=\frac{e^2}{2k},$$

и понятия диссипативной функции и кофункции:

$$D(f)=\frac{1}{2}kf^2, \qquad G(e)=\frac{e^2}{2k}.$$

Для каждой кинематической и динамической характеристики приведены таблицы, в которых данная характеристика формально представлена для систем различной физической природы. Все зависимости между переменными унифицированного множества можно представить в виде диаграммы Пойнтера (рис.1).

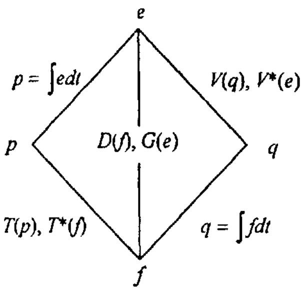

РИСУНОК 1. Диаграмма Пойнтера, показывающая зависимости между обобщенными переменными

Вводятся понятия связей: наряду с ограничениями, накладываемыми на перемещения и расходы систем, вводятся ограничения, накладываемые на усилия систем различной физической природы, а также понятие динамических связей. Все необходимые понятия, описывающие изменения свойств фазового состояния вводятся с точки зрения систем различной физической природы.

Во второй главе составляются дифференциально-алгебраические уравнения динамики систем различной физической природы в форме уравнений Лагранжа:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T^*}{\partial \dot q}-\frac{\partial T^*}{\partial q}+\frac{\partial V}{\partial q}+\frac{\partial D}{\partial \dot q}+\Phi_q^T\kappa+\Psi_{\dot q}^T\mu=Q, \tag{1}$$

где $q=(q_1,\dots,q_n)$ - вектор координат перемещений размерности *n*, $\dot q=(\dot q_1,\dots,\dot q_n)$ - вектор координат расхода или обобщенных скоростей; T^* - кинетическая коэнергия системы любой физической природы; V - потенциальная энергия такой же системы; D - диссипативная функция; Q - обобщенные силы.

При этом на координаты перемещения и расходов накладываются ограничения, удовлетворяющие следующим m_1 голономным и m_2 неголономным связям:

$$\Phi_i(q,t)=0, \qquad i=1,\dots,m_1, \tag{2}$$

$$\Psi_i(\dot{q},q,t)=0, \qquad i=1,\dots,m_2, \tag{3}$$

а также справедливо

$$\Phi_q=\left(\frac{\partial\Phi_i}{\partial q_j}\right), \qquad \Psi_{\dot{q}}=\left(\frac{\partial\Psi_i}{\partial\dot{q}_j}\right), \qquad j=1,\dots,n, \tag{4}$$

Полученные уравнения динамики содержат также векторы неопределенных множителей Лагранжа $\kappa=\left(\kappa_1,\dots,\kappa_{m_1}\right)$ и $\mu=\left(\mu_1,\dots,\mu_{m_2}\right)$, для определения которых к уравнениям (1) добавляются уравнения связей (2), (3). Для стабилизации связей (2), (3) следует ввести уравнения программных связей:

$$\Phi(q,t)=y(t), \tag{5}$$

$$\Psi(q,\dot{q},t)=z(t). \tag{6}$$

Правые части $y(t)$, $z(t)$ равенств (5), (6) определяются как решения дифференциальных уравнений

$$\ddot{y}=g(\dot{y},y,z,\dot{q},q,t), \qquad \dot{z}=h(\dot{y},y,z,\dot{q},q,t), \tag{7}$$

$$g\left(0,0,0,\dot{q},q,t\right)=0, \qquad h\left(0,0,0,\dot{q},q,t\right)=0.$$

Уравнения (7) должны быть рассмотрены совместно с уравнениями динамики и начальными условиями

$$q(t_0)=q_0, \qquad \dot{q}(t_0)=\dot{q}^0,$$

$$y(t_0)=\Phi^0, \qquad \dot{y}(t_0)=\dot{\Phi}^0,$$

$$z(t_0)=\Psi^0.$$

Равенства (5), (6) составляют *уравнения программных связей.* Уравнения (7) являются *уравнениями возмущений связей.*

Кроме того, к уравнениям динамики (1) добавляются m_3 ограничений, накладываемых на усилия системы, для разрешения уравнений динамики относительно неявных усилий e^γ. А, учитывая наличие возможных динамических связей, к системе (1) также необходимо добавить m_4 уравнений динамических связей:

$$\begin{aligned} \gamma_k\left(e^\gamma, s, \dot{q}, q, t\right) &= 0, \qquad & k &= 1,\dots,m_3, \\ \dot{s}_k - \lambda_k\left(e^\gamma, s, \dot{q}, q, t\right) &= 0, \qquad & k &= 1,\dots,m_4. \end{aligned} \tag{8}$$

После дифференцирования и введения обозначений

$$M(\dot{q},q,t) = \nabla_{\dot{q}}^2 T^*,$$

$$S(\dot{q},q,t) = Q - (\nabla_{\dot{q}}T^*)_q \dot{q} - (\nabla_{\dot{q}}T^*)_t + \nabla_q T^* - \nabla_q V - \nabla_{\dot{q}} D \tag{9}$$

систему уравнений (1) можно представить в виде:

$$M\ddot{q} + \Phi_q^T \kappa + \Psi_{\dot{q}}^T \mu = S. \tag{10}$$

Уравнение (10) вместе с уравнениями программных связей (5), (6) и ограничениями (8) известно как *ДАУ в форме Лагранжа.* Для систематической формулировки и решения ДАУ Лагранжа удобнее всего преобразовать это множество из 2л ОДУ к двум множествам из *n* ОДУ первого порядка. В этом случае вводится вектор координат расхода $f = \dot{q}$ (как вектор новых переменных), которыми заменяются все выражения $\dot{q}$ через / в уравнениях динамики. Окончательно ДАУ имеет вид:

$$\begin{aligned} &\dot{q} = f, \\ &M\dot{f} + \Phi_q^T \kappa + \Psi_f^T \mu = S, \\ &\Phi = y, \qquad \Psi = z, \\ &\Gamma = 0, \qquad \dot{s} - \Lambda = 0. \end{aligned} \tag{11}$$

Эта система уравнений характеризуется *n* явными относительно *q* ОДУ первого порядка, *n* неявными относительно/линейными ОДУ первого порядка $m_1 + m_2$ уравнениями программных связей, m_3 уравнениями связей, накладываемых на усилия системы и m_4 уравнениями динамических связей. Переменными состояния являются $q(t)$ и $f(t)$, а вектор решений определяется как:

$$\begin{aligned} x(t) = \big(&q_1(t),\dots,q_n(t), f_1(t),\dots,f_n(t), \kappa_1(t),\dots,\kappa_{m_1}(t), \\ &\mu_1(t),\dots,\mu_{m_2}(t), e_1^\gamma(t),\dots,e_{m_3}^\gamma(t), s_1(t),\dots,s_{m_4}(t)\big). \end{aligned} \tag{12}$$

Уравнения динамики в форме Лагранжа (11) преобразовывается к виду, разрешенному относительно старших производных. В этой главе представлен алгоритм и конечные формулы данного преобразования. Но такие преобразования можно провести только в том случае, если для матрицы $M(\dot{q},q,t)=\nabla^2_{\dot{q}}T^*$ существует обратная матрица. Представление системы уравнений связей и уравнений динамики в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с известными частными интегралами позволяет использовать стандартные численные методы решения уравнений динамики.

Аналогично получаются и решаются уравнения Гамильтона с векторами неопределенных множителей κ и μ. В таких уравнениях динамики в качестве новых переменных вместо обобщенных расходов $\dot{q}_1,\dot{q}_2,\ldots\dot{q}_n$ принимаются обобщенные импульсы:

$$p_1=\frac{\partial L}{\partial\dot{q}_1},\quad p_2=\frac{\partial L}{\partial\dot{q}_2},\quad \ldots\quad,\quad p_n=\frac{\partial L}{\partial\dot{q}_n}. \tag{13}$$

И уравнения динамики в форме Гамильтона приводятся к виду:

$$\begin{aligned}
&\dot{q}=\nabla_p H,\\
&\dot{p}+\Phi_q^T\kappa+\Psi_{\dot{q}}^T\mu=Q_1,\\
&\Phi=y, \qquad \Psi=z,\\
&\Gamma=0, \qquad \dot{s}-\Lambda=0.
\end{aligned} \tag{14}$$

где $Q_1=Q-\nabla_q H-\nabla_{\dot{q}}D$, $H=\sum_{i=1}^{n}p_i\dot{q}_i(q,p,t)-L(q,\dot{q}(q,p,t),t)$ - функция Гамильтона.

В §1.2 представлен метод выражения коэффициентов из уравнений динамики систем в форме уравнений Лагранжа II рода, а также из уравнений динамики в форме уравнений Гамильтона (§2.3). В этом случае к полученным уравнениям можно применить численные методы решения. Рассматриваются некоюрые примеры составления дифференциально-алгебраических уравнений динамики систем различной физической природы (механической, электрической).

В третьей главе рассматриваются системы различной физической природы с голономными и неголономными связями, динамика которых описывается системой дифференциальных уравнений второго порядка. В § 2 формулируются условия устойчивости, асимптотической устойчивости, а также неустойчивости при изменении свойств фазового состояния таких систем. Аналогами этих условий являются теоремы Ляпунова об устойчивости, а также теоремы об устойчивости интегрального многообразия [1].

Для исследования условий устойчивости строится функция Ляпунова, которая включает уравнения возмущений связей. Производная функции Ляпунова приводится к виду, для которого необходимо определить условия знакоопределенности. Подбирая коэффициенты матрицы $P(\bar{x},t)$ можно добиться выполнения условий асимптотической устойчивости динамики систем различной физической природы. Полученные условия асимптотической устойчивости используются для решения задачи управления динамикой электромеханической системы.

В четвертой главе ставится задача моделирования и решения уравнений динамики системы, включающей элементы механической и электрической природы (рис.2). Для работы схемы блок питания обеспечивает подачу электрической мощности двигателю переменного тока. Переменный ток через выпрямитель подается в двигатель постоянного тока, который, в свою очередь, управляет работой кривошипно-шатунного механизма, расположенного в однородном поле силы тяжести.

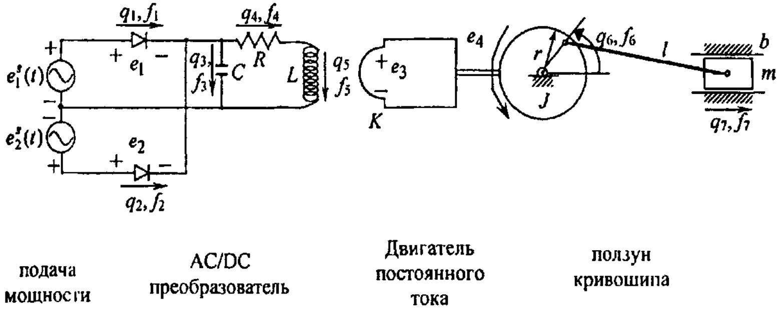

РИСУНОК 2. Электромеханическая система.

Требуется построить и решить уравнения динамики данной системы в форме уравнений Лагранжа, обеспечивающих устойчивость многообразия, определенного уравнениями связей.

[1] *Мухарлямов Р.Г.* Уравнения движения механических систем: Учеб. пособие - М: Изд-во РУДН, 2001.-99 с: ил

На схеме (рис.2) отмечены все необходимые постоянные:

m - масса ползуна, J- момент инерции,

b - коэффициент трения, L - индуктивность катушки,

l- длина кривошипа, R - сопротивление резистора,

r - радиус, С - емкость конденсатора.

K-постоянная вращающего момента двигателя,

В качестве переменных состояния принимается универсальная пара переменных $\{q, f\} = (q_1, \ldots, q_7, f_1, \ldots, f_7)$, где q_i - обобщенные перемещения, f_i - обобщенные расходы.

С учетом всех кинематических и динамических характеристик системы, включающей элементы механической и электрической природы, были построены уравнения динамики в форме Лагранжа с голономными и неголономными связями и ограничениями усилий. Особенностью полученных уравнений динамики (11) является то, что для матрицы M, входящей в эти уравнения не существует обратной матрицы. Поэтому использовать алгоритм приведения системы к виду, разрешенному относительно старших производных, представленный в главе II невозможно. Но при этом приведение системы уравнений динамики к системе дифференциально-алгебраических уравнений позволило сократить их количество. В результате была получена система дифференциальных уравнений, разрешенных относительно старших производных, которая содержит 9 уравнений с 9 неизвестными.

Вывод и решение системы дифференциальных уравнений проводилось с помощью интегрированной системы компьютерной символьной математики MAPLE 7, которая позволяет автоматизировать математические вычисления - как численные, так и символьные. Решение системы дифференциально-алгебраических уравнений и построение фазовых портретов были осуществлены с помощью графической функции phaseportrait методом Эйлера с шагом h =0,01.

Проведение численных экспериментов, которые заключаются в подборе постоянных коэффициентов, в системе MAPLE дало следующие *результаты*.

На рис.3 представлен график голономной связи $q_7(q_6)$:

$$(q_7 - r\cos q_6)^2 + (r\sin q_6)^2 = l^2.$$

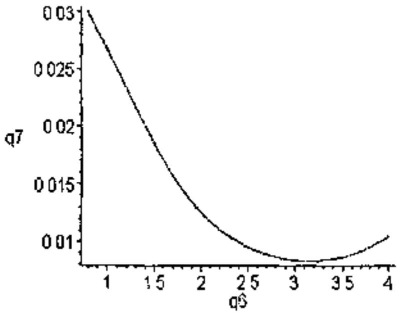

РИСУНОК 3.

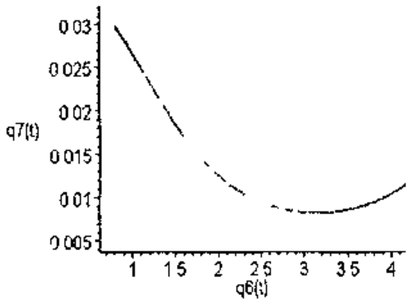

РИСУНОК 4.

В ходе численных экспериментов были подобраны значения элементов $C_{01} = 0,5$ и $K_{01} = 5,1$. В итоге были получены следующие графические зависимости При решении уравнений в системе MAPLE график зависимости $q_7(q_6)$ принял вид, представленный на рис 4 Графические зависимости $q_6(t)$ и $f_6(t)$ представлены на рис.5, 6 соответственно Графики для зависимостей $q_7(t)$ и $f_7(t)$ имеют вид, представленный на рис 7, 8. Фазовые портреты решения уравнений динамики для переменных $f_5(q_5), f_6(q_6), f_7(q_7)$ изображены на рис 9, 10, 11 соответственно На рис.12 показан график зависимости $q_3(t)$

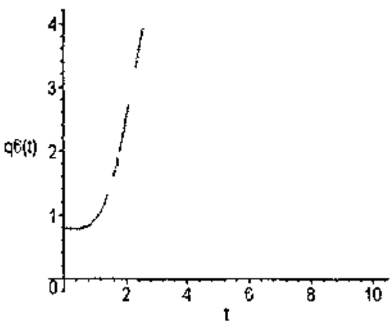

РИСУНОК 5.

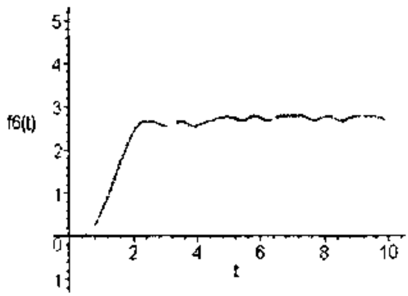

РИСУНОК 6.

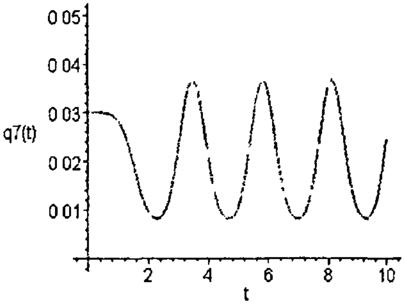

РИСУНОК 7.

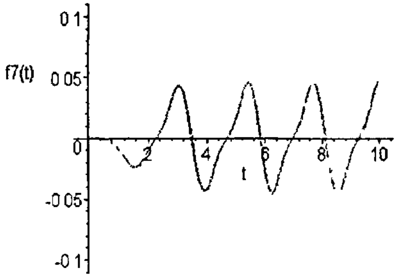

РИСУНОК 8.

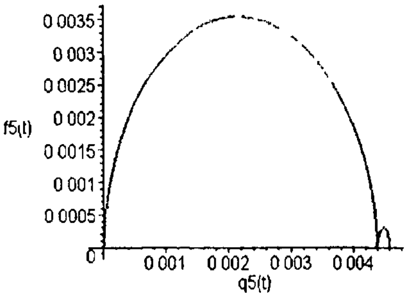

РИСУНОК 9.

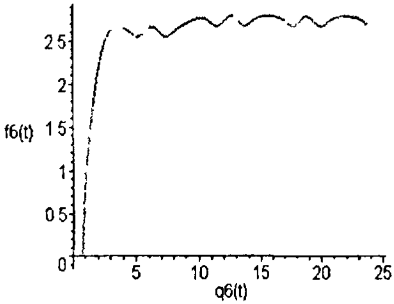

РИСУНОК 10.

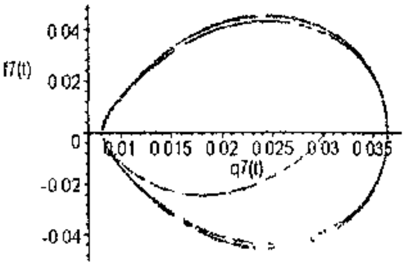

РИСУНОК 11.

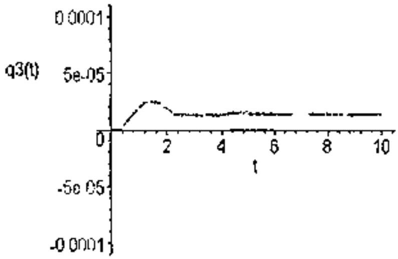

РИСУНОК 12.

Графическая иллюстрация решений дифференциальных уравнений динамики данной электромеханической системы позволяет сделать вывод о том, что выходные графические зависимости и фазовые портреты заданных физических величин являются вполне характерными для такого рода задач. Кроме того, сравнение графиков, представленных на рис.3 и рис.4 говорит о том, что для величин q_6, q_7 решение является устойчивым Об этом можно судить, так как результат вычислений, представленный на рис.4 свидетельствует о совпадении с достаточной точностью траектории $q_7(q_6)$ с кривой, соответствующей уравнению связи (рис.3).

Как показали численные эксперименты, изменение начальных условий и дальнейший подбор постоянных коэффициентов дают вполне устойчивую картину для кривых, построенных в других численных пределах.

<u>На защиту выносятся следующие основные результаты:</u>

1. Проведен анализ определений унифицированного множества физических величин, характеризующих кинематическое состояние и динамические показатели систем различной физической природы.

2. Разработан метод модификации уравнений динамики систем различной физической природы, обеспечивающих стабилизацию связей.

3. Разработан алгоритм приведения уравнений динамики систем различной физической природы к дифференциально-алгебраическим уравнениям с учетом стабилизации связей.

4. Сформулированы условия устойчивости многообразия, определяемого уравнениями связей различной физической природы.

5. Разработан метод решения задачи моделирования динамики электромеханической системы с особой матрицей кинетической коэнергии.

6. Проведен численный эксперимент решения задачи моделирования динамики электромеханической системы с голономными и дифференциальными связями

ПУБЛИКАЦИИ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Уравнения динамики управляемых систем // Тезисы докладов XXXVIII Всероссийской научной конференции по проблемам математики, информатики, физики, химии и методики преподавания естественнонаучных дисциплин. М, Изд-во РУДН, 2002 г., С. 63.

2. Уравнения динамики управляемых систем // Вестник Российского университета дружбы народов, сер. Прикладная математика и информатика, №1,2002,С.80-82.

3. Управление динамикой электромеханических систем // Тезисы докладов XXXIX Всероссийской научной конференции по проблемам математики, информатики, физики, химии и методики преподавания естественнонаучных дисциплин. М, Изд-во РУДН, 2003 г., С. 56-57.

4. Управление динамикой электромеханических систем // Вестник Российского университета дружбы народов, сер. Прикладная математика и информатика, № 1,2003, С. 63-71.

. 5. Уравнения динамики электромеханических систем в канонической форме // Межвуз. сб. научных трудов. Проблемы механики и управления. Нелинейные динамические системы. Пермь, 2003, Вып. 35, С.184-191.

6. Составление уравнений динамики электромеханических систем // Инновационные процессы в области образования, науки и производства: Материалы Межрегиональной научно-практической конференции. - Нижнекамск, 2004. - С. 280-284.

7. Уравнения динамики электромеханических систем в канонической форме // Тезисы докладов XL Всероссийской научной конференции по проблемам математики, информатики, физики, химии и методики преподавания естественнонаучных дисциплин. М, Изд-во РУДН, 2004 г., С. 147-150.

8. Уравнения динамики управляемой системы в канонических переменных // Вестник Российского университета дружбы народов, сер. Прикладная математика и информатика, № 1,2004, С. 64-70.

9. Составление уравнений динамики управляемых систем // Материалы международной научной конференции. Труды центра им. Н.И. Лобачевского, Т. 25. Казанское математическое общество. Актуальные проблемы математики и механики. Казань: Издательство Казанского математического общества, 2004. - С . 284-286.

10. Задача управления системой с программными связями // Тезисы докладов XLI Всероссийской научной конференции по проблемам математики, информатики, физики, химии и методики преподавания естественнонаучных дисциплин. М, Изд-во РУДН, 2005 г., С. 72-73.

Шемелова Ольга Васильевна, Россия

«Моделирование решения задачи управления системой с программными связями»

Проводится систематизация физических величин, позволяющая обобщить системы различной физической природы и описывать изменение свойств фазового состояния переменными унифицированного множества. Составляются дифференциально-алгебраические уравнения динамики систем различной физической природы в форме уравнений Лагранжа и в форме уравнений Гамильтона. Для стабилизации связей уравнения голономных и неголономных связей заменяются уравнениями программных связей. Формулируются условия устойчивости, асимптотической устойчивости и неустойчивости при изменении свойств фазового состояния систем различной физической природы. Проведено моделирование динамики системы, содержащей элементы механической и электрической природы, и обеспечена устойчивость численного решения уравнений динамики этой системы.

Shemelova Olga Vasilievna, Russia

«Modeling of the control problem's solution for the system with programmed constraints»

The values' systematization, that makes possible the generalization of the physical systems, and helps to describe the change of phase condition's qualities, using the variables of the unificated set, is done. The Lagrangian and Hamiltonian differential-algebraic equations of dynamics for the physical systems are being composed. To stabilize the constraints, the equations of holonomic and noholoinomic constraints are replaced by the equation of programmed constraints. The conditions of stability and nonstabiliry, while changing the qualities of phase condition of the physical systems, are formulated. For the systems, containing the elements of mechanical and electric nature, the dynamic's modeling, providing the stability of it's numerical solution, is shown.

Подписано в печать 27.04.05. Формат 60x84/16.
Тираж 100 экз. Усл. печ. л. 1 . Заказ 384.

Типография Издательства РУДН
117923, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3