

Контроль
закончен
На правах рукописи

Хер

ГЕРЕНШТЕЙН Евгения Аркадьевна

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В МАШИНОСТРОЕНИИ И ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Специальность 05.13.16. - Применение вычислительной техники,
математического моделирования и
математических методов в научных
исследованиях

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск - 1998

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном
университете

Научный руководитель -
доктор технических наук,
профессор, действительный член МАИ
Р.Н. Чапков

Официальные оппоненты -
доктор технических наук,
профессор, действительный член МАИ
С.Л. Гольдштейн
кандидат физико-математических наук
А.В. Панюков.

Ведущая организация -
ОАО Станкомаш

Защита состоится "10" апреля 1998 г. в 15 ч на заседании
специализированного совета К. 063. 14. 13 Уральского государственного
технического университета по адресу: 620002, г. Екатеринбург, УГТУ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УГТУ
Автореферат разослан "10" марта, 1998 г.
Справки по телефону: (3432) 44-84-68

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук

В.А. Морозова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В работах многих авторов были рассмотрены качественные характеристики периодических решений систем дифференциальных уравнений и решены некоторые конкретные задачи. В данной работе расширен класс дифференциальных уравнений, для которых могут быть предложены и построены периодические решения, за счет отказа от аналитичности правых частей (достаточно только выполнения условия Липшица), что усиливает прикладную значимость данных методов. Современный уровень развития науки и техники позволяет исследовать те методы решения дифференциальных уравнений и их приложения к техническим проблемам, математические идеи которых ранее наталкивались на ресурсные ограничения.

Цель диссертационной работы - разработка и реализация математического и программного обеспечения исследований периодических процессов в машиностроении и дорожном строительстве.

Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие задачи:

-разработка методики расширения возможностей токарного станка с установленным на нем инерционно-импульсным механизмом на основе нового алгоритма нахождения периодических решений нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих данную механическую систему;

-разработка и практическая реализация математического и программного обеспечения нахождения периодических решений линейных и нелинейных систем дифференциальных уравнений;

-разработка и реализация фильтра при управлении вибрационными испытаниями крупногабаритных изделий, который действует на границе физически реализуемых сигналов, отбрасывает неревальные и исправляет сигналы, лежащие в пределах заданной точности;

-разработка и практическая реализация исследования профиля автодорожного покрытия профилографом при помощи дифференциальных уравнений с переменным запаздыванием аргумента и даны некоторые рекомендации по конструктивным параметрам профилографа;

-экспериментальная проверка разработанных теоретических вопросов на реальных объектах.

Методы исследования. Проведенные в работе исследования и разработки базируются на использовании достижений в области обыкновенных дифференциальных уравнений, теории стационарных случайных процессов, теории управления, обработки информации.

Научная новизна:

1.Предложено представление периодического решения для линейной системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

2.На основании представления решения для линейной системы получен интегральный оператор, который любую Т-периодическую функцию переводит в Т-периодическую функцию, что позволяет построить итерационный процесс нахождения периодических решений в нелинейном случае.

3.Предложен метод решения матричного уравнения на множестве положительно полуопределенных матриц применительно к задаче вибрационных испытаний крупногабаритных изделий.

4.Получено нелинейное дифференциальное уравнение с переменным запаздыванием аргумента для восстановления профиля и его численный метод решения.

Научная и практическая ценность:

1.Результаты программной реализации показывают, что новый метод нахождения периодического решения систем дифференциальных уравнений наиболее удобен для практического применения на классе задач, требующих исследование колебательных процессов.

2. Проведенная практическая реализация фильтра при управлении вибрационными испытаниями крупногабаритных изделий продемонстрировала эффективность данного метода, что подтверждено актом об использовании и внедрении.

3. Реализован новый подход к решению задачи восстановления профиля дорожного покрытия, точность и надежность результатов подтверждается актом внедрения.

На защиту выносятся:

1. Новый вид представления периодического решения линейных дифференциальных уравнений.

2. Теоретическое обоснование существования и разработанные алгоритмы итерационного процесса получения периодического решения в нелинейном случае.

3. Фильтр в управлении случайным стационарным процессом при вибрационных испытаниях крупногабаритных изделий.

4. Модификация метода восстановления профиля дороги на основе нового подхода к измерениям и обработки результатов этих измерений.

Апробация работы. Результаты исследований и разработок были представлены и обсуждены 1-й региональной конференции "Интеллектуальные информационные технологии и стратегии в системной информатизации Уральского региона" (Челябинск, 1994); на научно-практическом семинаре "Технические средства и информационные технологии в образовании" (Челябинск, 1993); на научно-практической конференции "Информатизация системы образования" (Челябинск, 1996); на Уральского отделения Российской академии наук "Новые информационные технологии в исследованиях дискретных структур" (Екатеринбург, 1996); на тематическом конгрессе "Информационная проблематика нечетких технологий" (Екатеринбург, 1996), на Первом Уральском Форуме "Культура, искусство и информатизация на рубеже третьего тысячелетия" (Челябинск, 1996), на научно-методической

конференции "Опыт применения современных методов и средств обучения" (Челябинск, 1997).

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 9 научных работ и получено два акта об использовании и вындрении

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 78 наименований, десяти приложений. Общий объем работы - 183 стр., из них 100 стр. основного текста, 10 стр. с рисунками и таблицами.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается актуальность выбранной темы.

В первой главе производится обзор литературы на данную тему, сформулированы цели и основные задачи диссертационной работы.

Во второй главе рассматриваются линейные и нелинейные уравнения с периодическими коэффициентами в резонансном и нерезонансном случаях.

Пусть $P(t)$ - фундаментальная нормированная матрица решений линейной однородной системы $\dot{x} = Ax$, где $A(t+T) = A(t)$, T - период. Обозначим $P_T = P(T)$.

Введем следующий интегральный оператор:
 $k(t, \tau) = P(t)(E - P_T)^{-1}P^{-1}(\tau)$. Тогда T -периодическое решение линейной неоднородной системы $\dot{x} = A(t)x + f(t)$, где $f(t+T) = f(t)$, в нерезонансном случае имеет вид: $x(t) = \int_{t-T}^t k(t, \tau)f(\tau)d\tau$.

Решение нелинейной системы $\dot{x} = Ax + f(x, t)$ сводится к решению системы интегральных уравнений $x(t) = \int_{t-T}^t k(t, \tau)f(x(\tau), \tau)d\tau$, решение которой методом итераций отыскивается в классе периодических функций.

Существование решения обеспечивается полной непрерывностью интегрального оператора, а единственность решения - сжимаемостью оператора.

В резонансном случае ядро интегрального оператора имеет вид:

$$k(t, \tau) = P(t) \left(A_0 + A_1 D Z\left(\frac{\tau}{T}\right) + Z\left(-\frac{t}{T}\right) D A_1 \right) P^{-1}(\tau),$$

где матрицы A_0 , A_1 , D удовлетворяют следующим условиям:

$$\text{rang } A_1 + \text{rang}(E - P_T) = n,$$

$$A_1 \cdot (E - P_T) = (E - P_T) \cdot A_1 = 0,$$

$$A_0 \cdot (E - P_T) + A_1 \cdot D = (E - P_T) \cdot A_0 + D \cdot A_1 = E,$$

$$A_1 \cdot D \cdot (E - P_T)^{r-1} \cdot D \cdot A_1 \neq 0,$$

$$(E - P_T)^r \cdot D = D \cdot (E - P_T)^r = 0,$$

$$A_0 \cdot D \cdot A_1 = A_1 \cdot D \cdot \sum_{k=0}^{r-1} \frac{(E - P_T)^k}{k+2} \cdot D \cdot A_1,$$

$$Z(t) = \sum_{k=0}^{r-1} \frac{(E - P_T)^k (-1)^k \prod_{l=0}^k (t-l)}{(k+1)!},$$

где r - степень нильпотентности оператора $E - P_T$. В этом случае решение имеет вид: $x(t) = \int_{t-T}^T k(t, \tau) f(\tau) d\tau + P(t) A C$, где C - произвольный постоянный вектор. При этом векторная функция $f(t)$ должна удовлетворять условию:

$$A_1 \cdot \int_0^T P^{-1}(\tau) f(\tau) d\tau = 0.$$

В резонансном случае для решения нелинейной системы получена система интегральных уравнений:

$$x(t) = \int_{t-T}^T k(t, \tau) f(x(\tau), \tau) d\tau + P(t) A C,$$

$$A_1 \int_0^T P^{-1}(\tau) f(x(\tau), \tau) d\tau = 0.$$

Эта система служит для определения решения и постоянного вектора C .

На третьей линии рассматривается задача управления случайными стационарными процессами. На испытываемую линейную модель входят стационарная случайная функция. Колебание системы описывается уравнениями: $M\ddot{x} + B\dot{x} + Cx = Df(t)$, где x - набор координат точек системы; M, B, C - квадратные симметричные положительно полуопределеные (т.е. с неотрицательными угловыми минорами); D - прямоугольная матрица, определяемая кинематикой системы.

Пусть x и f представимы в виде: $x = \xi \cdot e^{i\omega t}$, $f = \eta \cdot e^{i\omega t}$, где ξ , η - случайные величины, ξ является функцией η ; ω - частота. Тогда: $\dot{x} = i \cdot \omega \cdot \xi \cdot e^{i\omega t}$, $\ddot{x} = -\omega^2 \xi \cdot e^{i\omega t}$. Подставляя x, f, \dot{x}, \ddot{x} в исходное уравнение, получаем:

$$\begin{aligned} -M\omega^2 \xi \cdot e^{i\omega t} + i\lambda B \xi \cdot e^{i\omega t} + C \xi \cdot e^{i\omega t} &= D \eta \cdot e^{i\omega t} \\ (-M\omega^2 \xi + i\lambda B \xi + C \xi) \cdot e^{i\omega t} &= D \eta \cdot e^{i\omega t} \end{aligned}$$

Пусть S_m и S_u - квадратные эрмитовы (т.е. совпадающие со своими транспонированными комплексно сопряженными) положительно полуопределеные матрицы спектральных плотностей ξ и η соответственно, тогда для установившегося процесса справедливо уравнение: $(-\lambda^2 M + i\lambda B + C) S_m (-\lambda^2 M - i\lambda B + C) = D S_u D^*$, где S_m и S_u - матрицы спектральных плотностей системы и управлений, D^* - матрица транспонированная и комплексно сопряженная (эрмитово сопряженная) к матрице D . Обозначим: $W_u = (-\lambda^2 M + i\lambda B + C)^{-1} D$. Тогда получим: $S_m = W_u S_u W_u^*$.

Рассматриваемая система состоит из объекта испытаний и его крепления к стенду, поэтому в матрицу S_m входят спектральные плотности объекта испытаний, спектральные плотности крепления и их взаимные спектральные плотности. Крепление объекта испытания к стенду на реальном объекте несколько другое, поэтому в матрице S_m нас интересует только тот главный минор, который соответствует спектральным плотностям объекта испытаний. Следовательно, из матрицы S_m надо удалить те строки и столбцы, которые связаны с

креплением хоть каким-либо образом. При этом, удаляя строку, мы должны удалить и столбец с тем же номером. Обозначим через S_m квадратную матрицу, полученную из матрицы S_n после удаления соответствующих строк и столбцов.

Обозначим через W прямоугольную матрицу, полученную из матрицы W , путем удаления тех же строк и столбцов, что и из матрицы S_m . В итоге получили равенство: $S_m = WS_n W'$. Здесь S_m - квадратная матрица порядка n , S_n - квадратная эрмитова матрица порядка m ($m \leq n$), W - прямоугольная матрица размера $n \times m$ (n строк, m столбцов). Следовательно, W' - прямоугольная матрица размера $m \times n$.

Из натурных испытаний всего объекта нам известна квадратная матрица порядка n спектральных плотностей S_0 . Мы хотим подобрать матрицу S_n спектральных плотностей управлений так, чтобы матрица S_m мало бы отличалась в некотором смысле от матрицы S_0 . Для решения данной задачи предложен метод, основанный на методе Холецкого разложения симметричной матрицы на произведение треугольных, при котором система, состоящая из n^2 уравнений распадается на n независимых систем, каждая из которых состоит из n уравнений. Разработанное управление работает не только в обычных условиях, но и на границе физически реализуемых сигналов.

В четвертой главе исследуется задача восстановления профиля.

Рассмотрим плоскость с декартовой системой координат xOy , причем ось x направлена вправо, ось y вверх, точка O - начало координат. В этой плоскости находится профиль - кривая, проходящая через начало координат. По этому профилю вправо перемещается профилограф (понятия "вправо" и "вперед" считаются идентичными, понятия "влево" и "назад" также считаются идентичными).

Под профилографом понимаем очень простое устройство - два одинаковых колеса (переднее и заднее), центры которых соединены жестким (твёрдым, нерастяжимым) отрезком. Этот отрезок будем называть базой профилографа. Оба колеса, разумеется, "едут" по этому профилю. Длина базы и радиус колес считаются известными. На одном из колес находится отметчик пути, который измеряет и сообщает угол поворота этого колеса относительно базы. Кроме этого, на профилографе находится устройство (например, гироскоп), который измеряет и сообщает угол тангенса, т.е. угол между осью x и базой профилографа. Оба сообщения поступают к нам (т.е. на регистрирующее устройство), когда колесо, на котором расположен отметчик пути, повернется относительно базы на определенный угол между двумя последовательными отметками отметчика пути.

Введем следующие обозначения: l - длина базы профилографа, \tilde{r} - радиус заднего и переднего колеса профилографа, nn - число отметок отметчика пути на один оборот колеса относительно базы, \tilde{s} - путь (длина траектории), пройденный центром заднего колеса, $\tilde{\sigma}$ - путь (длина траектории), пройденный центром переднего колеса, \tilde{x} - абсцисса центра колеса (любого), \tilde{y} - ордината центра колеса (любого), \tilde{h} - шаг квантования, квант (расстояние вдоль обода колеса между двумя последовательными отметками отметчика пути), θ - угол поворота колеса относительно базы (имеется в виду то колесо, на котором смонтирован отметчик пути), ψ - угол тангенса (угол между базой и горизонтом, т.е. осью x , отсчитываемый против часовой стрелки от положительного направления оси), ϕ - угол между касательной к профилю и осью x .

Все линейные размеры отнесем к длине базы, т.е. в нашем масштабе длина базы равна единице. Поэтому обозначим:

$$r = \frac{\tilde{r}}{l}, \quad s = \frac{\tilde{s}}{l}, \quad \sigma = \frac{\tilde{\sigma}}{l}, \quad x = \frac{\tilde{x}}{l}, \quad y = \frac{\tilde{y}}{l}, \quad h = \frac{\tilde{h}}{l}.$$

Уравнения траектории центра заднего колеса: $x = x(s)$, $y = y(s)$.

Уравнения траектории центра переднего колеса: $x = x(\sigma)$, $y = y(\sigma)$.

Отметим, что мы восстанавливаем не сам профиль, а траекторию центра колеса профилографа. Поскольку колеса одинаковы и движутся без отрыва (наша наивная идеализация) по одному и тому же профилю, то и траектории их (т.е. линии на плоскости xOy) совпадают. Это означает, что если: $s = \sigma$, то и: $x(s) = x(\sigma)$, $y(s) = y(\sigma)$.

Очередной импульс с отметчика пути приходит тогда, когда колесо повернулось относительно базы на угол: $\Delta\theta = \frac{2\pi}{nm}$. При этом обод колеса относительно базы прошел путь: $h = r\Delta\theta = \frac{2\pi r}{nm}$.

Вместе с импульсом отметчика пути поступает угол тангажа ψ . Поэтому в промежутке между двумя импульсами колесо относительно профиля прошло путь: $h - r\Delta\psi$, где $\Delta\psi$ - разность двух последовательных значений угла тангажа. Следовательно, длина траектории: заднего колеса (если на нем находится отметчик пути): $s = r \cdot (\theta - \psi - \psi_0)$, переднего колеса (если на нем находится отметчик пути): $\sigma = r \cdot (\theta - \psi - \psi_0)$, где ψ_0 - угол тангажа в начальной точке профиля. Итак, мы всегда знаем истинный путь того колеса, на котором расположен отметчик пути. Если отметчик расположен на заднем колесе, то угол тангажа является функцией пути, пройденного задним колесом, т.е. $\psi = \psi(s)$. Если же отметчик расположен на переднем колесе, то угол тангажа является функцией пути, пройденного передним колесом, т.е. $\psi = \psi(\sigma)$. Следовательно, в зависимости от того, на каком колесе расположен отметчик пути, нам известна либо функция $\psi = \psi(s)$, либо функция $\psi = \psi(\sigma)$.

Общая постановка задачи: в начале движения заднее колесо профилографа находится в точке с координатами $x = x(-a)$, $y = y(-a)$, а переднее - в точке с координатами $x = x(0) = 0$, $y = y(0) = 0$. На отрезке

$[-a, 0]$ функции $x = x(s)$, $y = y(s)$. Если отметчик пути расположен на заднем колесе, то требуется, зная функцию $\psi = \psi(s)$ при $s \geq -a$, определить при $s > 0$ функции $x = x(s)$, $y = y(s)$, а если отметчик пути расположен на переднем колесе, то требуется, зная функцию $\psi = \psi(\sigma)$ при $\sigma \geq 0$, определить при $\sigma > 0$ функции $x = x(\sigma)$, $y = y(\sigma)$.

Рассмотрим случай, когда отметчик пути находится на заднем колесе. Из дифференциальной геометрии следует:

$$\frac{dx(s)}{ds} = \cos(\varphi(s)), \quad \frac{dy(s)}{ds} = \sin(\varphi(s)), \quad \frac{dx(\sigma)}{d\sigma} = \cos(\varphi(\sigma)), \quad \frac{dy(\sigma)}{d\sigma} = \sin(\varphi(\sigma)).$$

Т.к. отметчик пути на заднем колесе, то в этом случае координаты обоих колес связаны соотношениями: $x(\sigma) = x(s) + \cos(\psi(s))$, $y(\sigma) = y(s) + \sin(\psi(s))$.

Дифференцируя оба эти уравнения по переменной s , получим на основании формул из дифференциальной геометрии: $\cos\varphi(s)\varphi' = \cos\varphi(s) - \sin(\psi)\psi'$, $\sin\varphi(s)\varphi' = \sin\varphi(s) + \cos(\psi)\psi'$. Складывая квадраты левых частей и правых частей предыдущих равенств, получим: $(\varphi')^2 = 1 - 2\sin(\psi - \varphi(s))\psi' + (\psi')^2$. Далее, если угол тангажа ψ известен в каждой точке профиля, получим:

$$\sigma = \int_{-a}^s \sqrt{1 - 2\sin(\psi - \varphi(s))\psi' + (\psi')^2} ds, \quad \operatorname{tg}\varphi(\sigma) = \frac{\sin\varphi(s) + \cos(\psi)\psi'}{\cos\varphi(s) - \sin(\psi)\psi'}.$$

Последние формулы для каждого значения σ пути, пройденного передним колесом, определяют тангенс угла φ между касательной к профилю и горизонтом, т.е. мы получили функцию $\varphi = \varphi(\sigma)$, или, что то же самое, $\varphi = \varphi(s)$. Теперь, интегрируя равенства из дифференциальной геометрии, получим координаты профиля.

В пятой главе содержатся практические приложения теоретических вопросов, рассмотренных в предыдущих главах.

1. Практическая реализация теории нерезонансных колебаний

Рассмотрим применение теории нерезонансных колебаний на практике на примере обработки металлов резанием, связанных с

вибрациями. Указанный метод резания обладает рядом важнейших для обработки металлов преимуществ: надежное дробление стружки, повышение обрабатываемости материалов и др.

На рис. 1. изображена схема эксплуатации станка обработки металлов резанием.

На рис. 2. детализируется блок нахождения периодических решений систем нелинейных дифференциальных уравнений.

Схема эксплуатации станка обработки металлов резанием

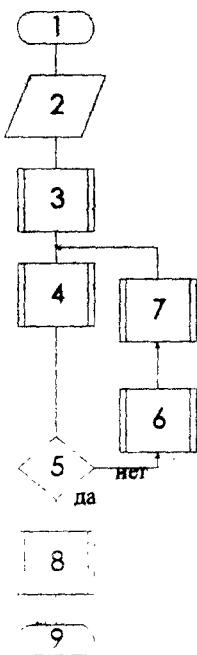


Рис.1. 2 - установка рабочего режима станка, 3 - закрепление детали, 4 - обработка детали, 5 - устраивает качество стружки?, 6 - расчет амплитуды колебаний сверла при новом параметре, 7 - изменение неуравновешенной массы на сателлите, 8 - работа станка.

Алгоритм нахождения периодических решений

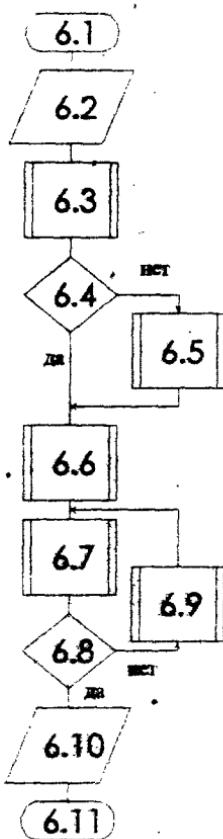


Рис. 2. 6.2 - ввод данных (собственная и вынужденная частоты геометрический параметр), 6.3 - расчет параметров условия существования решения, 6.4 - выполняется условие?, 6.5 - негарантируемость решения, 6.6 - инициализация массива, 6.7 - вычисление текущего значения массива, 6.8 - условие по выполнению точности решения, 6.9 - замена начальных значений полученными, 6.10 - вывод решения.

В качестве возбудителя колебаний инструмента для обеспечения вибрационного резания использован инерционно-импульсный механизм.

Общая схема механизма

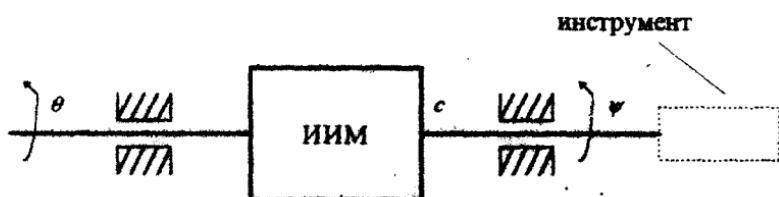


Рис. 3.

Схема инерционно-импульсного механизма

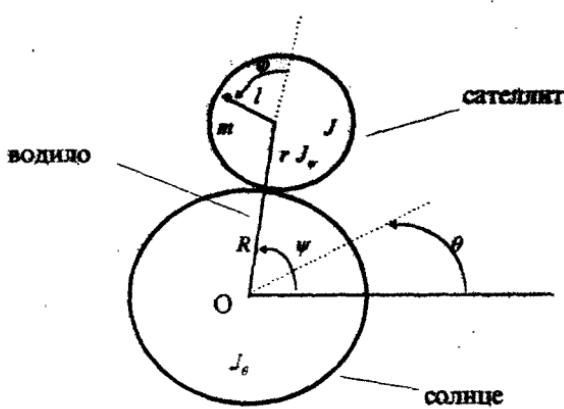


Рис.4.

Обозначения на рис.3. и рис.4.: φ , J , m - соответственно угол поворота, момент инерции относительно центра тяжести и масса сателлита с неуравновешенным грузом, θ , J_s - соответственно угол поворота солница и его момент инерции относительно точки О, v , c -

соответственно угол поворота ведила и его момент инерции относительно точки О.

Получили исходное уравнение, используя геометрические связи объекта, уравнения кинетической энергии, элементов работы внешних сил, уравнения Лагранжа II рода:

$$\ddot{x} + \omega^2 x = \lambda \frac{2 \cdot \omega^2 \cos(x - \tau) + (\dot{x} - 1)^2 \sin(x - \tau)}{1 + 2\lambda \cos(x - \tau)}.$$

Данное уравнение служит исходным данным для разработанного программного обеспечения, позволяющее решать уравнения такого класса.

Анализ результатов показал высокую точность и скорость получения выходных данных.

2. Практическая реализация управления стационарным процессом

Работа выполнена с целью обоснования структуры и параметров испытательных установок для поблочной отработки изделий на внешнее воздействие, обеспечивающее необходимое нагружение при заданном режиме испытаний, использования результатов расчетов по внедряемой методике при анализе схем испытательных установок для конкретных объектов и сравнения результатов расчетов с экспериментальными данными, использования разработанного программного обеспечения при подготовке и в процессе вибрационных испытаний крупногабаритных изделий машиностроения на воздействие низкочастотной случайной вибрации в лабораторных условиях.

В результате проведенной работы разработано программное обеспечение для IBM совместимых ПЭВМ позволяющее решать следующие задачи: осуществлять, исходя из результатов расчетов, анализ по выбору структуры и параметров испытательной установки при поблочной отработке изделий на транспортировочное воздействие, обеспечивающее необходимое нагружение для заданного режима испытаний; рассчитывать требуемые усилия вибровозбудителей для заданной нагруженности объекта испытаний и сравнивать их с

результатами испытаний; по результатам расчетов проводить анализ схем испытаний изделий и выбирать, с учетом имеющегося в наличии оборудования, схему, реализующую заданный режим.

На рис. 5. изображена функционально-структурная схема управления вибрационным стендом испытаний крупногабаритных изделий. На рис. 6. детализируется блок фильтра. Новизна данного блока заключается в том, что ранее не учитывалась погрешность измерений спектральных плотностей ускорений объекта и в случае, когда угловые миноры матрицы данных плотностей были близки к нулю, рассчитанное управление теряло физический смысл. В данном случае разработан и реализован фильтр при управлении вибрационными испытаниями крупногабаритных изделий, который действует на границе физически реализуемых сигналов, отбрасывает нереальные и исправляет сигналы, лежащие в пределах заданной точности.

Функционально - структурная схема управления вибрационным стендом

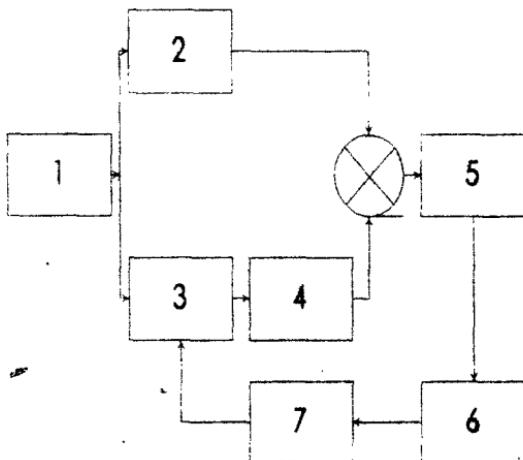


Рис.5. 1 - задание режима, 2 - управление с фильтром. 3 - оцениватель, 4 - добавка к управлению, 5 - исполнительное устройство. 6 - система. 7 - измеритель.

Схема решения вариационной задачи

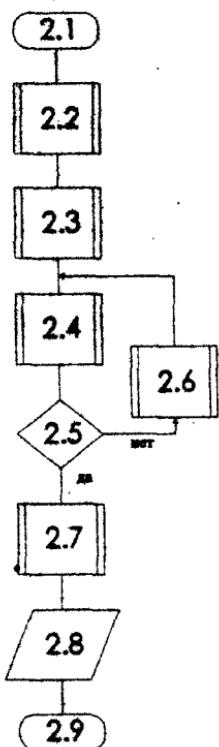


Рис.6. 2.2 - инициализация массива спектральных плотностей управлений объекта, 2.3 - унитарное преобразование матрицы спектральных плотностей ускорений объекта с помощью метода Холецкого, 2.4 - решение текущей линейной системы, 2.5 - все системы решены?, 2.6 - замена текущей системы на следующую, 2.7 - вычисление матрицы спектральных плотностей управлений, 2.8 - вывод данных.

Для решения обратной и вариационной задач динамики механической системы используется программа rev_var. В результате работы программы вычисляются величины спектральных плотностей усилий вибровозбудителей для заданного режима испытаний и спектральных плотностей ускорений для контрольных точек и точек

приложения нагрузки по выбранным компонентам. Решение обратной задачи позволяет определить потребные величины спектральных плотностей усилий от вибровозбудителей, при которых заданный режим выдерживается точно для выбранных компонент в контрольных точках, число которых равно числу компонент нагрузления. Решение вариационной задачи позволяет определить потребные величины спектральных плотностей усилий от вибровозбудителей, при которых отклонение величин спектральных плотностей ускорений по компонентам от заданного режима испытаний будет минимально возможным для выбранной схемы испытаний. Программа реализована в простейшем диалоговом режиме (запрос-ответ). Реализация спектральных плотностей усилий от вибровозбудителей, полученная в результате решения обратной задачи, гарантирует реализацию заданного режима испытаний для контрольных точек по компонентам, число которых точно соответствует числу компонент нагрузления. В остальных точках по оставшимся компонентам могут наблюдаться отклонения (и весьма существенные) от заданного режима испытаний. Реализация спектральных плотностей усилий от вибровозбудителей, полученная в результате решения вариационной задачи, гарантирует минимально возможное отклонение от заданного режима испытаний для всех контрольных точек и точек приложения нагрузки по всем компонентам, но при этом заданный режим испытаний возможно ни для одной контрольной точки с соответствующими компонентами не будет выдержан точно, а только с некоторым отклонением от заданного режима. Если величина отклонений допустима для заданного режима испытаний, а возможности оборудования имеющегося в наличии позволяют реализовать рассчитанный режим - может быть принято решение о проведении (продолжении) испытаний по рассчитанной схеме. Если по какой-либо из причин (не позволяют возможности оборудования или недопустима величина отклонений от заданного режима) схема признается непригодной для реализации

заданного режима испытаний и следует перейти к рассмотрению других возможных схем испытаний.

3. Практическая реализация восстановление профиля дороги

Известны начальные координаты центров переднего и заднего колес. На начальном отрезке известна траектория движения центра заднего колеса. Отметчик пути расположен на заднем колесе. Требуется, зная угол тангажа как функцию пути заднего колеса, определить траекторию движения переднего колеса, т.е. определить профиль дороги, по которому движется профилограф. Данная задача сводится к решению дифференциального уравнения с переменным запаздыванием аргумента. На рис. 7. изображена схема эксплуатации дороги и на рис.8. - проверка качества дороги более детально.

Схема жизнедеятельности дороги

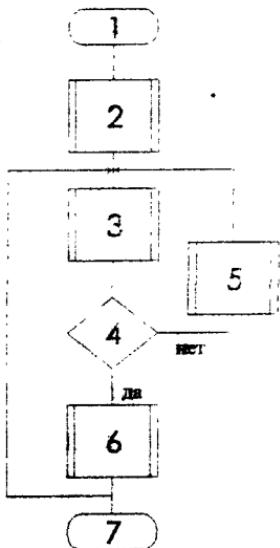


Рис. 7. 2 - прокладка дороги, 3 - проверка качества дороги, 4 - устраивает качество?, 5 - ремонт дороги, 6 - эксплуатация дороги.

Алгоритм решения задачи восстановления профиля

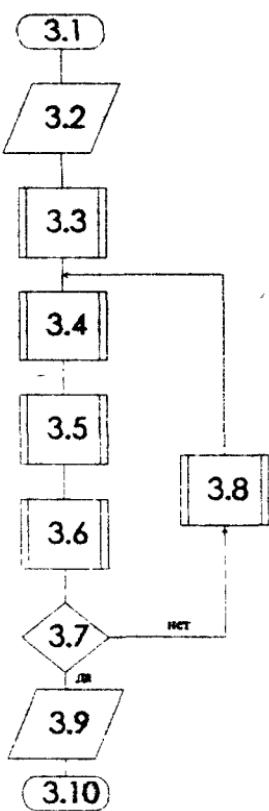


Рис.8. 3.2 - ввод числа отметок на колесе и значений углов тангажа, 3.3 - инициализация начальных координат, 3.4 - вычисление длины пути заднего колеса, 3.5 - вычисление длины пути переднего колеса, 3.6 - вычисление координат переднего колеса, 3.7 - все углы тангажа?, 3.8 - считывание нового угла, 3.9 - вывод координат.

Исходными данными для этой задачи являются: длина базы, длина окружности колеса, число отметок на оборот. Анализ результатов показывает, что точность восстановления профиля дороги довольно высока, что видно и из графика на экране дисплея во время работы программы. Разработанное математическое и программное обеспечение

нахождения периодических решений может применяться в разнообразных практических задачах. При анализе полученных решений очевидны точность и скорость требуемых вычислений.

В заключении приведены основные выводы и результаты работы.

Основные выводы:

полученная форма представления периодического решения имеет более удобный вид для применения ее в важных практических задачах, при ее использовании не требуется аналитичности правой части, как в некоторых ранее известных работах, она наиболее предпочтительна для численного решения методом итераций;

разработанный метод понижения размерности задачи в управлении стационарными случайными процессами наиболее удобен для практического применения;

предложенный метод восстановления профиля имеет большую точность, по сравнению с другими методами, используемыми в данной области.

Основные теоретические результаты:

построены представления периодических решений систем линейных дифференциальных уравнений в резонансном и нерезонансном случаях;

в нелинейном случае система дифференциальных уравнений сведена к системе интегральных уравнений на множестве периодических функций в резонансном и нерезонансном случаях, получены условия существования решения;

предложена четырехточечная схема интегрирования функций, которая заметно сглаживает краевые эффекты, увеличивая точность и скорость вычислений;

разработан метод понижения размерности задачи управления стационарным случайным процессом;

для задачи восстановления профиля получено уравнение с переменным запаздывающим аргументом.

Основные практические результаты:

оптимизация работы инерционно - импульсного механизма, установленного на токарном станке и обеспечивающего резание металла с дроблением стружки;

метод понижения размерности задачи в управлении объектом, на который воздействует внешняя стационарная случайная функция реализован для вибрационных испытаниях крупногабаритных изделий;

реализация измерений и обработки результатов при исследовании профиля дорожного покрытия;

выделение гармоник из сигнала, поступающего на вход устройства с помощью простейшего колебательного контура без диссипации энергии, позволяющее более компактно хранить полученную информацию при исследовании профиля дорожного покрытия;

программные реализации разработанных теоретических вопросов.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Геренштейн Е.А. Математическое обеспечение интеллектуальных систем исследования периодических решений нелинейных уравнений в нерезонансном случае // Интеллектуальные информационные технологии и стратегии в системной информатизации Уральского региона: Тез. докл. 1-й региональной конф. В 2 ч. Ч. II. Челябинск: МАИ, 1994. С. 59 - 63.

2. Геренштейн Е.А. Использование программ для расчета колебательных систем в курсах приборостроения // Технические средства и информационные технологии в образовании: Тез. докл. научно-практ. семинара. Челябинск: МАИ, 1993. С. 9 - 11.

3. Геренштейн Е.А., Геренштейн А.В. Иллюстрация применения математического инструментария (в гармоническом анализе) в образовательном процессе физико-математической школы на основе

компьютерной реализации алгоритмов выделения гармоник из сигнала // Информатизация системы образования: Сб. трудов научно-практ. конф. Челябинск: ЧГТУ, 1996. С. 69 - 71.

4. Геренштейн Е.А. Интеллектуализация алгоритмов выделения гармоник из сигнала // Новые информационные технологии в исследованиях дискретных структур: Сб. научных трудов конференции Уральского отделения Российской академии наук. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. С. 168 - 170.

5. Геренштейн Е.А. Понижение размерности задачи минимизации квадратичного функционала // Информационная проблематика нечетких технологий: Сб. докл. тематического конгресса. Екатеринбург: РУО МАИ, 1996. С. 168 - 170.

6. Геренштейн Е.А. Модификация численного метода интегрирования функций // Информационная проблематика нечетких технологий: Сб. докл. тематического конгресса. - Екатеринбург: РУО МАИ, 1996. С. 170 - 172.

7. Геренштейн Е.А. Геометризация метода решения задачи восстановления профиля // Культура, искусство и информатизация на пороге третьего тысячелетия: Сб. докладов Первого Уральского Форума. Челябинск: МАИ, 1996. С. 231 - 234.

8. Геренштейн Е.А. Математическое оформление системы интеллектуального подсказчика при тестировании прибора измерения профиля дороги // Опыт применения современных методов и средств обучения: Тез. докл. научно-методич. конференции. Челябинск: ЧГТУ, 1997. С. 88.

9. Геренштейн Е.А., Геренштейн А.В. Периодические решения систем дифференциальных уравнений. - М.: 1997. - 42 с. Деп. В ВИНИТИ, № 1943 - В97.

**Издательство Южно-Уральского государственного
университета**

ЛР № 020364 от 10.04.97. Подписано в печать 23.02.98. Формат
60*84 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1.
Тираж 80 экз. Заказ 75/100.

УОП Издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина. 76.