

отрицательного ускорения приводит к стабилизации зависимости  $P_z(v)$ . С увеличением  $a_s > 0$  степень влияния подачи на рост силы резания возрастает. Увеличение интенсивности снижения подачи приводит к снижению силы резания. Следует отметить, что подача инструмента и скорость ее изменения в большей степени влияют на силу резания, чем скорость резания и ускорение резания.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана теоретическая модель упруго-пластической деформации и напряженного состояния обрабатываемого материала в зоне резания, учитывающая явления технологической наследственности и запаздывания деформационных и тепловых процессов, протекающих в срезаемом слое при дискретном или непрерывном изменении элементов режима резания.

Получены новые зависимости для расчета силы и температуры резания, учитывающие не только текущее значение элементов режима резания, но и скорость и направление их изменения во время обработки.

УДК 681.3.06

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ НА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛНАХ

В. Х. ЯСОВЕЕВ

Факультет авиационного приборостроения УГАТУ  
Тел: (3472) 23 77 89 E-mail: artvh@ugatu.ac.ru

Рассмотрены вопросы создания преобразователей параметров движения на ультразвуковых волнах, распространяющихся в звукопроводах из магнитострикционного материала. Приведены формулы, описывающие последовательность преобразования входного сигнала, и основные технические характеристики

*Ультразвуковая волна; первичный преобразователь; магнитострикционный эффект; погрешность*

Современные системы управления летательными аппаратами предъявляют жесткие требования к точности первичных преобразователей [1]. К ним относятся и различные устройства преобразования положения элементов электрогидроприводов исполнительных устройств, измерители уровня компонентов топлива в баках летательных аппаратов и ряд других.

Работа с бортовыми ЭВМ ставит острую проблему аналого-цифрового преобразования первичной информации. Здесь возможно применение двух вариантов. В первом можно использовать аналоговый выходной сигнал в виде тока либо напряжения с последующим его преобразованием в цифровой эквивалент. Во втором случае элементы функции цифрового преобразования исходной информации о параметре совмещаются в одном преобразователе. Безусловно, что второй вариант предпочтителен, так как обеспечивает при надлежащем проектировании минимальные массо-габа-

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенберг Ю. А., Тахтман С. И. Силы резания и методы их определения. Часть I. Общие положения: Учеб. пособие. Курган: КМИ, 1995. 128 с.
2. Оксли П. Б. Механизм резания металлов с переменным напряжением текучести // Конструирование и технология машиностроения. 1962. № 4. С. 25–32.
3. Постнов В. В. Исследование стружкообразования при нестационарном резании // Автоматизированные технологические и мехатронные системы в машиностроении: Сб. науч. тр. Уфа: УГАТУ, 1997. С. 39–43.
4. Мигранов М. Ш. Изнашивание инструмента в условиях нестационарного процесса точения при изготовлении деталей ГТД: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа: УГАТУ, 1995. 14 с.

### ОБ АВТОРЕ

Постнов Владимир Валентинович, доцент каф. автоматизированных технологических систем УГАТУ. Дипл. инж.-механик (УАИ, 1972); канд. техн. наук по механической и физико-технической обработке, станкам и инструментам (УАИ, 1981). Исследования в области физической оптимизации нестационарных процессов резания жаропрочных сталей и сплавов.

ритные показатели. Хорошие результаты следует ожидать при использовании ультразвуковых преобразователей [2]. Во многом это объясняется их преимуществами перед другими типами первичных преобразователей перемещений, заключающимися в том, что их выходной величиной является время движения волны упругой деформации от излучателя до приемника, которое преобразуется в цифровой код с высокой точностью. Они имеют линейную статическую характеристику, высокое быстродействие, малые габариты и массу.

Согласно алгоритму преобразования, в структуре ультразвукового преобразователя перемещений предусмотрено два основных блока: первичный измерительный преобразователь, служащий средством выражения перемещения в виде временного интервала, и электронный блок, необходимый для формирования сигналов с первичного преобразователя, фиксации временного интерва-

ла — эквивалента перемещения, скорости и ускорения.

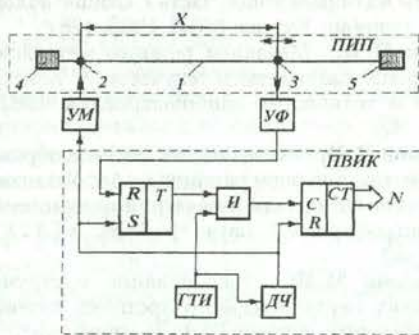


Рис. 1. Базовая схема ультразвукового преобразователя перемещений

Базовая схема ультразвукового преобразователя перемещений (УПП) (рис. 1) состоит из первичного измерительного преобразователя (ПИП) и вторичных функциональных узлов, состоящих из усилителя мощности УМ, усилителя-формирователя УФ и преобразователя временных интервалов в код (ПВИК). ПИП состоит из прямой линейной звукопровода 1, выполняемого в виде проволоки, ленты, стержня или трубки из магнитоstrictionного материала, неподвижного входного электроакустического преобразователя ЭАП 2, подвижного выходного ЭАП 3 и акустических демпферов 4 и 5. В УПП могут использоваться различные типы ЭАП [3], однако наибольшее применение находят излучатели и приемники в виде катушек (сосредоточенных и распределенных) с постоянными магнитами, отличающиеся бесконтактностью излучения и приема ультразвуковых волн, повышенными вибро- и радиационной стойкостью.

Рассмотрим метод измерения, в котором определение механического перемещения подвижного объекта осуществляется посредством смещения подвижного элемента, находящегося с ним в жестком механическом контакте, и измерения величины линейного перемещения с помощью импульса упругой деформации, возбуждаемого магнитной составляющей электромагнитного поля (эффект Джоуля), в «опорном сечении» звукопровода 1 (рис. 2) и регистрации времени его движения в «измерительном сечении» звукопровода.

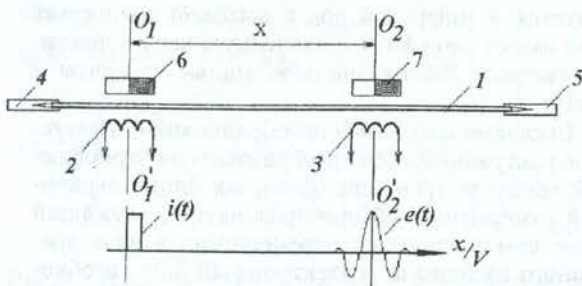


Рис. 2. Первичный магнитоstrictionный преобразователь перемещений

За «опорное сечение» принято центральное сечение  $O_1 - O_1^1$  постоянного магнита 6. За «измерительное сечение» — центральное сечение  $O_2 - O_2^1$  постоянного магнита 7.

Принцип формирования волны упругой деформации, характеристикой которой является величина механического напряжения  $\sigma(t)$  [4], заключается в следующем. При подаче импульса тока  $i(t)$  в катушку 2 создается магнитный поток

$$\phi(t) = \frac{i(t)W}{R_m},$$

где  $W$  — число витков катушки;  $R_m$  — магнитное сопротивление на пути потока  $\phi(t)$ .

В звукопроводе магнитное поле характеризуется величиной индукции  $B(t)$ , которая определяется по формуле

$$B(t) = \frac{\phi(t)}{S},$$

где  $S$  — поперечное сечение звукопровода.

Значение механического напряжения  $\sigma(t)$  можно определять согласно следующей формуле:

$$\sigma(t) = aB(t),$$

где  $a$  — чувствительность электроакустического преобразователя.

Таким образом, волна деформации  $\sigma(t)$ , сформированная в опорном сечении  $O_1 - O_1^1$ , начинает двигаться со скоростью  $V$ , зависящей от характеристик и параметров звукопровода влево и вправо от опорного сечения. Величина скорости распространения продольных колебаний с учетом дисперсии в звукопроводе круглого сечения равна [5]

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \left[ b_0 + b_1 \frac{2R}{\lambda} + b_2 \left( \frac{2R}{\lambda} \right)^2 \right],$$

где  $b_0, b_1, b_2$  — коэффициенты аппроксимации;  $R$  — радиус звукопровода;  $\lambda$  — длина волны;  $E$  — модуль упругости материала звукопровода;  $\rho$  — плотность материала звукопровода. Скорость распространения продольных колебаний с учетом дисперсии в звукопроводе прямоугольного сечения (ленте) равна [6]

$$V = V_{пл} \left[ B_1 + B_2 \left( \frac{2hf}{V_2} \right) + B_3 \left( \frac{2hf}{V_2} \right)^2 \right],$$

где  $V_{пл} = \sqrt{\frac{E}{\rho(1+\nu)(1-\nu)}}$ ;  $V_2 = V_{пл} \sqrt{\frac{(1-\nu)}{2}}$ ;  $B_1, B_2, B_3$  — коэффициенты аппроксимации;  $2h$  — толщина ленточного звукопровода;  $\nu$  — коэффициент Пуассона;  $f$  — частота волны.

Ультразвуковая волна, распространяющаяся влево от опорного сечения  $O_1 - O_1^1$ , практически сразу же рассеивается на акустическом демпфере 4. Волна, распространяющаяся вправо через время

$$t_x = \frac{x}{V},$$

где  $x$  — расстояние между элементом возбуждения и элементом считывания;  $V$  — скорость ультразвуковой волны в звукопроводе, достигает измерительного сечения  $O_2 - O_2^1$  и наводит ЭДС в катушке 3. Форма ЭДС приведена на рис. 2. Формула для определения величины сигнала в приемной катушке имеет вид [7]

$$e(t) = -W_n \frac{d\phi_n}{dt} = -W_n S_n \Lambda \frac{d\sigma}{dt},$$

где  $W_n$  — число витков приемной катушки;  $S_n$  — площадь поперечного сечения на пути магнитного потока  $\phi_n$ , пронизывающего приемную катушку;  $\Lambda$  — чувствительность электроакустического преобразователя (по звуковому давлению) как приемника.

Магниты 6, 7 в ПИП используются для увеличения амплитуды возбуждаемых и принимаемых сигналов. Форма магнитов может быть подковообразная, цилиндрическая или стержневая. Оптимальное поле подмагничивания для никелевого звукопровода (материал НП2Т) 1000–2000 А/м, для перминдюра (49 КФ, 49 КФ2, 49 КФА) — 400–600 А/м [8].

Конструктивно звукопровод крепится на растяжках и не касается катушек 2 и 3. Узлы крепления концов звукопровода, как правило, имеют демпферы 4 и 5, предназначенные для исключения отражения волн от торцов звукопровода, хотя возможны конструкции с отражением от свободных торцов, имеющие более сложный алгоритм обработки выходных сигналов [9].

ПВИК (см. рис. 1) содержит триггер Т, логический элемент И, двоичный счетчик СТ, генератор тактовых импульсов ГТИ и делитель частоты ДЧ.

Стартовый импульс преобразуется с помощью усилителя мощности в импульс тока возбуждения, который посылается в катушку 2. Импульс ЭДС  $e(t)$  преобразуется с помощью усилителя-формирователя в прямоугольный импульс цифрового уровня, по которому сбрасывается триггер, затем закрывается логический элемент И и в счетчике накапливается код

$$N = E\left(\frac{t_x}{T_0}\right),$$

где  $E(\cdot)$  — целая часть выражения;  $T_0$  — период следования импульсов с ГТИ.

Этот код пропорционален перемещению  $X$  элемента считывания, связанного с контролируемым объектом.

Измеряемый интервал времени  $t_x$  определяется (без учета погрешности нестабильности частоты ГТИ) по следующей формуле:

$$t_x = NT_0 \pm \Delta_{кв},$$

где  $\Delta_{кв} = \Delta t_1 - \Delta t_2$ .

Составляющая  $\Delta t_1$  погрешности обусловлена несовпадением начала интервала времени  $t_x$ , а составляющая  $\Delta t_2$  — несовпадением его окончания с фронтами счетных импульсов.

Все известные методы уменьшения погрешности квантования можно разделить на две группы: методы уменьшения  $\Delta t_1$  и методы уменьшения  $\Delta t_2$  составляющих погрешности квантования.

К первой группе методов относятся:

- синхронизация начала преобразуемого интервала времени с фронтом счетного импульса;
- использование генератора ударного возбуждения;
- деление частоты генератора счетных импульсов;
- умножение частоты для формирования счетных импульсов.

Ко второй группе методов относятся:

- применение рециркуляционного преобразователя;
- растяжка преобразуемого интервала времени;
- использование линий задержки;
- предварительное преобразование временно интервала в напряжение;
- нониусный метод;
- метод многократного нониуса.

При проектировании рассматриваемых преобразователей параметров движения для уменьшения погрешности квантования следует одновременно применять методы уменьшения обеих составляющих погрешности, руководствуясь при выборе ПВИК такими критериями, как простота конструкции, время и точность преобразования.

Из методов уменьшения составляющей  $\Delta t_1$  погрешности квантования наиболее эффективно применение синхронизации начала преобразуемого интервала времени с фронтом счетного импульса. Использование генератора ударного возбуждения в УПП нежелательно вследствие невысокой стабильности частоты счетных импульсов. При делении частоты генератора счетных импульсов теряется возможность синхронизации запуска преобразования по внешним сигналам, что часто является неприемлемым. Метод умножения частоты для формирования счетных импульсов сложен по своей технической реализации. При уменьшении составляющей  $\Delta t_2$  целесообразней всего использовать нониусный метод (однократный или многократный), так как он обладает сравнительно высокой точностью, простотой реализации (однократный нониус) и временем преобразования, которое при рациональном проектировании может ненамного превышать длительность преобразуемого интервала.

При использовании линий задержки необходимо термостабилизировать конструкцию преобразователя, что является нежелательным с точки зрения затрат.

Применение рециркуляционного преобразователя дает самую высокую точность, однако в этом случае время преобразования становится недопустимо большим для УПП. Возможно использовать рециркуляционный преобразователь не для всего интервала времени  $t_x$ , а лишь для отрезка времени  $\Delta t_2$  составляющей погрешности квантования базовой схемы. Методам растяжки времен-

ного интервала и предварительного преобразования временного интервала в напряжения присущи погрешности, вносимые аналоговыми узлами, поэтому их применение в УПП нецелесообразно.

В результате исследований был разработан ряд устройств и способов ультразвукового преобразования параметров движения [10–12]. На рис. 3 представлена структурная схема одного из вариантов разработанных ультразвуковых преобразователей параметров движения (УППД).

Устройство состоит из первичного магнитострикционного преобразователя перемещений ПМПП, первого и второго усилителей-формирователей УФ1 и УФ2, микроконтроллера МК, преобразователя напряжений в ток ПНТ, одновибратора ОВ, тактового генератора ТГ, генератора стартового импульса ГСИ, генератора импульсной посылки ГИП, селектора каналов СК, преобразователя временных интервалов в код ПВИК, схемы сопряжения с последовательным интерфейсом RS-485 ССИ, кнопки Кн и энергонезависимого оперативного запоминающего устройства ЗУ.

ПМПП содержит прямолинейный магнитострикционный звукопровод 1, сосредоточенную катушку возбуждения 2 с постоянным магнитом 3, распределенную приемную катушку 4 с постоянным магнитом 5, связанную с контролируемым объектом, сосредоточенную приемную катушку 6 с постоянным магнитом 7 и акустические демпферы 8 и 9.

Первый усилитель-формирователь УФ1 содержит избирательный усилитель ИУ, делитель напряжения ДН, источник постоянного напряжения ИПН, первый и второй компараторы К1 и К2 и логический элемент И. УФ2 построен аналогично.

УФ1 и приемная катушка 4 образуют измерительный канал, а УФ2 и приемная катушка 6 – опорный канал.

Функции МК сводятся к следующему:

- вычисление времени распространения каждой ультразвуковой волны от катушки возбуждения до подвижного 5 и неподвижного магнита 7;
- компенсация погрешности от затухания ультразвуковой волны в магнитострикционном звукопроводе и задержек сигнала цифровыми микросхемами;
- компенсация логометрическим методом погрешности от температурной нестабильности скорости распространения ультразвуковой волны по магнитострикционному звукопроводу.

#### Основные технические характеристики УППД

Диапазон измерений, мм	0...2000
Чувствительность, мкс/мм	0,2
Основная погрешность, %	0,05
Разрешающая способность по перемещению, мм	0,25

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коптев Ю. Н., Горюш А. В.** Датчиковая аппаратура для ракетно-космической техники // Радиотехника. 1995. № 10. С. 5–6.
2. **Ураксеев М. А., Мукаев Р. Ю., Ясовеев В. Х.** Магнитострикционные преобразователи перемещений с постоянным магнитом // Приборы и системы управления. 1999. № 2. С. 24–25.
3. **Ясовеев В. Х.** Классификация ультразвуковых преобразователей параметров движения и методы повышения их точности // Новые методы, технические средства и технологии получения измерительной информации: Материалы Всерос. науч.-тех. конф. Уфа: УГАТУ, 1997. С. 28–29.

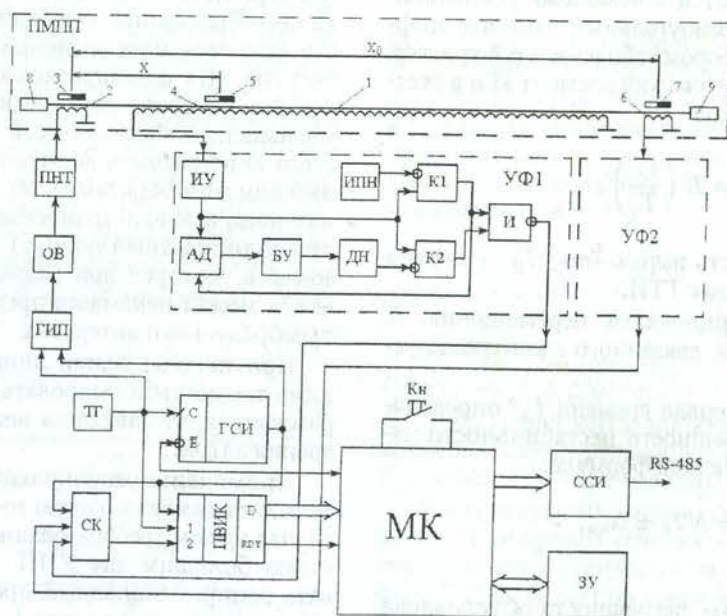


Рис. 3. Структурная схема ультразвукового преобразователя параметров движения

4. Гусейнова Т.И., Мукаев Р.Ю., Ясовеев В.Х., Соколов К.И. Возбуждение ультразвуковых волн электромагнитным полем в магнитострикционном звукопроводе // Управляемые электрические цепи и электромагнитные поля: Межвуз. науч. сб. Уфа: УГАТУ, 1997. С. 45–48.
5. Мукаев Р.Ю., Ясовеев В.Х. Математическая модель акустических датчиков перемещения со стержневым магнитострикционным волноводом // Измерительные преобразователи и информационные технологии. Уфа, 1996. С. 180–187.
6. Ясовеев В.Х., Мукаев Р.Ю. Математическая модель магнитострикционного преобразования параметров движения с ленточным волноводом // Измерительные преобразователи и информационные технологии. Уфа, 1996. С. 13–19.
7. Мукаев Р.Ю., Березовская Е.С., Ясовеев В.Х. Математическая модель магнитострикционного датчика перемещений // Датчики систем измерения, контроля и управления: Межвуз. сб. науч. тр. Пенза, 1995. Вып. 15. С. 43–46.
8. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Под ред. И.П. Голяминой. М.: Советская энциклопедия, 1979. 400 с.
9. Домрачев В.Г., Матвеевский В.Р., Смирнов Ю.С. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений: Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1987. 392 с.
10. Пат. № 2090839 (РФ). Магнитострикционный преобразователь перемещений / Р.Ю. Мукаев, Е.С. Березовская, В.Х. Ясовеев. Оpubл. в БИ, 1997. № 26.
11. Пат. № 2125235 (РФ). Способ измерения линейных перемещений / В.Х. Ясовеев, Р.Ю. Мукаев, К.И. Соколов. Оpubл. в БИ, 1999. № 2.
12. Пат. № 2117914 (РФ). Способ измерения линейных перемещений / В.Х. Ясовеев, Р.Ю. Мукаев, К.И. Соколов. Оpubл. в БИ, 1999. № 23.

**ОБ АВТОРЕ**

**Ясовеев Васих Хаматович**, доцент, докторант УГАТУ. Дипл. инж.-элетромеханик (УГАТУ, 1975), канд. техн. наук по элементам и устройствам вычислительной техники и систем управления (УГАТУ, 1984). Исследования в области датчиков и преобразователей информации

УДК [681.5:658.5]:681.3

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМОЙ**

**Р. Г. ВАЛЕЕВА**

Факультет информатики и робототехники УГАТУ  
Тел: (3472) 23 82 80 E-mail: valeeva@tc.ugatu.ac.ru

Рассмотрены особенности мультиагентных (многокомпонентных) производственных систем как объектов управления, функционирующих в условиях динамичной рыночной среды. Разработан подход к построению системы имитационного моделирования (СИМ) динамики процессов производства, реализации продукции и интеллектуального управления на базе концепции развитой моделирующей среды. СИМ позволяет конфигурировать систему моделирования в соответствии с целями экспериментов, проводить экспериментальные исследования по выбору структур, моделей и алгоритмов управления многокомпонентной производственной системой, а также по определению наиболее эффективной стратегии поведения системы, осуществлять поддержку принятия решений по управлению в условиях неопределенности. Предложенная технология разработки информационно-управляющих систем соответствует технологиям активного обучения

*Система имитационного моделирования; концепция моделирующей среды, многокомпонентная (мультиагентная) производственная система; принятие решений; интеллектуальная информационно-управляющая система*

**ВВЕДЕНИЕ**

Повышение эффективности управления производством является важной проблемой, решение которой становится особенно актуальным в современных условиях, которые характеризуются изменением как самих производств, так и среды их функционирования. К отличительным особенностям современного производства следует отнести следующие:

- частую сменяемость видов выпускаемой продукции, обусловленную быстро изменяющимися потребностями рынка и возможностями научно-технического прогресса;
- усложнение технологической, организационной и информационной структуры производ-

ства, определяемое усложнением самих выпускаемых изделий и внедрением перспективных технологий их обработки и новых информационных технологий;

- сокращение жизненного цикла изделий за счет сокращения сроков на их разработку и изготовление путем внедрения высокоэффективных систем автоматизированного проектирования и средств автоматизации производства.

Функционирование производства в условиях рыночных отношений усложняется, прежде всего, за счет существенной нестабильности среды и направленного противодействия конкуренции целям производственной системы (ПС).

С учетом этих новых свойств системы и среды ее функционирования производственные системы

