

ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Абрамов Константин Витальевич

ХАСТИЧЕСКИЕ КОЛББАНИЯ СИЛОВЫХ ПЕРЕДАЧ
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

01.02.06 - динамика, прочность машин,
приборов и аппаратуры

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

К. Абрамов

Харьков - 1993

27.01
81,2



Работа выполнена на кафедре
Харьковского политехнического

00330631 (G)

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Карабан В.Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, ведущий
научный сотрудник Янютян Е.Г.
кандидат технических наук,
доцент Ковдак В.А.

Ведущее предприятие - Харьковское конструкторское бюро
по двигателестроению ЦО "Завод
имени Малышева"

Защита состоится "19" марта 1993 года в 14:30
часов на заседании специализированного совета Д 068.39.06
при Харьковском политехническом институте (310002, г. Харь-
ков, ГСП, ул. Фрунзе, 21).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харькoв-
ского политехнического института.

Автореферат разослан "16" февраля 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

Бортовой В.В.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) – мощный источник возбуждения круглых колебаний, которые являются причиной преждевременных усталостных поломок элементов силовых передач (СП), влияют на качество рабочих процессов в цилиндрах двигателя.

В процессе экспериментальных исследований, наряду с периодическими колебаниями, на некоторых режимах часто наблюдаются нерегулярные установившиеся колебания. Их можно объяснить особенностями нелинейной детерминированной модели в отличие от статистического подхода, который предполагает случайность теплового процесса в ДВС. Такое рассмотрение проявления нелинейных свойств динамической системы важно для объяснения причин возникновения значительных колебаний и выработки путей их устранения.

Нелинейные детерминированные дискретные диссипативные системы в определенных частотных интервалах возбуждения колебаний преобразуют внешние периодические нагрузки в нерегулярные колебания масс системы, которые называются хаотическими. Их исследование является новой актуальной задачей.

Цель работы – изучение особенностей хаотических колебаний в СП ДВС и условий их возникновения. Достижение этой цели потребовало решения ряда проблем:

- анализе предхаотических колебаний;
- усовершенствовании существующих методов расчета периодических режимов;
- разработки алгоритмов определения различных бифуркационных линий установившихся колебаний на параметрической плоскости;
- исследования сценариев развития квазипериодических и хаотических колебаний при изменении частоты возбуждения;
- изучения резонансов хаотических колебаний в динамических моделях;
- учета влияния нелинейных свойств ременной передачи на крутильные колебания.

Научная новизна работы.

1. Установлено, что хаотические колебания в СП возникают вследствие бифуркаций удвоения периодов и разрушения квазипериодических режимов, которые появляются в результате бифуркаций периодических движений.

2. Исследованы различные бифуркационные линии периодических колебаний на параметрической плоскости динамической системы. Предложен алгоритм расчета областей неустойчивых колебаний с особенностью типа "фокус", из которых рождаются квазипериодические и хаотические движения. Разработан алгоритм расчета области хаотических колебаний на параметрической плоскости, появление которых связывается с бифуркациями удвоения периода.

3. Изучены особенности переходов колебаний типа "хаос - порядок", "хаос - хаос", а также эффекты потери гладкости тора, удвоения его квазипериода и переходного хаоса, что потребовало расчета спектра характеристических показателей Ляпунова, сечений Пуанкаре и спектральных плотностей.

4. Определены резонансы хаотических колебаний в областях бифуркаций удвоения периода и в частотных интервалах неустойчивых по Ляпунову режимов с особенностью типа "фокус".

5. Рассмотрены сценарии развития хаотических колебаний в СП пяти- и двухцилиндровых ДВС с противоположно движущимися поршнями. Коленчатые вали последних соединяются конической и цилиндрической передачами.

6. Учтено посредством специально изготовленной установки влияние нелинейных свойств ременной передачи на крутильные колебания, что позволило объяснить квазипериодические и хаотические колебания, наблюдаемые при экспериментальных исследованиях.

Практическая ценность и реализация результатов. Создан пакет программ исследования бифуркационного поведения периодических колебаний, анализа бифуркационных линий установившихся режимов, расчета спектра характеристических показателей, спектральных плотностей и сечений Пуанкаре. С помощью пакета программ возможен анализ колебаний любых дискретных диссипативных динамических систем.

Применение пакета позволило дать рекомендации по выбору параметров СП ДВС. Внедрение результатов осуществлено на кафед-

ре "Двигатели внутреннего сгорания" Харьковского политехнического института и в Харьковском конструкторском бюро по дизелестроению ПО "Завод имени Малышева".

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на городском научно-методическом семинаре по теоретической механике и научно-технических конференциях: "Применение ЭВМ для решения задач механики" (Севастополь, 1991); "Динамика конструкций при вибрационных и сейсмических нагрузках" (Севастополь, 1991); "Исследование вибраций машин, механизмов и конструкций" (Севастополь, 1992); "Динамика станочных систем и гибких автоматизированных производств" (Нижний Новгород, 1992).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ.

Структура и объем диссертации. Работа общим объемом 198 страниц состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка использованных источников, включающего 122 наименования, и 3 приложений на 13 страницах. Она содержит 142 страницы машинописного текста, 5 таблиц и 86 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, научная новизна и указаны способы реализации полученных результатов.

В I-м разделе анализируются механизмы перехода к хаотическим колебаниям, предложенные в работах Ю.И. Неймарка, П.С. Ланды, В.С. Анищенко; М. Фейгенбаума, Г. Шустера, Ф. Муна. На основании бифуркационного поведения логического точечного отображения выявляются некоторые универсальные свойства хаотических колебаний. В отдельных случаях диссипативные точечные отображения переходят к хаотическим решениям через удвоения квазипериодов торов и потерю их гладкости. Возможен переход к хаосу через перемежаемость в точечных отображениях, а также переходной и суперпереходной хаосы. Появление хаотических решений детерминированных систем связывается с гомоклинической структурой и эффектом "подковы" Смейла.

Хаотические колебания описываются количественными характеристиками, к которым относятся: спектр характеристических показателей Ляпунова, спектральные плотности, сечения Пуанкаре, автокорреляционные функции, инвариантные функции распределения.

Хаотические колебания исследованы в уравнении Дuffинга, математическом маятнике с колеблющейся точкой подвеса, автоколебаниях пластин и в ряде других задач. Отмечается вклад Г.И. Мельникова и А.И. Хибника в исследование бифуркационных линий установившихся колебаний.

В конце раздела ставится задача анализа свойств хаотических колебаний нелинейных детерминированных дискретных моделей СП ДВС.

Во 2-м разделе рассматриваются методы решения задачи Коши, которые применяются при исследовании хаотических колебаний. Для решения этой задачи используются алгоритмы Рунге-Кутты и приспособивания. Последний учитывает специфику динамических моделей СП. На участках линейности системы получено численно-аналитическое решение, использующее точные квадратурные формулы линейных дифференциальных уравнений, коэффициенты которых находятся из численных процедур. Для "сшивания" многообразия линейных задач в нелинейную решаются трансцендентные уравнения относительно времени перехода системы с одного линейного участка на другой. Это время является гладкой функцией частоты возбуждения колебаний, что используется при численной реализации алгоритма продолжения решения по параметру.

Механизмы перехода к хаотическим режимам исследуются в некоторых дискретных динамических системах. Анализируются два перехода к хаотическим колебаниям через бифуркации удвоения периода и разрушение квазипериодических режимов. Бифуркации удвоения периода исследуются в двух дискретных механических системах с одной степенью свободы и различными нелинейными упругими характеристиками под действием моно- и полигармонических нагрузок. В таких системах проявляются как эффекты гистерезиса субгармонических колебаний 2-го порядка, так и их отсутствие. Обнаружена единичная бифуркация удвоения периода колебаний, не приводящая к образованию хаоса.

Области неустойчивых по Ляпунову периодических движений,

в которых квазипериодические колебания разрушаются и переходят в хаотические, рассматриваются на примере двухмассовой системы с двумя нелинейными элементами типа "зазор" и кинематическим возбуждением, совершающей крутильные колебания. В области основного резонанса ее наблюдается два частотных интервала неустойчивых по Ляпунову колебаний с особенностью типа "фокус". Такие интервалы занимают значительную (до 70 %) часть рабочего диапазона частоты вращения коленчатого вала.

В 3-м разделе излагаются методы расчета бифуркационных линий периодических колебаний; исследуются динамические системы, которые описываются дифференциальными уравнениями в форме Коши

$$\dot{y} = A(t)y + G(y) + M(t), \quad (1)$$

где y - вектор состояний динамической системы.

Вектор функции G удовлетворяет условию

$$G(-y) = -G(y).$$

Анализируются бифуркационные линии, которые имеют мультипликатор $\rho = 1$ и характеризуются касательной бифуркацией, потерей устойчивости по Ляпунову гармонического решения и появлением пары асимптотически устойчивых режимов того же периода. Уравнение этих бифуркационных линий на параметрической плоскости имеет вид:

$$\Gamma[\mu_1, \mu_2] = \text{Det}[\Phi - E], \quad (2)$$

где μ_1, μ_2 - параметры динамической системы; Φ - матрица монодромии периодических колебаний.

Для анализа уравнения (2) применяется специальный алгоритм продолжения решения по параметру. Численно рассчитываются бифуркационные линии динамической модели СП пятицилиндрового ДВС на параметрической плоскости, по координатным осям которой в одном случае откладываются частота вращения коленчатого вала и параметр специальной муфты, а в другом - частота вращения вала и коэффициент линейного демпфирования. Исследуются бифуркационные линии удвоения периода колебаний.

Предлагается алгоритм исследования области неустойчивых по Ляпунову колебаний с особенностью типа "фокус" на параметрической плоскости. Граница области этих движений характеризуется парой комплексно-сопряженных мультипликаторов, равных по мо-

дулю единице, и описывается уравнением

$$\Gamma(\mu_1, \mu_2) = \left(\sum_{j=0}^{2N} a_j \cos j\varphi \right)^2 + \left(\sum_{j=0}^{2N} a_j \sin j\varphi \right)^2 = 0, \quad (3)$$

где φ - число вращения Пуанкаре.

Исследуется область рассматриваемых колебаний механической системы с двумя степенями свободы и двумя нелинейными элементами на параметрической плоскости, по координатным осям которой откладываются частота вращения вала и амплитуда кинематического возбуждения заделки.

На основании численных экспериментов доказываются существование мультипликатора насыщения колебаний $\rho_*^* = -1,60119\dots$ в области бифуркаций удвоения периода динамических моделей СП. Граница области хаотических колебаний характеризуется мультипликатором ρ^* субгармонического решения порядка $\nu = 2^k$ и описывается уравнением

$$\Gamma_x(\mu_1, \mu_2) = \text{Det} [\Phi_\nu - \rho_*^* E] = 0. \quad (4)$$

Так как в СП шестицилиндрового ДВС предхаотические колебания имеют гистерезис субгармонических режимов 2-го порядка, то область хаотических движений описывается мультипликатором субгармонических решений 4-го порядка на параметрической плоскости, по осям которой откладываются частота вращения коленчатого вала и амплитуда 6-й гармоники ряда Фурье индикаторного момента.

В 4-м разделе излагается алгоритм исследования сценариев развития установившихся колебаний в СП, который включает в себя расчет максимального характеристического показателя, спектра характеристических показателей, спектральных плотностей и сечений Пуанкаре. Для расчета спектра характеристических показателей совместно интегрируются система дифференциальных уравнений, описывающих колебания СП, и уравнения в вариациях. При этом через некоторые промежутки времени осуществляется ортогонализация векторов малых возмущений по Граму-Шмидту.

В исследуемом частотном интервале возбуждения колебаний рассчитывается максимальный характеристический показатель. Ис-

ли он положительный, то определяется совокупность положительных показателей. В точках хаотических и квазипериодических колебаний исследуются сечения Пуанкаре и спектральные плотности, которые показывают тактность ленты аттрактора и степень перемешивания хаоса.

На основании этого алгоритма обнаружены переходы типа "хаос - порядок", "хаос - хаос", а также эффект потери гладкости тора. Результаты расчета сечений Пуанкаре механической системы с двумя степенями свободы, подверженной действию кинематического возбуждения, приведены на рис. 1.

Переход типа "хаос - порядок" характеризуется преобразованием однотоковой ленты аттрактора при $\Omega = 255 \text{ с}^{-1}$ в субгармонические колебания 5-го порядка при $\Omega = 235 \text{ с}^{-1}$, что сопровождается переходом максимального характеристического показателя из положительного значения в отрицательное. Субгармоническим колебаниям предшествует переходной хаос, который обладает всеми свойствами хаотических колебаний и характеризуется пятитактной лентой аттрактора, что связано с переходом притягивающей гомоклинической структуры в отталкивающую.

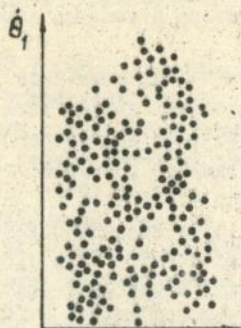
Переход типа "хаос - хаос" определяется пятитактной лентой аттрактора при $\Omega = 240 \text{ с}^{-1}$, которая преобразуется в однотоковую при $\Omega = 250 \text{ с}^{-1}$. Такой эффект можно считать бифуркацией хаотических колебаний, так как происходит переход 2-го характеристического показателя через нулевое значение. Дальнейшее увеличение частоты возбуждения колебаний характеризуется преобразованием хаотических колебаний в квазипериодические, что сопровождается переходом типа "хаос - порядок" и потерей гладкости тора. Последнее явление наблюдается при $\Omega = 254,5 \text{ с}^{-1}$ и характеризуется инвариантной кривой квазипериодических режимов сечений Пуанкаре, не имеющей непрерывной производной. Такие режимы имеют дискретные спектральные плотности и нулевой максимальный характеристический показатель. Квазипериодические колебания при $\Omega = 263 \text{ с}^{-1}$ мягко переходят в гармонические.

В 5-м разделе излагаются результаты численных и экспериментальных исследований хаотических колебаний СП ДВС с противоположно движущимися поршнями. Динамическая модель СП пятицилиндрового ДВС включает нелинейную упругую характеристику муфты главной пережачи между коленчатыми валами и зазор в шлицевом

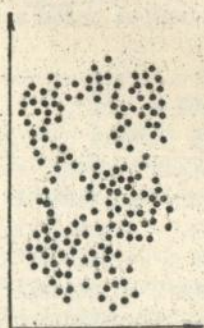
Переход типа
"хаос-порядок"

Переход типа
"хаос - хаос"

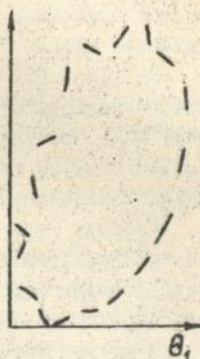
Потеря
гладкости тора



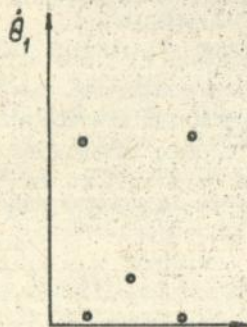
$$\omega = 225 \text{ c}^{-1}$$



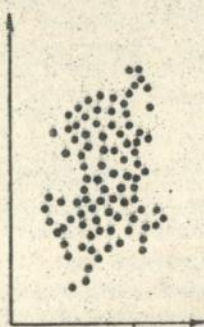
$$\omega = 240 \text{ c}^{-1}$$



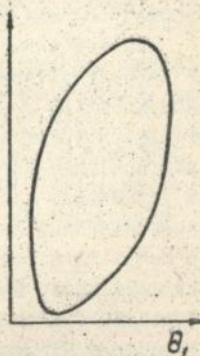
$$\omega = 254 \text{ c}^{-1}$$



$$\omega = 235 \text{ c}^{-1}$$



$$\omega = 250 \text{ c}^{-1}$$



$$\omega = 263 \text{ c}^{-1}$$

Рис. 1. Сечения Пуанкаре установившихся колебаний

соединении привода к потребителю мощности. В системе имеют место области бифуркаций удвоения периода колебаний и частотные интервалы неустойчивых по Ляпунову режимов с особенностью типа "фокус". Сравнение размахов хаотических колебаний и периодических движений показывает незначительное их отличие. Неустойчивые по Ляпунову колебания с особенностью типа "фокус" характеризуются потерей гладкости тора. Численные результаты подтверждаются экспериментальными данными.

Динамическая модель крутильных колебаний СП двухцилиндрового ДВС приведена на рис. 2. Массы системы моделируют продувочный и выхлопной коленчатые валы и потребитель мощности. Валы соединяются конической передачей, зазоры между шестернями которой учитываются нелинейной упругой характеристикой. Возбуждающие моменты, действующие на выхлопной и продувочный валы, описываются двумя наиболее существенными по величине гармониками ряда Фурье.

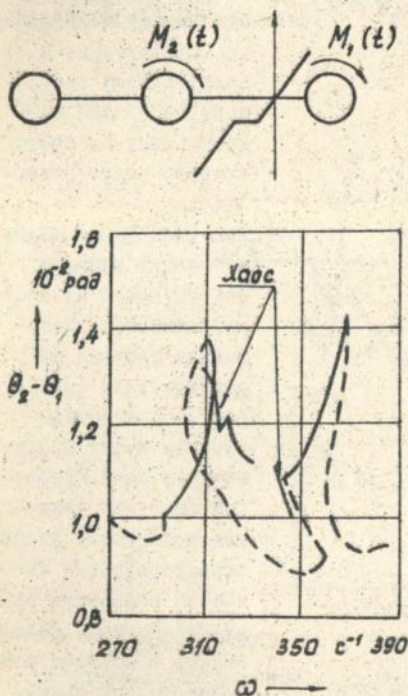


Рис. 2. Динамическая модель и амплитудно-частотная характеристика СП ДВС с конической передачей между коленчатыми валами

В частотном рабочем диапазоне вращения коленчатых валов наблюдается десять интервалов существования хаоса, который характеризуется бифуркациями удвоения периода колебаний. Исследуются сценарии развития и размахи хаотических режимов. Последние существенно превышают размахи периодических колебаний, из которых рождается хаос. Размахи его и периодических колебаний в области резонанса

В частотном рабочем диапазоне вращения коленчатых валов наблюдается десять интервалов существования хаоса, который характеризуется бифуркациями удвоения периода колебаний. Исследуются сценарии развития и размахи хаотических режимов. Последние существенно превышают размахи периодических колебаний, из которых рождается хаос. Размахи его и периодических колебаний в области резонанса

близки, что свидетельствует о резонансе хаотических колебаний (см. рис. 2). Сценарии развития периодических и хаотических колебаний подтверждаются экспериментальными данными.

Проведено исследование крутильных колебаний СП двухцилиндрового ДВС, коленчатые валы которого соединяются цилиндрической передачей. Предполагалось, что шестерни цилиндрической передачи и выхлопной коленчатый вал вращаются равномерно, а продувочный вал совершает колебания (рис. 3), так как моменты

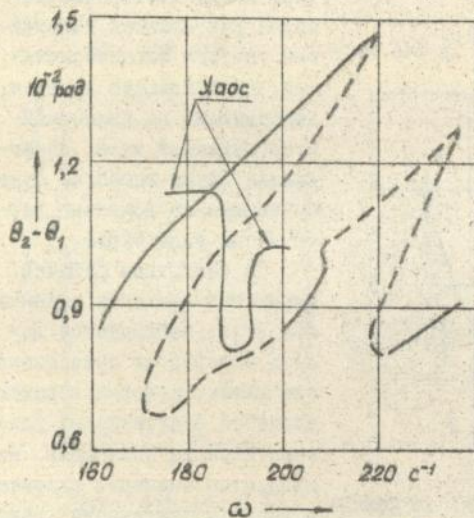
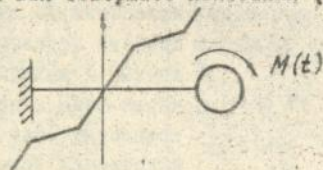


Рис. 3. Динамическая модель и амплитудно-частотная характеристика СП ДВС с цилиндрической передачей между коленчатыми валами

инерции выхлопного вала и шестерен цилиндрической передачи, приведенные к продувочному валу, намного больше момента инерции продувочного вала. Учитывается восемь гармоник ряда Фурье индикаторного момента, действующего на продувочный вал. Нелинейная упругая характеристика (см. рис. 3) описывает упругую муфту продувочного вала. Рабочий диапазон вращения коленчатых валов характеризуется четырьмя областями удвоения периода колебаний, в которых установившиеся режимы являются хаотическими. Три области имеют незначительное отличие размахов ха-

оса и периодических колебаний, из которых он рождается. Один

интервал бифуркаций удвоения периода имеет резонанс хаотических колебаний (см. рис. 3), размахи которых соизмеримы с периодическими колебаниями в области их резонанса. Сценарии развития хаотических колебаний характеризуются переходами типа "хаос - порядок", что сопровождается изменением тактности лентя аттрактора.

Влияние нелинейных свойств ременной передачи на крутильные колебания изучено на специальной установке, динамическая модель которой приведена на рис. 4, где масса 1 моделирует ротор электродвигателя, а масса 2 - шестерню со смещением центра масс относительно оси ее вращения.

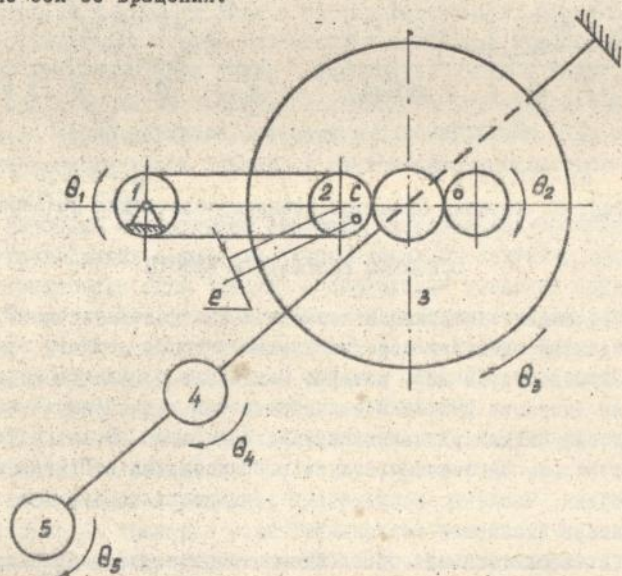


Рис. 4. Динамическая модель экспериментальной установки

В приведенной системе исследуются периодические колебания и их бифуркации при изменении частоты вращения ротора электродвигателя. Динамическая модель характеризуется сложным бифуркационным поведением и сценариями развития квазипериодических и хаотических колебаний. Области существования хаотических колебаний подтверждаются экспериментальными данными. Часть неустойчи-

вых по Ляпунову колебаний с особенностью типа "фокус" определяется бифуркацией удвоения квазипериода тора, что описывается сечениями Пуанкаре (рис. 5). Такая бифуркация не приводит к хаотическим колебаниям.

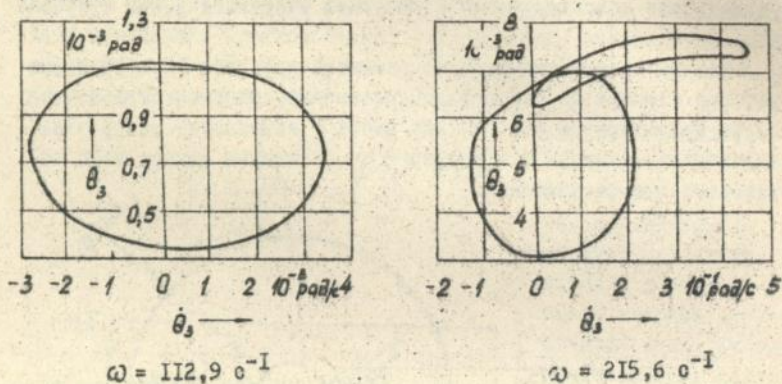


Рис. 5. Сечения Пуанкаре квазипериодических колебаний

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Анализ бифуркаций периодических колебаний позволил исследовать сценарии перехода к хаотическим режимам в динамических моделях СП ДВС, которые возникают в области неустойчивых по Ляпунову движений с особенностью типа "фокус" и в области бифуркаций удвоения периода колебаний. В последней наблюдается как гистерезис, так и однозначность субгармонических колебаний. Численно исследовано универсальное значение мультипликатора насыщения колебаний.

2. Эффективность общей схемы анализа бифуркационных линий установившихся колебаний достигнута в результате исследования устойчивости периодических режимов по Ляпунову. Разработан алгоритм расчета бифуркационных линий периодических движений, который характеризуется касательной бифуркацией, а также потерей устойчивости по Ляпунову симметричного режима и образованием пары устойчивых решений. Предложен метод расчета области неустойчивых по Ляпунову колебаний с особенностью типа "фокус" на параметрической плоскости динамической системы, где существуют квазипериодические и хаотические движения. Исследованы

область хаотических колебаний, появление которых связано с бифуркациями удвоения периода. Граница такой области имеет универсальное значение мультипликатора насыщения.

Расчет бифуркационных линий позволил подробно исследовать области хаотических режимов в СП ДВС и определить пути их устранения.

3. Сценарии развития хаотических колебаний в СП ДВС проанализированы благодаря расчету спектра характеристических показателей Ляпунова, сечений Пуанкаре и спектральных плотностей. При этом выявлены переходы типа "хаос - хаос", "хаос - порядок", эффекты потери гладкости тора и переходного хаоса. Изменение тактности ленты аттрактора хаотических колебаний происходит вследствие переходов типа "хаос - порядок" и "хаос - хаос". Последний сопровождается преобразованием характеристического показателя из отрицательного значения в положительное. При переходе квазипериодических режимов в хаотические наблюдается потеря гладкости тора.

4. Численно исследованы резонансы хаотических колебаний, которые наблюдались в области неустойчивых по Ляпунову движений с особенностью типа "фокус" и бифуркаций удвоения периода. Размахи хаоса в частотном интервале их резонанса соизмеримы с размахами резонансных периодических колебаний. Численные эксперименты показали существенное влияние хаотических колебаний на динамическую нагруженность элементов СП ДВС.

5. Численно и экспериментально изучены сценарии развития установившихся колебаний в СП пятицилиндрового ДВС с противоположно движущимися поршнями.

Исследованы сценарии развития и резонансы хаотических колебаний в СП двухцилиндрового ДВС с противоположно движущимися поршнями, коленчатые валы которого соединяются конической передачей. В частотном рабочем диапазоне вращения валов наблюдается десять областей существования хаотических колебаний, которые занимают около 70 % рабочего диапазона.

Изучено влияние хаотических колебаний на динамическую нагруженность элементов СП ДВС, коленчатые валы которых соединяются цилиндрической передачей. В частотном рабочем диапазоне вращения валов обнаружен один частотный интервал резонанса хаотических колебаний.

В результате численного исследования установившихся режимов в различных нелинейных моделях СП ДВС выбраны их параметры.

6. Учет нелинейных свойств ременной передачи позволил объяснить квазипериодические и хаотические колебания, наблюдаемые на экспериментальной установке. Изучено удвоение квазипериода тора, которое не привело к образованию хаотических режимов.

Основное содержание диссертационной работы изложено в тезисах докладов, статьях и брошюре:

1. Аврамов К.В. Исследование периодических колебаний существенно нелинейных дискретных систем // Тез. докл. конф. "Проблемы повышения прочности машиностроительных конструкций". - Пермь, 1990. - С. 40 - 41.

2. Аврамов К.В. Исследование нелинейных свойств ременной передачи на экспериментальной установке // Тез. докл. конф. "Проблемы повышения прочности элементов машиностроительных конструкций". - М., 1991. - С. 46 - 47.

3. Аврамов К.В. Нелинейные колебания механических систем с ременными передачами // Тез. докл. конф. "Исследование вибраций машин, механизмов и конструкций". - Севастополь, 1992. - С. 22.

4. Аврамов К.В., Беломятцев А.С. Комплекс методов расчета установившихся колебаний конструкций при вибрационных нагрузках // Тез. докл. конф. "Исследование вибраций машин, механизмов и конструкций". - Севастополь, 1992. - С. 16.

5. Аврамов К.В., Беломятцев А.С., Карабан В.Н. Расчетное исследование сложных колебаний силовых передач // Тез. докл. конф. "Применение ЭВМ для решения задач механики". - Севастополь, 1991. - С. 48 - 49.

6. Аврамов К.В., Беломятцев А.С., Карабан В.Н. Алгоритм расчета бифуркационных линий квазипериодических колебаний периодически возбуждаемых дискретных механических систем // Изв. вузов. Машиностроение. - 1992. - № 1 - 3. - С. 15 - 17.

7. Аврамов К.В., Беломятцев А.С., Карабан В.Н. Квазипериодические и хаотические колебания машин. - Киев : Знание, 1992. - 24 с.

8. Аврамов К.В., Карабан В.Н. Вынужденные колебания дискретной крутильной системы с нелинейностью типа "зазор" // Теория механизмов и машин / Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Харьков

ков, 1992.- № 54.- С. 4 - 7.

9. Аврамов К.В., Карабан В.Н. Квазипериодические и хаотические колебания машин // Тез. докл. конф. "Исследование вибраций машин, механизмов и конструкций.- Севастополь, 1992.-

С. 1 - 2.

10. Аврамов К.В., Карабан В.Н. Комплекс алгоритмов расчета хаотических колебаний динамических систем // Тез. докл. конф. "Динамика станочных систем гибких автоматизированных производств".- Нижний Новгород, 1992.- С. 1.

К. Аврамов

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Хаотические колебания силовых передач
двигателей внутреннего сгорания

Абрамов Константин Витальевич

Ответственный за выпуск К.Т.Н., доц. Шатохин В.М.

Подп. к печ. *09.04.93*. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага тип. Печать офсетная. Усл. печ. л. 60.
Уч.-изд. л. 10 Тираж 100 экз. Зак. № 495. Бесплатно.

Харьковское межвузовское арендное полиграфическое предприятие.
310093, Харьков, ул. Свердлова, 115.

AB 26.803