

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель:

Голенков В. А. д.т.н., проф.

Зам. председателя:

Степанов Ю. С. д.т.н., проф.

Светкин В. В. к.т.н. доц.

Колчунов В. И. д.т.н., проф.

Гордон В. А. д.т.н., проф.

Константинов И. С. д.т.н., проф.

Садков В. Г. д.э.н., проф.

Кулаков А. Ф. к.т.н., доц.

Фролова Н. А. к.социол.н., доц.

Соков О. А. к.т.н., доц.

Борзенков М. И. к.т.н., доц.

Поландова Л. И.

Одолеева М. В.

РЕДКОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

Главный редактор:

Степанов Ю. С. д.т.н., проф.

Зам. главного редактора:

Киричек А. В. д.т.н., проф.

Зам. главного редактора:

Подмастерьев К. В. д.т.н., проф.

Васильев А. С. д.т.н., проф.

Васин С. А. д.т.н., проф.

Дальский А. М. д.т.н., проф.

Зубарев Ю. М. д.т.н., проф.

Суслов А. Г. д.т.н., проф.

Технический редактор:

Марков В. В. к.т.н.

Художественный редактор:

Барсуков Г. В. к.т.н. доц.

Компьютерная верстка:

Марков В. В. к.т.н.

АДРЕС РЕДАКЦИИ СЕРИИ

302020 Россия, Орел,  
Наугорское шоссе, д. 29

Кафедра ПМиС

Редколлегия журнала

Известия ОрелГТУ.

Серия «Машиностроение.

Приборостроение»

тел: (4862) 41-98-76, 41-98-18

факс: (4862) 41-66-84

E-mail: pms35@mail.ostu.ru

Зарегистрировано в Министерстве РФ

по делам печати, телерадиовещания

и средств массовой информации

Свидетельство: ПИ № 77-15496

от 20 мая 2003 г.

Формат 69×90/8

Печать ризография.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 7

Тираж 500 экз.

© ОрелГТУ, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

• ПРИБОРЫ, МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

- Милюшин Н.Н. Способ определения быстродействия датчика приближения токопроводящей среды посредством коммутирования плоского контура ..... 2
- Авдеев В.П. Статистическая модель процесса неразрушающего контроля плиточных строительных материалов ..... 4
- Рабочий А.А. Мостовой преобразователь температура-напряжение в условиях эксплуатации .. 7
- Кореньев М.Н. Исследование погрешности измерения поверхностной температуры плоского тела, вызванной теплооттоком по электродам термопары ..... 9
- Есипов В.Н., Мерцалов В.М. Статические и динамические характеристики гидроакустического гироскопического датчика в режиме измерения переменных угловых скоростей ..... 12
- Шкатов П.Н., Лисицин О.Н. Расчет параметров, вносимых в проходной вихретоковый преобразователь полыми цилиндрическими изделиями со сквозными трещинами ..... 15
- Малинин А.В. Исследование накладных вихретоковых преобразователей со стержневыми сердечниками и разработка программных и аппаратных средств для дефектометрической оценки металлоизделий ..... 20
- Воронин Р.Н. Метод и средство контроля реологических характеристик макиша хлебобулочных изделий ..... 25

• ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ

- Бондарева Л.А., Жучков А.Н. Использование гармонического анализа при проектировании средств измерения и контроля биосигнала растений ..... 31
- Егоров Б.А., Бодров М.А., Яковенко М.В., Петрова О.С., Жданов В.А. Возможности использования изменения температуры тела пациента при токовой терапии в качестве источника обратной связи для биоуправления физиоаппаратами ..... 33

• ТРИБОЛОГИЯ И ТРИБОМОНИТОРИНГ

- Бакурова Ю.А. Измерение температуры реза в зоне резания ..... 36
- Мельник Е.Е. Обоснование влияния температурных всплесков в процессе резания на формирование химической и фазовой неоднородности твердосплавного металлорежущего инструмента ..... 38
- Киричек А.А. Результаты теоретических исследований вихретокового метода вибродиагностики вращающихся машин ..... 40
- Подмастерьев К.В., Марков В.В., Сафонов М.А. Анализ технических требований к средствам диагностирования подшипников качения электрорезистивным методом ..... 42
- Сидоров А.М. Стенд контроля и диагностики подшипников скольжения ..... 45
- Мишин В.В., Моисеев П.П., Викторов А.И. Концепция стендового оборудования для технологической обкатки и сборки подшипникового узла, работающего в колебательном режиме ..... 47

• ЭЛЕМЕНТЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

- Суздальцев А.И., Сафронова Н.А., Сёмкин А.Н. Некоторые вопросы мониторинга при автоматизированном сопровождении транспортных средств ..... 49
- Петров С.И. Зависимость параметров теплоносителя на абонентском вводе когенерационной системы централизованного теплоснабжения от динамических характеристик других абонентских вводов и тепловой сети ..... 51

• ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

- Сковпень В.Н. Расчет биметаллических преобразователей и приборов с использованием «хлопающего» диска ..... 53

• ТЕХНОЛОГИЯ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

- Василенко Ю.В., Подзолков М.Г., Воронков А.В. Разработка сборного продольно-прерывистого инструмента с аксиально-смещенным режущим слоем для плоского шлифования ..... 56

• ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

- Афонин А.Н. Математическое моделирование полей напряжений и деформаций при резьбонакатывании ..... 60

• ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ

- Брусов С.И., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Особенности определения составляющих силы резания при многопроходной обработке винтовых поверхностей ..... 64
- Тарапанов А.С., Харламов Г.А., Полохин О.В. Влияние параметров инструментов червячного типа на шероховатость зубьев ..... 66

• СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

- Углова Н.В., Лисовская З.П. Качество и безопасность услуг и их нормативно-правовая база ..... 70
- Киселева Т.П. Реализация принципов менеджмента качества в вузе ..... 75

• ЭКОНОМИКА

- Степанова Е.Ю. Нематериальные активы в вертикально-интегрированных компаниях ... 77

## ПРИБОРЫ, МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

УДК 620.1

Милюшин Н.Н.

(ООО «Лаборатория Инженерных Разработок»)

Россия, г. Калуга, тел. (4842)541034; E-mail: [lir@kaluga.ru](mailto:lir@kaluga.ru)

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ДАТЧИКА ПРИБЛИЖЕНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩЕЙ СРЕДЫ ПОСРЕДСТВОМ КОММУТИРУЕМОГО ПЛОСКОГО КОНТУРА

*There shown the measuring procedure of fast operation of inductive proximity sensors in current carrying medium. Measuring according to this procedure performed by means of switching flat loop placed parallel to active surface of sensor. For measuring one provides the periodical closing of loop ends between them with gradual increase of frequency while checking at the same time the function of sensor. As maximum response, frequency of sensor considered switching frequency of flat loop at which the steady switching still observed.*

При оценке частотных свойств датчиков приближения токопроводящей среды фирмы – изготовители традиционно используют способ, согласно которому перед активной поверхностью датчика на заданном расстоянии от неё перемещают тестовую пластину, обычно стальную [1, 2]. Расстояние между активной поверхностью датчика и тестовой пластиной, как правило, составляет половину номинального расстояния срабатывания [1, 2]. Перемещение тестовой пластины осуществляется механически, возвратно-поступательным или вращательным движением [1, 2].

Конфигурация и геометрические размеры тестовых пластин определяются как видом механического используемого движения, так и типоразмером датчика [1]. При возвратно-поступательном движении тестовая пластина представляет собой рейку с пазами. Ширина паза равна удвоенному, а глубина и расстояние между пазами – одинарному размеру активной площади испытуемого датчика. При использовании вращательного движения тестовая пластина выполняется в виде зубчатого диска, толщина которого, а так же высота и ширина зуба равны одинарному размеру активной площади датчика, а расстояние между зубьями равно удвоенному размеру. Таким образом, в обоих случаях тестовая пластина имеет шаг зубьев, равный трем размерам активной площади датчика. Типовое быстродействие датчика составляет 3500...5000 Гц. Для проверки таких значений необходимо перемещать тестовую пластину с линейной скоростью:

$$V = 3D \cdot F, \quad (1)$$

где  $V$  – линейная скорость, м/с;

$D$  – диаметр активной площади датчика, м;

$F$  – частота переключения, с<sup>-1</sup>.

Скорость вращения зубчатого тестового диска при заданном значении частоты срабатывания датчика определяется соотношением, которое следует из (1) и геометрических соотношений параметров диска:

$$n = 60 \cdot F / m, \quad (2)$$

где  $n$  – скорость вращения зубчатого диска, с<sup>-1</sup>;

$m$  – число полных тестовых зон зубчатого венца (обычно  $m = 5 \dots 10$ ).

Требуемая линейная скорость зависит как от геометрических размеров активной площади датчика, так и от частоты его переключения. При максимальной частоте переключения 5000 Гц (типичное значение у серийных датчиков [1, 2]) и диаметре активной поверхности 0,03 м линейная скорость тестовой пластины составит 150 м/с. Увеличение частоты переключения датчика всего в два раза, до 10000 Гц, приведет к необходимости задания линейной скорости 300 м/с. При применении вращательного движения при тех же значениях частот срабатывания датчика требуемые частоты вращения тестового зубчатого диска составят соответственно 60000 и 120000 об/мин. Разработка новых типов датчиков, позволяющих измерять скорость перемещения токопроводящей пластины с максимальной скоростью 800-1200 м/с и более требует нового подхода к тестированию и аттестации таких датчиков. Механические методы формирования тестовых воздействий путем перемещения токопроводящих пластин имеют свою обоснованную область применения. Наиболее перспективным представляется способ измерения частоты срабатывания датчика приближения токопроводящей среды, основой которого является коммутируемый плоский контур (КПК). Сущность данного способа заключается в том, что на заданном расстоянии от активной поверхности датчика и в параллельной ей плоскости размещается плоский контур из токопроводящего материала, например из медного провода круглого сечения. При этом размеры контура соответствуют размеру активной поверхности датчика. При реализации способа осуществляют периодическое замыкание концов контура с нарастающей частотой и контролируют реакцию испытуемого датчика. При появлении сбоев в срабатывании датчика частоту замыкания концов плоского контура, при которой датчик ещё работал без сбоев, принимают за максимальную частоту срабатывания. Для определения потенциальных метрологических характеристик методов КПК и формирования методики расчета технических

средств, реализующих данный метод, была предложена следующая модель взаимодействия КПК и активной поверхности датчика.

При проведении оценки быстродействия датчика приближения механическим способом тестовую пластину размещают на расстоянии  $S_n/2$ , где  $S_n$  – номинальное расстояние срабатывания датчика [1]. Внесение тестовой пластины в поле чувствительного элемента датчика, представляющего собой резонансный колебательный контур автогенератора, приводит к изменению эквивалентного сопротивления колебательной системы. Считается, что происходящий при этом электромагнитный процесс представляет собой обмен энергией между двумя индуктивно связанными контурами – катушкой индуктивности контура генератора и её электромагнитным отображением в тестовой пластине [3]. Исходными уравнениями для определения поля датчика и описания величины взаимодействия электромагнитного поля и тестовой пластины являются уравнения Максвелла. Традиционным является использование вектор-потенциала электромагнитного поля и уравнения Гельмгольца, которое для вектор-потенциала  $A$  поля имеет вид:

$$A + k^2 \cdot A = -\mu_0 \cdot \mu \cdot j_{ст} \quad (3)$$

где  $k^2 = \omega^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon - j \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot \sigma$ ,

$j_{ст}$  – плотность сторонних токов, т.е. токов, заданных внешним источником;

$\mu_0$  – абсолютная магнитная проницаемость воздушной среды (магнитная постоянная);

$\mu$  – относительная магнитная проницаемость вещества;

$\epsilon_0$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость воздушной среды (электрическая постоянная);

$\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость вещества;

$\sigma$  – электропроводность вещества;

$\omega$  – частота.

При этом в случае плоской электромагнитной волны используют понятие глубины проникновения – расстояния, на протяжении которого напряженность поля уменьшилась в  $e$  раз. Глубина проникновения для проводящих сред [4]:

$$X = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \sigma \cdot \mu}} \quad (4)$$

Как видно, глубина проникновения зависит в том числе и от проводимости среды. Так, глубина проникновения тока в медь при частоте тока 1 кГц составляет 2,7 мм, а при 10 кГц – 0,67 мм [4].

Учитывая, что рабочие значения частот активных элементов датчиков различных типов составляют десятки килогерц, возможно применение в качестве материала для КПК медного провода диаметром 1...1,5 мм, из которого формируют плоское незамкнутое кольцо.

Сформировать аналитические соотношения, описывающие взаимодействие датчика как системы и плоского коммутируемого контура, в общем виде не представляется возможным ввиду доста-

точно сложного математического описания процессов, происходящих в самом датчике и определяемых в первом приближении как параметрами активного элемента, используемого в качестве усилителя, разнообразием схемотехнических решений генераторной части датчика, так и различными принципами получения и регистрации полезного сигнала [3, 4, 6]. Кроме того, известные аналитические описания чувствительности относятся к вполне определенным вариантам реализации датчика и, в частности, по этой причине не могут быть удовлетворительными, т.к. рассматриваемая процедура определения максимальной частоты срабатывания датчика как количественная оценка одного из его свойств сама по себе инвариантна и не коррелирована с конкретной технической реализацией датчика.

Исходя из этого, представляется обоснованным приведение всего многообразия технических решений датчиков к одной типовой структуре, которая состоит из последовательного включения двух элементов:

– индуктивного параллельного колебательного контура в качестве чувствительного элемента;

– электронной цепи, объединяющей все активные и пассивные компоненты, а также связи между ними (такая обобщенная структура названа типовым датчиком).

В одиночном параллельном контуре комплексное сопротивление контура имеет активный характер, и сигнал LC-генератора зависит как от внесенного сопротивления, так и от изменения характеристического сопротивления, обусловленного внесенным реактивным сопротивлением. Чувствительность датчика определяется добротностью  $Q$  контура [3]:

$$Q = 1/(r/\rho + r/R_{вт}), \quad (5)$$

где  $\rho$  – волновое сопротивление контура;

$r$  – активное сопротивление контура;

$R_{вт}$  – внесенное сопротивление потерь.

Добротность  $Q$  определяется активным сопротивлением параллельного контура и шунтирующим влиянием внесенного сопротивления. Обычно катушка индуктивности датчика приближения проводящей среды представляет собой короткую цилиндрическую многослойную катушку, размещенную в чашеобразном ферритовом сердечнике. Ферритовый сердечник осуществляет локализацию магнитного поля в более ограниченном объеме пространства по сравнению с объемом пространства поля аналогичной катушки без сердечника. Поэтому можно допустить, что взаимодействие катушки индуктивности и ферритового сердечника с плоским контуром будет характеризоваться соотношениями, аналогичными для катушки без сердечника.

Для оценки взаимодействия КПК и активного элемента типового датчика целесообразно использовать положения теории воздушного трансформатора [7], к которому рассматриваемые процессы являются наиболее близкими по физической сущности. При этом в качестве первичной обмотки и источника энергии принят колебательный контур типового датчика, а в качестве вторичной обмотки – виток коммутируемого плоского контура. Нагрузкой служило комплексное сопротивление коммутируемого плоского контура в замкнутом состоянии. Срабатывание датчика происходило тогда, когда внесенное сопротивление КПК оказывало такое шунтирующее дей-

ствии на колебательный контур чувствительного элемента, которое приводило к срыву условий существования непрерывных колебаний в контуре или к такому изменению характеристик напряжения на колебательном контуре, которое вызывало срабатывание электронной схемы датчика.

Практическое осуществление способа определения максимальной частоты срабатывания датчика приближения токопроводящей среды апробировано на лабораторной установке с использованием как серийно выпускаемых датчиков приближения производства различных фирм, так и опытных образцов вновь разработанных высокоскоростных датчиков. В результате проведенных экспериментов установлена работоспособность данного технического решения вплоть до частоты 100 кГц. В настоящее время проводятся работы по обоснованию сходимости результатов измере-

ния частоты срабатывания датчика традиционным механическим путем и предложенным способом.

#### Литература:

- 1 TURCK / Sensors Catalog. – 1994.
- 2 Honeywell Micro Switch Katalog. – E50. – 1987.
- 3 Арш Э.И. Автогенераторные методы и средства измерений. – М.: Машиностроение, 1979. – 256 с.
- 4 Арш Э.И. Автогенераторные измерения. – М.: Энергия, 1976. – 136 с.
- 5 Михлин Б.З. Высокочастотные емкостные и индуктивные датчики. – М.: Гостехиздат, 1960. – 72 с.
- 6 Виленский П.И. Бесконтактные путевые выключатели / П.И. Виленский, Л.А. Срибнер. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 78 с.
- 7 Основы теории цепей: учебник для вузов. – М.: Энергия, 1975. – 752 с.

УДК 620.179.18:691

Канд. техн. наук, доц. Авдеев В.П.

(Воронежский государственный архитектурно-строительный университет)

Россия, г. Воронеж, (4732)715270, E-mail: [avp@vgasu.vrn.ru](mailto:avp@vgasu.vrn.ru)

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПЛИТОЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*The model of partially polarized electromagnetic wave considered at sounding objects of the control. Statistical characteristics of signals and handicaps for designing systems of not destroying control of tiled building materials received and recommended as informative parameters.*

Анализ поляризационных эффектов при взаимодействии электромагнитной волны (ЭМВ) или двумерного сигнала с зондируемым объектом в средствах неразрушающего контроля (НК) [1] позволяет синтезировать эллипс поляризации принимаемого сигнала. Однако монохроматическая ЭМВ, годограф вектора напряженности электрического поля которой представляет собой эллипс с постоянными параметрами и постоянным направлением вращения плоскости поляризации, является лишь математической идеализацией.

При практическом использовании ЭМВ, за счет отражения от объекта контроля (ОК) и распространения в пространстве, волна будет частично поляризованной. Ее ортогонально поляризованные составляющие не являются полностью монохроматическими и не отвечают условиям поляризации. Поэтому пространственно-временные характеристики ЭМВ, их параметры являются случайными функциями, для описания которых необходимы статистические методы анализа, позволяющие получить полную и качественную информацию о характеристиках и параметрах ЭМВ, рассеянной на ОК, которым является, например, плиточный строительный материал (ПСМ).

Для статистического описания и анализа плоскую однородную квазимонохроматическую ЭМВ представим сигналом в виде суперпозиции ортогонально поляризованных составляющих [2]:

$$\dot{S}(t) = \dot{e}_1 \dot{S}_1(t) + \dot{e}_2 \dot{S}_2(t), \quad (1)$$

где  $\dot{e}_1$ ,  $\dot{e}_2$  – единичные орты, определяющие произвольный поляризационный базис разложения:

$$\text{Re}[S_i(t)] = E_i(t) \cdot \cos[\omega_0 t + \varphi_i(t)], \quad i = 1, 2, \dots;$$

$E_i(t)$ ,  $\varphi_i(t)$  – соответственно, огибающие и фазы ортогонально поляризованных компонент.

Каждая из ортогонально поляризованных компонент в (1) представляет собой сумму  $n$  элементарных ЭМВ, спектры которых совпадают по форме и имеют ширину, много меньшую величины средней частоты спектра процесса  $\omega_{cp}$ . Поэтому частично поляризованную волну (1) можно записать в ортонормированном базисе  $[\dot{e}_1, \dot{e}_2]$  в виде:

$$\dot{S}(t) = \dot{e}_1 E_1 \sum_{k=k_1}^{k_m} \xi_k \cos(k\omega_0 t + \varphi_k - \varphi_1) + \dot{e}_2 E_2 \sum_{k=k_1}^{k_m} \xi_k \cos(k\omega_0 t + \varphi_k - \varphi_2), \quad (2)$$

где  $E_i = \sqrt{x_i^2 + \varphi_i^2}$ ,  $\varphi_i = \text{arctg}(y_i/x_i)$  – огибающие и фазы ортогонально поляризованных компонент,  $x$ ,  $y$  – квадратурные составляющие компонент;  $\xi_k^2/2$  – интенсивность процесса, соответствующая частоте  $(k_m - k_1) \cdot \omega_0 \ll \omega_{cp}$ .

Из (2) следует, что огибающие и фазы ортогонально поляризованных компонент полностью характеризуют статистические свойства частично поляризованной ЭМВ и содержат информацию о флуктуациях их поляризационных параметров. Выразив (2) через квадратурные составляющие  $x_1, y_1$ ,

$$\vec{S}(t) = \vec{e}_1 \left[ x_1 \sum_{k=k_1}^{k_m} \xi_k \cos(k\omega_0 t + \varphi_k) + y_1 \sum_{k=k_1}^{k_m} \xi_k \sin(k\omega_0 t + \varphi_k) \right] + \vec{e}_2 \left[ x_2 \sum_{k=k_1}^{k_m} \xi_k \cos(k\omega_0 t + \varphi_k) + y_2 \sum_{k=k_1}^{k_m} \xi_k \sin(k\omega_0 t + \varphi_k) \right] \quad (3)$$

видим, что для анализа статистической структуры частично поляризованной ЭМВ (3) необходимо знание статистических характеристик квадратурных составляющих ортогонально поляризованных компонент  $x_i$  и  $y_i$ . Учитывая, что число складываемых элементарных волн в точке приема велико и применяя центральную предельную теорему вероятностей, можно считать, что распределения случайных величин  $x_i$  и  $y_i$  являются нормальными. Степень близости плотностей вероятности  $W_j(x_i)$  и  $W_j(y_i)$  зависит от числа  $n$  и может быть оценена на основании известных методов [3]. Это позволяет записать совместную плотность вероятности квадратурных составляющих ортогонально поляризованных компонент в следующем матричном виде:

$$W_j(U/M, I_n) = (2\pi)^{-2} (\det I_n)^{-1/2} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} (U-M) I_n^{-1} (U-M)^T \right] \quad (4)$$

где  $U = \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{pmatrix}$  – четырехмерный вектор-столбец, представляющий флуктуирующую составляющую волны;

$M = \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \end{pmatrix}$  – четырехмерный вектор-столбец средних значений, представляющий монохроматическую составляющую волны;

$I_n$  – корреляционная матрица частично поляризованной чисто флуктуационной квазимонохроматической волны;

$I_n^{-1}$  – матрица, обратная  $I_n$ ;

$\overline{U}^T - M$  – символ транспонирования.

Аналитические соотношения для огибающих и фаз, их квадратурных составляющих (2) и функция совместной плотности вероятностей (4) позволяют получить зависимости для параметров частично поляризованных ЭМВ.

Так, энергетические свойства частично поляризованной ЭМВ можно характеризовать двумя группами параметров: матрицей когерентности и параметрами Стокса [4]. Практическая ценность этих параметров заключается в том, что они позволяют определить поляризацию ЭМВ в точке размещения антенны только по измеренным интенсивностям, а также связать между собой такие разнородные характеристики ЭМВ, как ее полную интенсивность, степень поляризации, коэффициент эллиптичности и угол ориентации эллипса поляризации.

При анализе частично поляризованной ЭМВ удобно рассматривать две матрицы когерентности: матрицу когерентности монохроматической составляющей ЭМВ и матрицу когерентности ее флуктуирующей составляющей.

Матрица когерентности монохроматической составляющей суммарной волны в точке приема определяется выражением следующего вида:

$$k_c = \langle \dot{u}(t) \rangle \langle \dot{u}(t) \rangle^T = \begin{pmatrix} \langle \dot{u}_1(t) \rangle \langle \dot{u}_1^*(t) \rangle & \langle \dot{u}_1(t) \rangle \langle \dot{u}_2^*(t) \rangle \\ \langle \dot{u}_2(t) \rangle \langle \dot{u}_1^*(t) \rangle & \langle \dot{u}_2(t) \rangle \langle \dot{u}_2^*(t) \rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{pmatrix},$$

где  $\langle \rangle$  – знак математического ожидания;

$\langle \dot{u}_i(t) \rangle$  – элементы матрицы-столбца монохроматической составляющей ЭМВ,  $i = 1, 2$ .

Вектор  $\langle \dot{u}_i(t) \rangle^T$  эрмитовски сопряжен вектору  $\langle \dot{u}_i(t) \rangle$ , т.е. представляет собой вектор-строку:

$$\langle \dot{u}_i(t) \rangle^T = (\langle \dot{u}_1^*(t) \rangle \langle \dot{u}_2^*(t) \rangle).$$

Анализ выражения (5) показывает, что определитель матрицы равен нулю:

$$\det k_c = k_{11}k_{22} - k_{12}k_{21} = 0.$$

Для определения матрицы когерентности флуктуирующей составляющей ЭМВ запишем:

$$\dot{u}_\phi(t) = \dot{u}(t) - \langle \dot{u}(t) \rangle = \begin{pmatrix} \dot{u}_{1\phi}(t) \\ \dot{u}_{2\phi}(t) \end{pmatrix}.$$

Тогда математическое ожидание произведения  $\dot{u}_\phi(t)$  и  $\dot{u}_\phi^T(t)$  дает искомую матрицу когерентности:

$$J = \langle \dot{u}_\phi(t) \dot{u}_\phi^T(t) \rangle = \begin{pmatrix} \langle \dot{u}_{1\phi}(t) \dot{u}_{1\phi}^*(t) \rangle & \langle \dot{u}_{1\phi}(t) \dot{u}_{2\phi}^*(t) \rangle \\ \langle \dot{u}_{2\phi}(t) \dot{u}_{1\phi}^*(t) \rangle & \langle \dot{u}_{2\phi}(t) \dot{u}_{2\phi}^*(t) \rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{pmatrix}.$$

Элементы матрицы  $J$  для стационарных ортогонально поляризованных компонент ЭМВ могут быть записаны следующим образом:

$$J_{11} = \sigma_1^2; J_{22} = \sigma_2^2; J_{12} = \sigma_1 \sigma_2 (g + j\rho); J_{21} = \sigma_1 \sigma_2 (g - j\rho).$$

где  $\sigma_1^2, \sigma_2^2$  – дисперсии случайных ортогонально поляризованных компонент;

$\sigma_1 \sigma_2 (g \pm j\rho)$  – комплексные ковариации этих компонент, учитывающие их статистическую связь.

Матрица когерентности суммарной частично поляризованной ЭМВ, являющаяся матрицей вторых начальных моментов случайных комплексных ортогонально поляризованных компонент ЭМВ, объединяет матрицы  $K_c$  и  $J$ :

$$\dot{M} = \langle \dot{u}(t) \cdot \dot{u}^T(t) \rangle = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = K_c + J. \quad (5)$$

Следовательно:

$$\left. \begin{aligned} m_{11} &= k_{11} + \sigma_1^2, & m_{22} &= k_{22} + \sigma_2^2 \\ m_{12} &= k_{12} + \sigma_1 \sigma_2 (g + j\rho), & m_{21} &= k_{21} + \sigma_1 \sigma_2 (g - j\rho). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Матрицы когерентности  $J$  и  $K_c$  являются удобным инструментом для определения характеристик качества (ХК) исследуемого ПСМ. Кроме того, элементы этих матриц можно связать с другими системами параметров, применяемых на практике для исследования поляризационных свойств ЭМВ, например, параметрами Стокса.

Последние для частично поляризованной ЭМВ получаются усреднением за некоторый период времени соответствующих квадратичных и билинейных форм:

$$\left. \begin{aligned} \dot{S}_0 &= \langle \dot{E}_1 \cdot \dot{E}_1^* \rangle + \langle \dot{E}_2 \cdot \dot{E}_2^* \rangle, & \dot{S}_1 &= \langle \dot{E}_2 \cdot \dot{E}_2^* \rangle - \langle \dot{E}_1 \cdot \dot{E}_1^* \rangle, \\ \dot{S}_2 &= \langle \dot{E}_1 \cdot \dot{E}_2^* \rangle + \langle \dot{E}_1^* \cdot \dot{E}_2 \rangle, & \dot{S}_3 &= j \left( \langle \dot{E}_1 \cdot \dot{E}_2^* \rangle - \langle \dot{E}_1^* \cdot \dot{E}_2 \rangle \right) \end{aligned} \right\} (7)$$

Учитывая (5) и (6) можно показать, что параметры Стокса (7) являются суммой соответствующих параметров флуктуирующей и детерминированной составляющих частично поляризованной ЭМВ:

$$\left. \begin{aligned} S_0^f &= \sigma_1^2 + \sigma_2^2, & S_0^k &= K_{11} + K_{22}, \\ S_1^f &= \sigma_2^2 - \sigma_1^2, & S_1^k &= K_{22} - K_{11}, \\ S_2^f &= 2\sigma_1\sigma_2g, & S_2^k &= 2Re\{K_{12}\}, \\ S_3^f &= 2\sigma_1\sigma_2\rho, & S_3^k &= 2Im\{K_{21}\} \end{aligned} \right\} (8)$$

где  $S_i^f$  – параметры Стокса, соответствующие матрице  $J$ ;  
 $S_i^k$  – параметры Стокса, соответствующие матрице  $K_c$ .

Итак, матрица когерентности частично поляризованной ЭМВ  $\dot{M}$  (5) и параметры Стокса  $\dot{S}_i$  (8) связаны линейной зависимостью, и целесообразность использования для практических измерений поляризационной структуры ЭМВ той или иной группы параметров диктуется конкретной постановкой задачи и условиями проведения экспериментальных исследований по контролю ПСМ.

Построим математическую модель обработки двумерного сигнала в средствах НК. Одним из вариантов физически реализуемой системы измерения и информационного обеспечения НК, основанной на анализе поляризационной структуры любого сигнала электромагнитного происхождения, является двухканальная поляризационно-фазовая система (рис. 1).

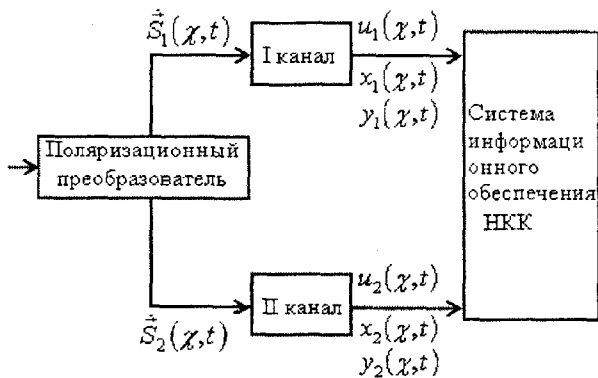


Рис. 1. Поляризационно-фазовая система НК

Отраженный от ОК сигнал  $\dot{S}(\chi, t)$  представляет собой аддитивную совокупность полезного сигнала (от эталона) и помехи (от аномалий)

$$\dot{S}(\chi, t) = \dot{S}_s(\chi, t) + \dot{n}(\chi, t),$$

поступающую на вход приемной антенны. При помощи поляризационного преобразователя сигнал разделяется на две ортогонально поляризованные компоненты  $\dot{S}_1(\chi, t)$  и  $\dot{S}_2(\chi, t)$ , которые, соответственно, в каналах I и II расщепляются на квадратурные составляющие  $x_1(\chi, t)$ ,  $y_1(\chi, t)$  и  $x_2(\chi, t)$ ,  $y_2(\chi, t)$ , где

$\chi = \chi(l, \epsilon_1, \epsilon_2, \theta_1, \psi_1, \theta_2, \psi_2, \lambda)$  – параметр, зависящий от размеров  $\alpha$ ; физических и диэлектрических свойств ОК ( $\epsilon_1, \epsilon_2$ ); направления распространения падающего и рассеянного полей ( $\theta_1, \psi_1, \theta_2, \psi_2$ ) и длины волны  $\lambda$ .

Система обработки позволяет по данным значениям  $x_i(\chi, t)$  и  $y_i(\chi, t)$  получить все необходимые статистические характеристики поляризации принятого сигнала.

Полагаем, что последовательность отраженных сигналов совместно с шумами (производственными и внутренними шумами системы НК) и помехой представляет нормальный случайный процесс, который можно описать на выходе узкополосной системы в виде аддитивной смеси полезного сигнала  $U_{ci}(\chi, t)$ , шума  $U_{mi}(t)$  и внешней помехи  $U_m(\chi, t)$ :

$$U_i(\chi, t) = U_{ci}(\chi, t) + U_{mi}(t) + U_m(\chi, t), \quad (9)$$

где  $i = 1, 2$  – номер канала системы на рис. 1.

Так как полезный сигнал, помеха и шумы статистически независимы, и последние имеют нормальные законы распределения, то и квадратурные составляющие флуктуирующей части ортогонально поляризованных компонент суммарного сигнала  $x_i(\chi, t)$  и  $y_i(\chi, t)$  подчиняются нормальному распределению с дисперсиями:

$$\sigma_i^2 = \sigma_{ci}^2 + \sigma_m^2,$$

$$\text{где } \overline{x_{ci}^2(\chi, t)} = \overline{y_{ci}^2(\chi, t)} = \sigma_{ci}^2, \quad \overline{x_m^2(\chi, t)} = \overline{y_m^2(\chi, t)} = \sigma_m^2.$$

Определим среднее значение квадрата интенсивности ортогонально поляризованных компонент суммарного сигнала  $\overline{u_i^2(\chi, t)}$ , численно равное мощности, развиваемой в единичной нагрузке:

$$\overline{u_i^2(\chi, t)} = \lim_{T \rightarrow 0} 1/T \int_0^T u_i^2(\chi, t) dt. \quad (10)$$

С учетом выражений (3), (9) из (10) находим зависимость:

$$\overline{u_i^2(\chi, t)} = \frac{1}{2} (E_{ci}^p + E_m^p) + \sigma_{ci}^2 + \sigma_m^2,$$

где  $E_{ci}^p = \sqrt{x_{ci}^{p^2} + y_{ci}^{p^2}}$ ,  $E_m^p = \sqrt{x_m^{p^2} + y_m^{p^2}}$  – огибающие регулярных составляющих сигнала и помехи.

Степень флуктуации полезного сигнала  $\gamma_{ci}$  и помехи  $\gamma_m$  удобно характеризовать отношением регулярных составляющих сигнала и помехи к флуктуирующим составляющим:

$$\gamma_{ci} = E_{ci}^p / \sqrt{2}\sigma_{ci}, \quad \gamma_m = E_m^p / \sqrt{2}\sigma_m.$$

Эти отношения являются коэффициентами флуктуаций. Их величина может изменяться от бесконечности (случай регулярного сигнала или регулярной помехи) до нуля (случай сильного флуктуирующего сигнала или помехи). Для идентификации ПСМ с неизвестными характеристиками качества в рассматриваемой модели можно использовать отношение сигнал/помеха (С/П). Математическое описание этого отношения представляется равенством:

$$(C/P)_i = \overline{U_{ci}^2(t)} / \overline{U_m^2(t)} = \left( \frac{E_{ci}^p}{E_m^p} \right)^2 \cdot \frac{\gamma_m^2}{1 + \gamma_m^2} + \frac{\sigma_{ci}^2}{\sigma_m^2 \cdot (1 + \gamma_m^2)}.$$

В том случае, когда характеристики качества ПСМ близки к эталонным, что соответствует  $\gamma_c \rightarrow \infty$ , отношение (С/П) в последнем равенстве может быть записано в виде следующего выражения:

$$(C/P)_i = (C/P)_i^p \cdot \gamma_m^2 / (1 + \gamma_m^2). \quad (11)$$

При сильно флуктуирующем сигнале (большие отклонения ХК от эталона), ( $E_{ci}^p \rightarrow 0, \gamma_{ci} = 0$ ), отношение (С/П) принимает вид:

$$(C/P)_i = (C/P)_i^p / (1 + \gamma_m^2). \quad (12)$$

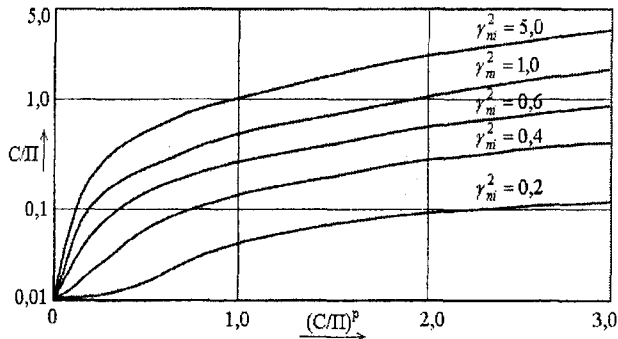


Рис. 2. Зависимость отношения сигнал/помеха (С/П) от регулярных составляющих

Графические зависимости отношения (С/П), соответствующие выражениям (11), (12), представлены на рис. 2.

Полученные результаты можно использовать при проектировании систем неразрушающего контроля с элементами искусственного интеллекта в виде экспертных систем для предприятий строительной индустрии.

#### Литература:

1 Авдеев В.П. *Неразрушающий экспресс-контроль качества строительных материалов радиоволновым методом* / Изв. вузов. – Строительство. – 1996. – С. 75-78.

2 Авдеев В.П. *Статистические характеристики поляризационно-ортогональных компонент двумерных сигналов в задачах дистанционного контроля качества строительных материалов и изделий* / В.П. Авдеев, А.Д. Кононов / Матер. Междунар. науч.-техн. конф. Интерстроймех-98. – Воронеж: 1998. – С. 34-36.

3 Тихонов В.И. *Статистическая радиотехника*. – М.: Сов. радио, 1966.

4 Канарейкин Д.Б. *Поляризация радиолокационных сигналов* / Д.Б. Канарейкин, Н.Ф. Павлов, В.А. Потехин. – М.: Сов. радио, 1966. – 440 с.

УДК 621.314

Канд. техн. наук, доц. Рабочий А.А.  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862)419560

## МОСТОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРА-НАПРЯЖЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*In article the opportunity of indemnification of an error from resistance of wires of a connecting line of the remote converter of temperature in a voltage of a direct current is proved at the three-wire bridge circuit of inclusion converters. Made the analysis of conditions at which indemnification is probable under operating conditions copper converters for small areas temperatures.*

В системах дистанционного контроля параметров микроклимата широкое распространение получили схемы мостовых преобразователей сопротивления датчика температуры в напряжение при трехпроводной схеме включения. В качестве датчиков температуры обычно используют медные термопреобразователи сопротивления ввиду их надежности и экономичности. Известно, что при дистанционном контроле температуры на погрешность измерения в трехпроводной схеме значительное влияние оказывает асимметрия сопротивлений проводов соединительных линий [1]. В диапазоне достаточно больших значений контролируемых температур (более 10 °С) и малых значений длин соединительных линий влияние погрешностей, вносимых проводами соединительных линий, несущественно. Однако в области околонулевой значений контролируемых температур влияние асимметрии сопротивлений мостовой схемы, вноси-

мой дополнительными элементами измерительного моста, оказывается ощутимым. Например, во многих сельскохозяйственных технологических процессах необходимо поддерживать температуру в пределах  $(1-4) \pm 0,3^\circ\text{C}$ . Медные термопреобразователи ТСМ класса допуска А имеют допускаемое отклонение от НСХ (номинальной статической характеристики) в пределах  $\pm 0,15^\circ\text{C}$  в околонулевой области температур. Таким образом, схема преобразователя сопротивление-напряжение в этом случае не должна иметь погрешность более  $0,15^\circ\text{C}$ . В условиях эксплуатации эта задача может быть решена для трехпроводной схемы включения термопреобразователя не во всех случаях.

Рассмотрим возможности мостовой схемы при измерении температур в околонулевом диапазоне. Упрощенная схема преобразователя сопротивление-напряжение при трехпроводной схеме включения термопреобразователя показана на рис. 1, где  $R_2, R_3$  –

резисторы уравнивающей цепи измерительного моста;  $R_y$  – резистор уставки (здатчик температуры);  $R_{Л1}, R_{Л2}, R_{Л3}$  – сопротивление проводов соединительной линии,  $R_{К1}, R_{К3}$  – переходные сопротивления контактных соединений проводов линий и контактных выводов термопреобразователя  $R_T$ ;  $R_4$  – резистор – задатчик измерительного тока. Источник опорного напряжения  $U_0$ , операционный усилитель ОУ и резистор  $R_4$  образуют источник измерительного тока [2].

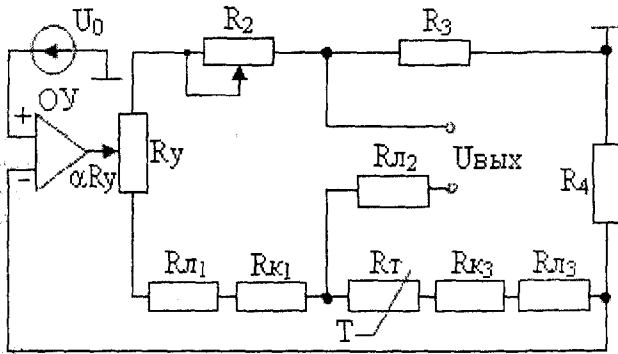


Рис. 1. Упрощенная схема преобразователя сопротивление-напряжение

Термопреобразователь сопротивления имеет ограничения по измерительному току, поэтому обычно выбирают  $R_4 \cong R_0$ , где  $R_0$  – номинальное значение сопротивления термопреобразователя при  $0^\circ\text{C}$ . Например, термопреобразователь сопротивления медный с классом допуска А с НСХ 50М имеет  $R_0 = 50 \pm 0,05$  Ом. Параметры резисторов  $R_2, R_3$  влияют на компенсацию добавочных сопротивлений, поэтому их выбирают обычно из условий экономичности мостовой схемы.

Выходное напряжение преобразователя определяется выражением:

$$U_{\text{вых}} = I_0 \cdot (r_3 k_p - r_1 + R_4 \cdot k_p - R_T - \alpha \cdot R_y) / (1 + k_p), \quad (1)$$

где  $I_0 = U_0 / R_4$ ;  $r_3 = R_{Л3} + R_{К3}$ ;  $r_1 = R_{Л1} + R_{К1}$ ;

$\alpha R_y$  – часть сопротивления резистора  $R_y$ , через которую течет измерительный ток  $I_0$ ,  $0 \leq \alpha \leq 1$ ;

$R_T = R_0 \pm \Delta R_T$  – полное сопротивление термопреобразователя;

$\Delta R_T$  – приращение сопротивления термопреобразователя, соответствующее отклонению контролируемой температуры от  $0^\circ\text{C}$ ;

$k_p = [R_2 + R_y \cdot (1 - \alpha)] / R_3$  – коэффициент, определяющий отношение сопротивлений, уравнивающее ветви измерительной схемы преобразователя.

Виды частных зависимостей выходного напряжения от приращения сопротивления термопреобразователя и коэффициента  $k_p$  представлены на рис. 2, а и 2, б соответственно.

По виду характеристик, показанных на рис. 2, можно отметить следующее. Наклон характеристик  $U_{\text{вых}}(\Delta R)$  в околонулевой области изменения  $\Delta R$  остается практически неизменным, однако характеристики смещаются в зависимости от соотношений сопротивлений  $r_3$  и  $r_1$ , точные значения которых в условиях эксплуатации неизвестны. Выбором значе-

ний  $k_p$  можно установить нулевое значение  $U_{\text{вых}}$  при любом возможном значении коэффициента  $\alpha$ .

В общем случае значение  $k_p$ , соответствующее нулевому состоянию на выходе, определяется соотношением:

$$k_{p0} = r_1 + R_T - \alpha R_y / (R_4 + r_3). \quad (2)$$

Изменение  $k_p$  в ту или иную сторону от значения  $k_{p0}$  приводит к смещению диапазона значений  $U_{\text{вых}}$ , обеспечиваемого изменением  $\alpha$  от 0 до 1.

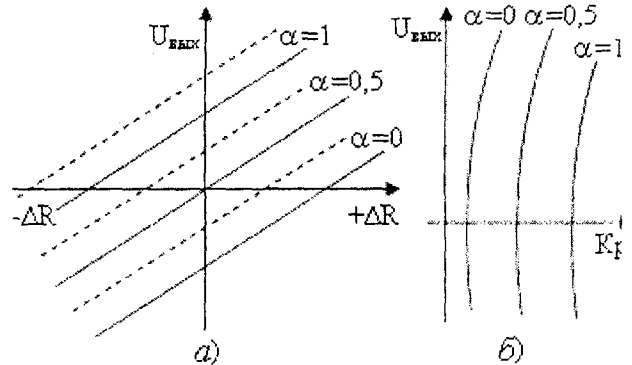


Рис. 2. Вид характеристик: а –  $U_{\text{вых}}(\Delta R)$ , б –  $U_{\text{вых}}(k_p)$  для значений  $0 \leq \alpha \leq 1$  (пунктирные линии – при  $r_3 < r_1$ , сплошные линии – при  $r_3 = r_1$ )

Выражение (1) можно представить в виде трех слагаемых:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{Л}} + U_{\text{И}} + U_{\text{Т}}, \quad (3)$$

где  $U_{\text{Л}}$  – часть выходного напряжения, обусловленная наличием проводов линий связи и контактных соединений в измерительной цепи;

$U_{\text{И}}$  – напряжение, обусловленное наличием резистора  $R_y$  и значением сопротивления резистора  $R_4$  – задатчика измерительного тока;

Напряжение  $U_{\text{Т}}$  непосредственно зависит от преобразуемого параметра:

$$U_{\text{Т}} = U_{\text{T0}} \pm \Delta U_{\text{T}},$$

где  $U_{\text{T0}} = I_0 \cdot R_0 / (1 + k_p)$  – постоянная составляющая, зависящая от типа термопреобразователя;

$\Delta U_{\text{T}} = I_0 \cdot (\pm \Delta R_T) / (1 + k_p)$  – составляющая, определяемая отклонением сопротивления термопреобразователя от номинального значения.

Относительные значения напряжений можно представить в виде:

$$\delta_{\text{Л}} = U_{\text{Л}} / U_{\text{T0}} = (r_3 \cdot k_p - r_1) / R_0, \quad (4)$$

$$\delta_{\text{И}} = U_{\text{И}} / U_{\text{T0}} = (R_4 \cdot k_p - \alpha R_y) / R_0, \quad (5)$$

$$\delta_{\text{Т}} = \Delta U_{\text{T}} / U_{\text{T0}} = -\Delta R_T / R_0. \quad (6)$$

Анализируя выражения (4), (5), (6) можно сделать следующие выводы:

1 Изменяя значение коэффициента  $k_p$ , можно полностью компенсировать погрешность от наличия соединительных проводов в трехпроводной схеме включения термопреобразователя; при этом относительное значение контролируемого параметра не зависит от значения коэффициента  $k_p$ .

2 Наличие резистора  $R_y$  уменьшает полезный сигнал и вносит дополнительную нелинейность в зависимость  $U_{\text{T}}(k_p)$ , поэтому функции задания уставки



необходимо выполнять за пределами измерительного моста преобразователя.

3 С целью минимизации погрешности от наличия соединительных проводов и контактных соединений при контроле температур, близких к  $0^{\circ}\text{C}$ , необходимо производить периодическую индивидуальную настройку преобразователя по месту применения.

УДК 536.532

Асп. Корнев М.Н.

(Орловский государственный технический университет)

Россия, г. Орел, тел. (4862)762270; E-mail: [fractal@list.ru](mailto:fractal@list.ru)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛОСКОГО ТЕЛА, ВЫЗВАННОЙ ТЕПЛОТОКОМ ПО ЭЛЕКТРОДАМ ТЕРМОПАРЫ

*Owing to distinction of properties of a heat receiver and object of research, there is a distortion water temperatures and thermal streams that leads to occurrence of an error of measurement which in the certain cases can reach essential values and demand the corresponding account.*

Погрешности измерения температуры складываются из двух основных видов:

– погрешности, возникающие при измерении непосредственно измеряемой физической величины, в которую преобразована температура;

– погрешности, возникающие в процессе преобразования температуры в непосредственно измеряемую физическую величину с помощью соответствующего первичного преобразователя (термоприемника).

Погрешности второго вида – чисто теплового характера – вызываются различными причинами в зависимости от примененного контактного метода измерений, конструктивных особенностей термоприемника и условий измерений. В практике температурных измерений погрешности второго вида получили название методических.

Принципиально можно указать на три основных источника возникновения методических погрешностей теплового происхождения у контактных термоприемников [1] при измерении температуры поверхности твердых тел:

1 Отличие теплофизических характеристик контактного термоприемника и исследуемого объекта. Поскольку термоприемник имеет конечные размеры, возникает искажение температурного поля объекта в месте установки термоприемника, а также искажение процесса теплообмена объекта с другими физическими телами. Чем меньше эти искажения, тем более корректным следует признать выбранный термоприемник. Поскольку его чувствительный элемент в общем случае отделен от измеряемого объекта какими-либо конструктивными элементами, имеющими конечное термическое сопротивление, возникает до-

### Литература:

1 Левшина Е.С. Электрические измерения физических величин / Е.С. Левшина, П.В. Новицкий. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

2 Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1988. – 304 с.

полнительное искажение, обусловленное перепадом температуры на данном термическом сопротивлении.

2 Наличие перепада температуры между измеряемым объектом и окружающими физическими телами. При этом возникают погрешности, имеющие двойную физическую природу: обусловленные кондуктивной теплопередачей по элементам конструкции термоприемника, расположенного в сложном температурном поле, и обусловленные радиационным теплообменом чувствительного элемента термоприемника с окружающими физическими телами (при условии прозрачности или частичной прозрачности промежуточной среды).

3 Принципиальная нестационарность тепловых процессов и возникающие вследствие этого динамические погрешности обусловлены термической инерционностью термоприемников.

Поправки, которые следует вносить в результаты измерений для исключения этих погрешностей, часто оценивают расчетным путем с помощью соответствующих теоретических моделей или путем проведения соответствующих контрольных экспериментов.

В общем случае нельзя высказать определенное суждение о том, какой из двух путей лучше, какой даст более надежные результаты. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Расчетный путь для правильного подбора теоретической модели требует достоверных данных о теплофизических характеристиках термоприемника и объекта, а также об условиях теплообмена. Экспериментальный путь, позволяющий сопоставить результаты, полученные разными методами, не всегда осуществим хотя бы из-за неоднородности температурных полей объекта и их изменчивости во времени, что делает результа-

ты измерений несопоставимыми.

Благодаря различию теплофизических свойств теплоприемника и объекта исследования, происходит искажение полей температур и тепловых потоков в месте размещения термоприемника, что приводит к возникновению погрешностей измерения, которые в определенных случаях могут достигать существенных значений [2] и требуют соответствующего учета.

Практические приемы уменьшения методических погрешностей измерения сводятся к обеспечению:

- а) малых размеров и объема теплоприемника;
- б) малых термических сопротивлений и теплоемкости термоприемника;
- в) близости степени черноты и коэффициентов поглощения термоприемника и поверхности исследуемого объекта;
- г) расположения термоприемника и выводов и изотермической зоне;
- д) увеличения площади контакта чувствительного элемента с поверхностью.

Известно, что на площадке контакта термоприемника с телом возникает тепловой поток, который охлаждает тело, если его температура больше температуры окружающей среды, или нагревает тело, если его температура меньше температуры среды. Поэтому отсчет всех температур в теле и термоприемнике удобнее проводить от температуры окружающей среды, т.е. рассматривать только избыточные температуры. Температурное поле, создаваемое в теле тепловым потоком по термоприемнику, по терминологии [2], будем называть искажающим полем. Тогда среднее значение искажающей температуры на площадке контакта будет определять погрешность измерения.

Действительное температурное поле тела может быть представлено как алгебраическая сумма двух полей: неискаженного температурного поля, существующего при отсутствии контакта термоприемника с телом, и искажающего поля. Температура, измеренная термоприемником, является, таким образом, результатом наложения этих двух полей и будет ниже или выше неискаженной температуры в зависимости от направления теплового потока.

Пусть имеется некоторое плоское тело 1, нагреваемое сосредоточенным источником теплоты, в котором за счет теплопроводности, происходит распространение тепловой энергии (рис. 1).

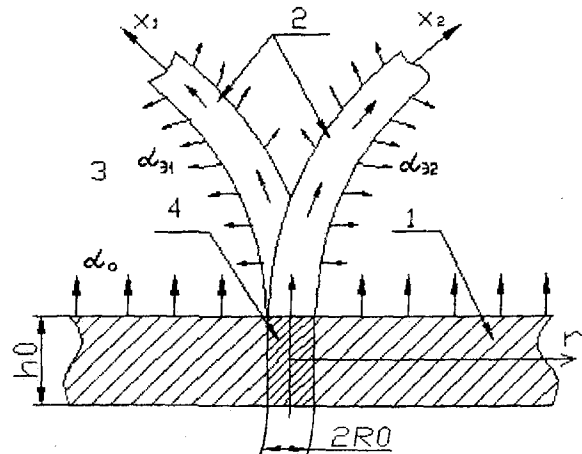


Рис. 1. Схема измерения температуры пластины

На некотором удалении от центра нагрева, на поверхность образца устанавливают измерительную двухэлектродную термопару 2; при этом возникают методические погрешности измерения температуры поверхности образца, возникающие в результате отвода тепла по цилиндрическим электродам термопары, которые необходимо оценить. Тело находится в конвективно-лучистом теплообмене с окружающей средой 3, имеющей постоянную температуру  $T_B$ .

Принимается, что установка термопары происходит на таком расстоянии от центра нагрева, что на исследуемом участке температуру внутри объекта можно считать одинаковой и равной  $T_0(t)$ . Установка термоприемника вызывает перераспределение температур внутри объекта. Оценка погрешности измерения может быть дана при совместном решении трех нестационарных уравнений теплопроводности для объекта 1, термоэлектродов 2 и уравнения теплообмена свободного объекта 1 со средой 3.

Для практических расчетов рекомендуется следующее приближенное уравнение теплообмена [1], устанавливающее взаимосвязь между погрешностью измерения  $\Delta T(t)$  и действительной  $\vartheta_0(t)$  или измеренной  $\vartheta_{\vartheta}(t)$  избыточными температурами,

$$\Delta T(t) = T_0(t) - T_{\dot{\gamma}}(t) = \eta \vartheta_{\dot{\gamma}}(t) + \varepsilon \frac{d\dot{\gamma}(t)}{dt} = \frac{\eta}{1 + \eta} \vartheta_0(t) + \frac{\varepsilon}{(1 + \eta)^2} \frac{d\vartheta_0(t)}{dt} \quad (1)$$

$$\vartheta_0(t) = T_0 - T_B; \vartheta_{\vartheta}(t) = T_{\vartheta} - T_B, \quad (2)$$

где  $T_{\vartheta}(t)$  – температура в зоне контакта термоприемника и объекта (измеренная температура объекта);  $T_0(t)$  – действительная температура объекта.

Уравнение (1) получено в предположении равномерного распределения температур по толщине пластины. Тепловая проводимость заштрихованной области 4 объекта (рис. 1) была принята бесконечно большой, а ее теплоемкость не учитывалась при выводе дифференциального уравнения теплопроводности пластины.

Параметр  $\eta$  определяет статическую погрешность измерения температуры,

$$\eta = \frac{\Lambda_{\vartheta 1} + \Lambda_{\vartheta 2}}{\Lambda_0}, \quad (3)$$

где  $\Lambda_0$  – полная тепловая проводимость между глубинными областями тела и площадкой контакта тел;  $\Lambda_{\vartheta 1}$  и  $\Lambda_{\vartheta 2}$  – то же, между площадью контакта и окружающей средой, определяются по формуле:

$$\Lambda_{\vartheta} = \sqrt{\alpha_{\vartheta} p_{\vartheta} S_{\vartheta} \lambda_{\vartheta}} = \pi R_{\vartheta} \sqrt{2 \alpha_{\vartheta} \lambda_{\vartheta} R_{\vartheta}}, \quad (4)$$

где  $R_{\vartheta}$  – радиус электрода;

$p_{\vartheta}$ ,  $S_{\vartheta}$  – периметр и площадь поперечного сечения электрода;

$\lambda_{\vartheta}$  – коэффициент теплопроводности электрода;

$\alpha_{\vartheta}$  – коэффициент теплопередачи между боковой

Для пластины:

$$\Lambda_0 = 2\pi\lambda_0 h_0 v \frac{K_1(v)}{K_0(v)} \approx \frac{2\pi\lambda_0 h_0}{\ln\left(1 + \frac{1}{v}\right)}, \quad (5)$$

где  $K_0$  и  $K_1$  – модифицированные функции Бесселя:

$$v = \sqrt{\frac{2\alpha_0}{\lambda_0 h_0}} R_0; \quad R_0 = \sqrt{R_{Э1}^2 + R_{Э2}^2}, \quad (6)$$

где  $h_0$  и  $R_0$  – толщина пластины и эффективный радиус заштрихованной зоны (рис. 1), определяемый по формулам (6) через радиусы электродов  $R_{Э1}$  и  $R_{Э2}$ .

Параметр  $\varepsilon$  характеризует тепловую инерцию системы тел теплоприемник – объект и рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Lambda_{Э1}(\varepsilon_{Э1} - \varepsilon_0) + \Lambda_{Э2}(\varepsilon_{Э2} - \varepsilon_0)}{2\Lambda_0}, \quad (7)$$

в которой  $\varepsilon_{Э1}$  и  $\varepsilon_{Э2}$  являются показателями тепловой инерции термоэлектродов термопары по отношению к среде и определяются по формулам:

$$\varepsilon_{Э1} = \frac{c_{Э1}\lambda_{Э1}R_{Э1}}{2\alpha_{Э1}}; \quad \varepsilon_{Э2} = \frac{c_{Э2}\lambda_{Э2}R_{Э2}}{2\alpha_{Э2}}, \quad (8)$$

где  $c_{Э1}$  и  $c_{Э2}$  – теплоемкость материала соответствующего электрода.

Показатель тепловой инерции пластины:

$$\varepsilon_0 = \frac{c_0\lambda_0 h_0}{2\alpha_0}. \quad (9)$$

В зависимости от соотношения между показателями тепловой инерции  $\varepsilon_{Э1}$ ,  $\varepsilon_{Э2}$  и  $\varepsilon_0$  – динамическая составляющая погрешности – при непрерывном изменении  $\vartheta_0(t)$  может менять свой знак.

При медленном изменении температуры объекта или в стационарном режиме теплообмена погрешность измерения температуры  $\Delta T$ , как следует из уравнения (1), будет определяться зависимостью:

$$\Delta T = T_0 - T_{Э} = (T_0 - T_B) \frac{\eta}{1 + \eta}. \quad (10)$$

Возмущающее действие теплоприемника на распределение температур в объекте в стационарном режиме может быть оценено по зависимости:

$$\frac{T_0 - T(r)}{T_0 - T_{Э}} = \frac{K_0\left(v \frac{r}{R_0}\right)}{K_0(v)}; \quad r \geq R_0, \quad (11)$$

где  $r$  – расстояние от точки в объекте до зоны контакта объект-теплоприемник (рис. 1).

Экспериментальное исследование проводилось на образце, выполненном из стали марки Ст3. Образец, в форме диска диаметром 117 мм и толщиной 0,5 мм, нагревался источником тепла, расположенным в цен-

тре образца. На расстоянии 40 мм от центра нагрева устанавливалась хромель-копелевая термопара, свободные концы которой стабилизировались при температуре, равной температуре окружающей среды.

Рассчитаем численные значения погрешности измерения температуры поверхности образца с помощью двухэлектродной термопары в процессе нагрева.

Для исследуемого образца:  $h_0 = 0,5 \cdot 10^{-3}$  м,

$$\gamma_0 = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, \quad \tilde{n}_0 = 490 \text{ \AA} \cdot \text{э} / (\text{э} \cdot \hat{E}),$$

$$\lambda_0 = 40 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}, \quad \alpha_0 = 10 \text{ \AA} \cdot \text{д} / (\text{д}^2 \cdot \hat{E}).$$

Для хромели:  $R_{Э1} = 2,5 \cdot 10^{-4}$  м,

$$\gamma_{Э1} = 8,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, \quad c_{Э1} = 410 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)},$$

$$\lambda_{Э1} = 21 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}, \quad k_{Э1} = 40 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Для копели:  $R_{Э2} = 2,5 \cdot 10^{-4}$  м,

$$\gamma_{Э2} = 9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, \quad c_{Э2} = 602 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)},$$

$$\lambda_{Э2} = 37,7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}, \quad k_{Э2} = 40 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Показатели тепловой инерции термоэлектродов по формулам (8):  $\varepsilon_{Э1} = 11,1$  с.;  $\varepsilon_{Э2} = 16,9$  с. По формуле (4) определяем тепловые проводимости:

$$\Lambda_{Э1} = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/К}; \quad \Lambda_{Э2} = 6,8 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/К}.$$

Для объекта по формуле (9)  $\varepsilon_0 = 95,5$  с.;

по формуле (6)  $R_0 = 3,5 \cdot 10^{-4}$  м и  $v = 1,12 \cdot 10^{-2}$ ,

откуда по (5)  $\Lambda_0 = 2,8 \cdot 10^{-2}$  Вт/К;

по (3)  $\eta = 4,27 \cdot 10^{-2}$  и по (7)  $\varepsilon = -1,73$  с.

Найденные значения параметров позволяют на основании соотношений (1) оценить погрешность измерения при различных законах изменения температур  $\vartheta_0(t)$  или  $\vartheta_{Э}(t)$ .

Для того, что бы воспользоваться формулой (1), необходимо иметь аналитическое представление  $\vartheta_{Э}(t)$ . Так как при получении переходной характеристики свободные концы термопар стабилизировались при температуре окружающей среды, то все расчетные значения температур будут представлять собой избыточные температуры. Таким образом, разделив значения измеренных термоЭДС  $E$  на значение термоэлектрической чувствительности термопары  $S_p$ , получим зависимость изменения измеренной температуры от времени  $\vartheta_{Э}(t) = T(t)$ .

Аппроксимируем экспериментальные данные логарифмической функцией вида:

$$y(x) = a \ln(x) + b. \quad (12)$$

Рассчитывая неизвестные коэффициенты  $a$  и  $b$  по формулам приведенным в [3], окончательно получим следующее выражение:

$$\vartheta_{Э}(t) = T(t) = 1,62 \ln(t) + 0,27. \quad (13)$$

Экспериментальные точки и график аппроксимирующей функции, представлены на рис. 2. Дифференцируя уравнение (13) по  $t$ , имеем:

$$\frac{d\vartheta_{Э}(t)}{dt} = \frac{1,62}{t}, \quad (14)$$

Подставляя в уравнение (1) найденные значения  $\nu$  и  $\epsilon$ , с учетом зависимостей (13) и (14) получим:

$$\Delta T(t) = 4,27 \cdot 10^{-2} (1,62 \ln(t) + 0,27) - 1,73 \frac{1,62}{t} = 6,92 \cdot 10^{-2} \ln(t) - \frac{2,80}{t} + 1,15 \cdot 10^{-2}. \quad (15)$$

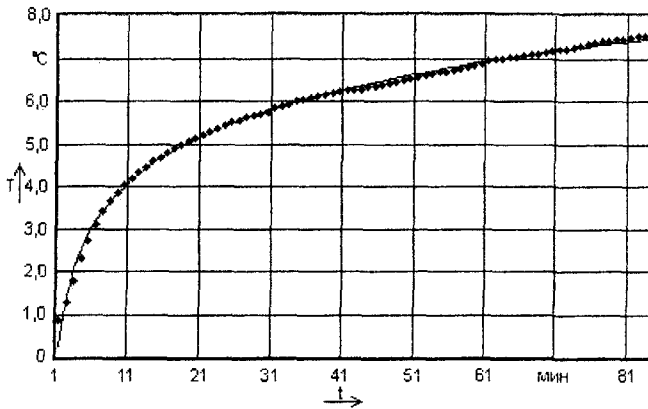


Рис. 2. График переходного процесса изменения температуры  $T$

**Литература:**

- 1 Гордон А.Н. Точность контактных методов измерения температуры. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 476 с.
- 2 Кулаков М.В. Измерение температуры поверхно-

График зависимости (15) представлен на рис. 3. Ее анализ позволяет сделать вывод, что с увеличением избыточной температуры, измеряемой при помощи термопары, происходит увеличение погрешности, связанной с теплооттоком по электродам термопары, необходимость учета которой зависит от конкретных условий проведения измерений.

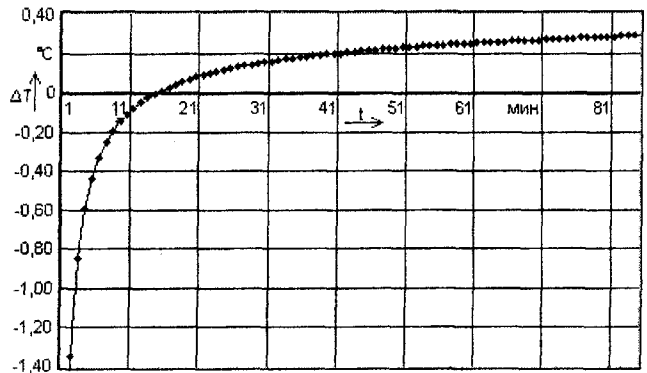


Рис. 3. Погрешность измерения температуры поверхности образца вследствие наличия теплооттока по электродам термопар

- сти твердых тел. – 2-е изд., перераб. и доп. / М.В. Кулаков, Б.И. Марков. – М.: Энергия, 1979. – 486 с.
- 3 Мак-Кракен Д. Численные методы и программирование на Фортране / Д. Мак-Кракен, У. Дорн. – М.: Мир, 1977. – 356 с.

УДК 621.317.39; 531.74.082.4

Канд. техн. наук, доц. Есипов В.Н., студ. Мерцалов В.М.  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862)419876; E-mail: pms35@mail.ostu.ru

## СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ДАТЧИКА В РЕЖИМЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ

*The mathematical model of hydro acoustic gyrosopic sensor is resulted in the mode of measuring of variable angular speeds. Static and dynamic descriptions of sensor are resulted in the indicated mode and their analysis conducted.*

В системах навигации и стабилизации всех движущихся объектов основными датчиками первичной информации об угловых перемещениях объекта являются различные гироскопические приборы. Точность их работы определяет точность самих систем.

Однако возможности повышения точности классических гироскопов с кардановым подвесом ограничиваются наличием возмущающих моментов, вызванных сухим трением в осях подвеса и неравножесткостью конструкции. В этом плане выгодно отличаются гидродинамические гироскопы со сферической полостью, полностью заполненной однородной жидкостью. Проблема съема информации в указанных гироскопах может быть решена на основе ультразвуковых измерений, которые позволяют преобразовывать измеряе-

мые параметры в частоту или временные сдвиги выходных электрических сигналов [1, 2].

С целью определения возможности практического использования таких датчиков на реальных объектах необходимо знать их статические и динамические характеристики при измерении переменных угловых скоростей.

Будем считать, что последние изменяются по гармоническому закону.

$$\omega_x = \omega_{x0} \cdot \sin(\omega \cdot t - \chi); \quad \omega_y = \omega_{y0} \cdot \sin \omega \cdot t.$$

где  $\chi$  – фазовый сдвиг.

Воспользуемся системой уравнений, полученных в работе [1], в правые части которых введены соответствующие гироскопические моменты.

$$\left. \begin{aligned} J_3 \ddot{\alpha} + k_d \dot{\alpha} + H \beta + k_d \Omega \beta &= -H \omega_{y0} \sin(\omega \cdot t); \\ J_3 \ddot{\beta} + k_d \dot{\beta} - H \dot{\alpha} - k_d \Omega \alpha &= H \omega_{x0} \sin(\omega \cdot t - \chi), \end{aligned} \right\} (1)$$

где:  $\alpha$  и  $\beta$  – углы, определяющие положение вращающейся системы координат относительно системы координат, связанной с вращающимся корпусом;

$J_3, H$  – соответственно, экваториальный момент инерции ротора и его кинетический момент;  
 $k_d$  – коэффициент жидкостного демпфирования.

В рамках прецессионной теории решение системы уравнений (1) имеет вид:

$$\begin{aligned} \alpha(t) = & -\frac{\omega \cdot \omega_{y0}}{2T} \left\{ e^{-\square \square \frac{t}{T}} \left[ \frac{-\frac{1}{T} \cos(\frac{t}{T^2 \Omega}) + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \sin(\frac{t}{T^2 \Omega})}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} + \frac{\frac{1}{T} \cos(\frac{t}{T^2 \Omega}) - (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega) \sin(\frac{t}{T^2 \Omega})}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega)^2} \right] + \right. \\ & \left. \frac{\frac{1}{T} \cos(\omega t) - (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \sin(\omega t)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} + \frac{-\frac{1}{T} \cos(\omega t) - (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega) \sin(\omega t)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega)^2} \right\} + \frac{\Omega \omega \cdot \omega_{x0}}{2T^2} \left\{ e^{-\square \square \frac{t}{T}} \times \right. \\ & \times \left[ \frac{\frac{1}{T} \cos(\frac{t}{T^2 \Omega} - \chi) - (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \sin(\frac{t}{T^2 \Omega} - \chi)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} + \frac{-\frac{1}{T} \cos(\frac{t}{T^2 \Omega} + \chi) + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega) \sin(\frac{t}{T^2 \Omega} + \chi)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega)^2} \right] + \\ & \left. + \frac{-\frac{1}{T} \cos(\omega \cdot t - \chi) + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \sin(\omega \cdot t - \chi)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} + \frac{\frac{1}{T} \cos(\omega \cdot t - \chi) + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega) \sin(\omega \cdot t - \chi)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega)^2} \right\} + \frac{\Omega}{2T} \omega_{x0} \left\{ e^{-\square \square \frac{t}{T}} \times \right. \\ & \times \left[ \frac{\frac{1}{T} \sin(\frac{t}{T^2 \Omega} - \chi) + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \cos(\frac{t}{T^2 \Omega} - \chi)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} + \frac{\frac{1}{T} \sin(\frac{t}{T^2 \Omega} + \chi) + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega) \cos(\frac{t}{T^2 \Omega} + \chi)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega)^2} \right] + \\ & \left. + \frac{-\frac{1}{T} \sin(\omega \cdot t - \chi) - (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \cos(\omega \cdot t - \chi)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} + \frac{\frac{1}{T} \sin(\omega \cdot t - \chi) - (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega) \cos(\omega \cdot t - \chi)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega)^2} \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \beta(t) = & \frac{\omega \cdot \omega_{x0}}{2T} \left\{ e^{-\square \square \frac{t}{T}} \left[ \frac{\frac{1}{T} \cos(\frac{t}{T^2 \Omega} + \chi) - (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega) \sin(\frac{t}{T^2 \Omega} + \chi)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega)^2} + \frac{-\frac{1}{T} \cos(\frac{t}{T^2 \Omega} - \chi) + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \sin(\frac{t}{T^2 \Omega} - \chi)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} \right] + \right. \\ & \left. + \frac{-\frac{1}{T} \cos(\omega t - \chi) - (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega) \sin(\omega t - \chi)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega)^2} + \frac{-\frac{1}{T} \cos(\omega t - \chi) - (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \sin(\omega t - \chi)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} + \frac{\frac{1}{T} \cos(\omega t - \chi) - (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \sin(\omega t - \chi)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} \right] + \\ & \left. + \frac{\Omega \cdot \omega_{y0}}{2T^2} \times \left\{ e^{-\square \square \frac{t}{T}} \left[ \frac{\frac{1}{T} \cos(\frac{t}{T^2 \Omega}) - (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \sin(\frac{t}{T^2 \Omega})}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} + \frac{-\frac{1}{T} \cos(\frac{t}{T^2 \Omega}) + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega) \sin(\frac{t}{T^2 \Omega})}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega)^2} \right] + \right. \\ & \left. + \frac{-\frac{1}{T} \cos(\omega t) + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \sin(\omega t)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} + \frac{\frac{1}{T} \cos(\omega t) + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega) \sin(\omega t)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega)^2} \right\} + \frac{\Omega \cdot \omega_{y0}}{2T} \left\{ e^{-\square \square \frac{t}{T}} \left[ \frac{\frac{1}{T} \sin(\frac{t}{T^2 \Omega}) + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \cos(\frac{t}{T^2 \Omega})}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} \right] + \right. \\ & \left. + \frac{-\frac{1}{T} \cos(\omega t) + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \sin(\omega t)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} + \frac{\frac{1}{T} \cos(\omega t) + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega) \sin(\omega t)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega)^2} \right\} + \frac{\Omega \cdot \omega_{y0}}{2T} \left\{ e^{-\square \square \frac{t}{T}} \left[ \frac{\frac{1}{T} \sin(\frac{t}{T^2 \Omega}) + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \cos(\frac{t}{T^2 \Omega})}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} \right] + \right. \\ & \left. + \frac{-\frac{1}{T} \cos(\omega t) + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega) \sin(\omega t)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega)^2} + \frac{\frac{1}{T} \cos(\omega t) + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega) \sin(\omega t)}{(\frac{1}{T})^2 + (\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega)^2} \right\} \end{aligned}$$

$$+ \left. \frac{\frac{1}{T} \sin\left(\frac{t}{T^2 \Omega}\right) + \left(\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega\right) \cos\left(\frac{t}{T^2 \Omega}\right)}{\left(\frac{1}{T}\right)^2 + \left(\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega\right)^2} \right\} + \left. \frac{-\frac{1}{T} \sin(\omega t) - \left(\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega\right) \cos(\omega t)}{\left(\frac{1}{T}\right)^2 + \left(\frac{1}{T^2 \Omega} - \omega\right)^2} + \frac{\frac{1}{T} \sin(\omega t) - \left(\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega\right) \cos(\omega t)}{\left(\frac{1}{T}\right)^2 + \left(\frac{1}{T^2 \Omega} + \omega\right)^2} \right\}, \quad (3)$$

где  $T = k_H/J_3$  – постоянная времени.

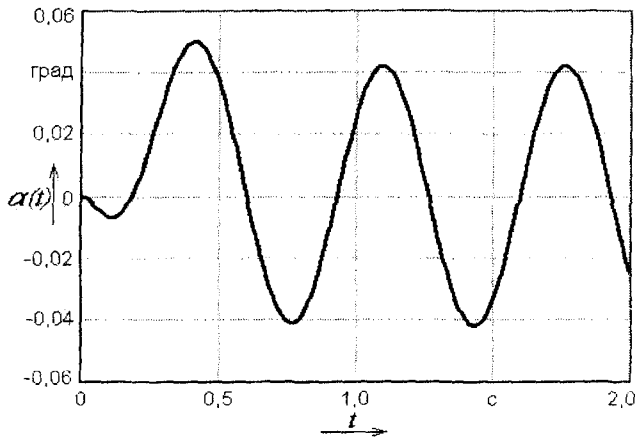


Рис. 1. Переходной процесс по углу  $\alpha$  при  $\omega_x = 30 \text{ с}^{-1}$ ,  $\omega = 9,42 \text{ с}^{-1}$  для гироскопа с полостью радиусом  $10^{-2} \text{ м}$ , заполненной водой, скорость вращения  $533,3 \text{ с}^{-1}$

Из полученных решений следует, что движение ротора является устойчивым. После затухания переходного процесса он совершает гармонические колебания

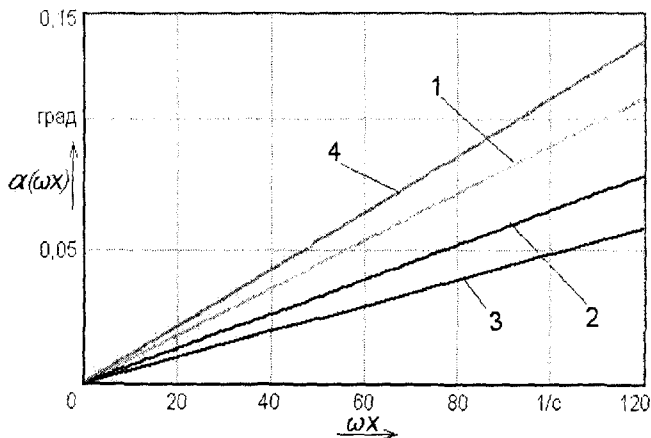
относительно нулевого значения (рис. 1), и амплитуда колебаний пропорциональна угловой скорости.

Из выражений (2) и (3) как частный случай при  $\omega_x = \text{const}$  и  $\omega_y = \text{const}$  можно получить известные выражения:  $\alpha = -T\omega_x$ ;  $\beta = -T\omega_y$ .

На рис. 2 представлены статические характеристики  $\alpha = f(\omega_x)$  для различных размеров полости, вращающейся со скоростью  $\Omega = 533,3 \text{ с}^{-1}$ , и двух вариантов ее заполнения.

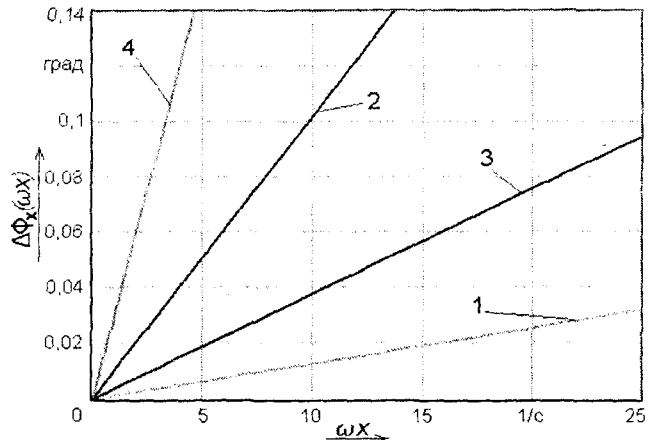
Повышение чувствительности гидроакустического гироскопического датчика возможно за счет увеличения радиуса полости и скорости вращения жидкости, а также за счет использования более тяжелых жидкостей с меньшей вязкостью.

Решения уравнений (2) и (3) свидетельствуют о наличии перекрестных связей по осям чувствительности. Анализ показывает, что чувствительность по перекрестной скорости, как минимум, на три порядка меньше чувствительности по основной скорости. Следовательно, перекрестные связи при рассмотрении характеристик датчика можно не учитывать.



- 1 – радиус полости  $10^{-2} \text{ м}$ , наполнитель вода;
- 2 – радиус полости  $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ , наполнитель вода;
- 3 – радиус полости  $10^{-2} \text{ м}$ , наполнитель ртуть;
- 4 – радиус полости  $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ , наполнитель ртуть

Рис. 2. Статические характеристики  $\alpha = f(\omega_x)$



- 1 – радиус полости  $10^{-2} \text{ м}$ , наполнитель вода;
- 2 – радиус полости  $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ , наполнитель вода;
- 3 – радиус полости  $10^{-2} \text{ м}$ , наполнитель ртуть;
- 4 – радиус полости  $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ , наполнитель ртуть

Рис. 3. Зависимости  $\Delta f_x = f(\omega_x)$

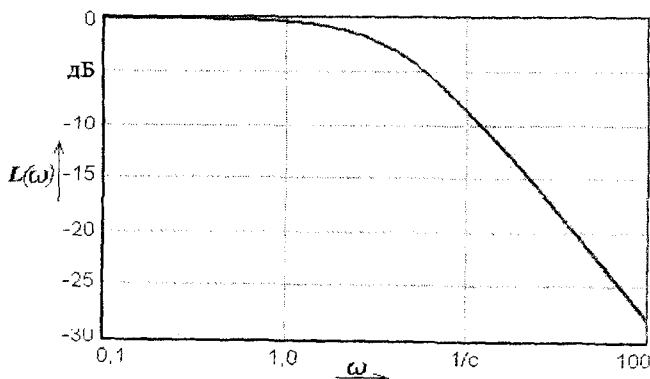


Рис. 4. ЛАЧХ гироскопа

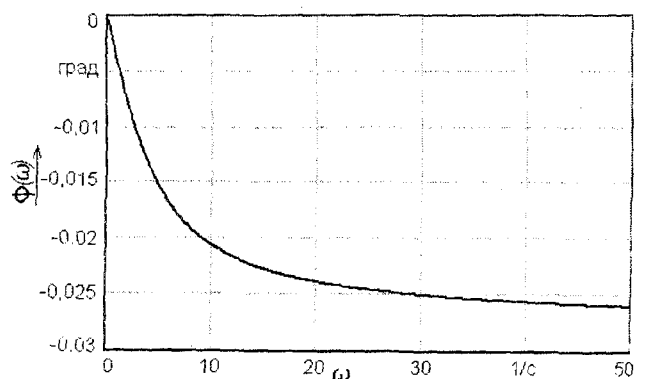


Рис. 5. Фазочастотная характеристика гироскопа

При использовании фазового метода выделения информации изменение фазы выходного сигнала от измеряемой угловой скорости определяется следующей зависимостью:

$$\Delta\varphi_x = \frac{4\sqrt{2}}{5} \pi \frac{R \cdot R_0 \cdot L \cdot f}{c^2} \sqrt{\frac{\rho\Omega}{\mu}} \omega_x, \quad (4)$$

где  $R$  – радиус полости;

$L$  – длина акустического пути;

$R_0$  – расстояние от геометрического центра полости до линии распространения ультразвука;

$c$  – скорость звука;

$\rho$  и  $\mu$  – соответственно, плотности и коэффициент динамической вязкости жидкости.

На рис. 3 изображены статические характеристики, построенные в соответствии с зависимостью (4).

Передачная функция датчика без учета перекрестной связи имеет вид:

$$W(s) = - \frac{\frac{H^2}{k_D^2 \Omega^2} s + \frac{H}{k_D \Omega}}{\frac{H^2 + k_D^2}{k_D^2 \Omega^2} s^2 + \frac{2H}{k_D \Omega} s + 1}. \quad (5)$$

Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика для датчика с полостью радиусом  $10^{-2}$  м, заполненной водой, вращающейся со скоростью  $533,3 \text{ с}^{-1}$ , представлена на рис. 4.

Частота излома логарифмической амплитудно-частотной характеристики, соответствующая изменению амплитуды в 3 дБ, может быть определена через постоянную времени:  $\omega = 1/T$ . Для данного варианта  $\omega = 4,09 \text{ с}^{-1}$  (0,65 Гц).

Зависимость амплитуды сигнала от частоты существенна при амплитудном выделении информации. Для фазовых измерений частотная полоса будет определяться наименьшим значением амплитуды напряжения, необходимого для срабатывания входного каскада схемы выделения информации. При использовании входных усилителей, предельная частота может быть увеличена с учетом характера изменения АЧХ для рассматриваемого варианта до 300 Гц.

Фазовые запаздывания датчика имеют малую величину (рис. 5).

Так, на частоте  $\omega = 4,09 \text{ с}^{-1}$  фазовый сдвиг составляет 0,013 градусов.

При фазовых изменениях зависимость фазы сигнала от частоты может вносить существенную погрешность в результат измерения. Однако при реализации дифференциальной методики измерения на основе пространственного или временного разделения акустических сигналов с вычитанием фазовых сдвигов с каждым из каналов помимо двукратного увеличения чувствительности указанная составляющая погрешности может быть уменьшена, как минимум, на порядок.

Таким образом, проведенный анализ характеристик гидроакустического гироскопического датчика при применении переменных угловых скоростей показывает его реализуемость с высокими метрологическими характеристиками.

#### Литература:

- 1 Есипов В.Н. Гидродинамический гироскоп с ультразвуковой системой съема / В.Н. Есипов, В.Я. Распопов // Оборонная техника, 1995. – №8. – С. 14-16.
- 2 Есипов В.Н. Жидкостные гироскопы с ультразвуковой системой съема информации / В.Н. Есипов, В.Я. Распопов // Оборонная техника, 1996. – №10-11. – с. 27-30.

УДК 621.3

Д-р. техн. наук, проф. Шкатов П.Н., асп. Лисицин О.Н.

(Московский государственный университет приборостроения и информатики)

Россия, г. Москва, тел. (495)2837812, E-mail: [petr\\_shkatov@mail.ru](mailto:petr_shkatov@mail.ru)

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ, ВНОСИМЫХ В ПРОХОДНОЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОЛЫМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ИЗДЕЛИЯМИ СО СКВОЗНЫМИ ТРЕЩИНАМИ

*The stated methods of the calculation of the change contributed parameter communicating the whirlwind current converters at presence of the end-to-end rifts in flap cylindrical product. The brought is results of the calculation and their analysis to problem of the discovery with reference to and measurements of the length of the rifts in short cylindrical product of the type of the bushings and cap.*

Для контроля качества изделий массового производства типа колец, втулок, туб, колпачков широко применяют вихретоковые дефектоскопы [1-4].

Статистический анализ качества изделий, производимых способом вытяжки, показал, что для них наиболее характерны сквозные трещины в концевых зо-

нах [3]. Представляет интерес исследовать взаимодействие вихретоковых преобразователей (ВТП) с такими дефектами. В ходе анализа разработана математическая модель, которая позволила преобразовать трехмерную задачу в двумерную осесимметричную, решенную методом интегральных уравнений [5].

На рис. 1 показана схема контролируемого изделия с принятыми геометрическими размерами.

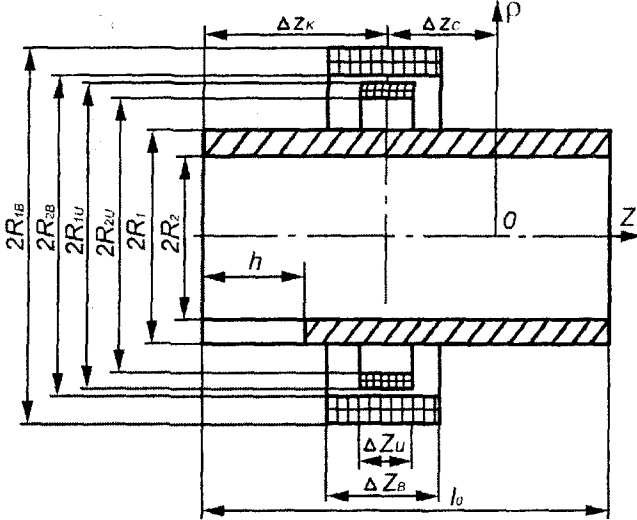


Рис. 1. Расчетная модель ВТП

Поскольку трещина сквозная, то при проведении анализа поля вихревых токов контролируемое изделие можно представить в виде полосы, состоящей из размещенных друг за другом цилиндрических разверток. При решении двумерных задач Лапласа и Пуассона применяют метод конформных отображений. С помощью отображения  $W = W(t)$  область  $t$ , в которой происходит поиск решения, преобразуется в более простую область  $W$ , для которой решение уравнения известно. Затем, связывая координаты обеих областей, находят решение в области  $t$ . Метод конформных отображений основан на том, что уравнения Пуассона и Лапласа не изменяют своего вида при конформном отображении.

Рассматриваемая задача электродинамики описывается уравнением Гельмгольца для комплексного вектора-потенциала  $A$ :

$$\nabla^2 A + K^2 A = -\mu_0 J_{\text{н}0}, \quad (1)$$

где  $K = \sqrt{-j\omega\mu_0\sigma_0}$ ,  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\omega$  – круговая частота изменения поля;  $\sigma$  – удельная электрическая проводимость;  $J_{cm}$  – плотность тока в возбуждающей обмотке ВТП.

При конформном отображении уравнение (1) не сохраняет свой вид, а переходит в следующее:

$$\nabla^2 A^* + \left| \frac{dt}{dW} \right| K^2 A^* = -\mu_0 J_{\text{н}0}^*, \quad (2)$$

В уравнении (2) отображение  $W = W(t)$  отображает область с трещиной на исходную, без дефекта,  $A^*$ ,  $J_{cm}^*$  – соответствующие величины после преобразования (отображения).

При малых значениях  $K^2$  возможен традиционный подход, что показано в работе [6]. В общем случае уравнение (2) можно трактовать, как соотношение для преобразования изделия с трещиной к исходному бездефектному путем введения коэффициента  $K_3$ :

$$K_3 = \left| \frac{dt}{dW} \right| K. \quad (3)$$

Коэффициент  $K_3$  становится функцией координат, а расчетная область уже не содержит трещины.

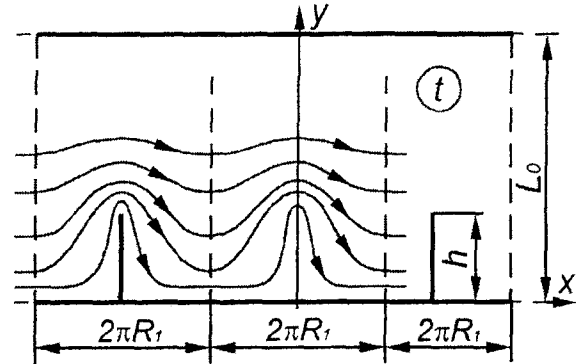


Рис. 2. Полоса, состоящая из совокупности цилиндрических разверток изделия

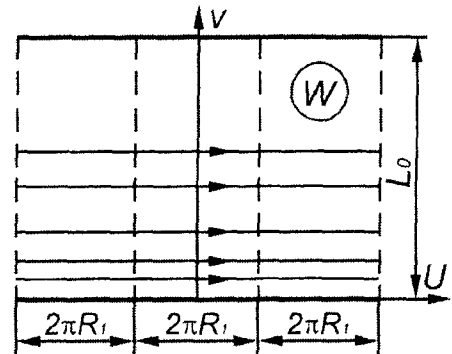


Рис. 3. Линии тока после отображения  $W=W(t)$  полосы с периодическими вырезами на сплошную полосу

В результате конформного отображения  $W = W(t)$  из области в виде полосы с периодическими разрезами  $t = x + jy$  (рис. 2) на сплошную полосу в области  $W = u + jv$  (рис. 3) линии электрического тока примут вид прямых, параллельных оси  $u$ . Здесь коэффициент  $K_3$ , в отличие от коэффициента  $K$  в области 1, будет изменяться вдоль координаты  $u$  в соответствии с формулой (3).

При использовании проходных ВТП измеряется интегральная информация о свойствах изделия, усредненных по его поперечному сечению, поэтому без потери какой-либо информации можно оперировать интегральным коэффициентом  $K_{cm}$  в полученных трубках тока для оценки их характеристик.

Интегральный коэффициент  $K_{cm}$  получим, интегрируя функцию  $K_3$  по длине развертки в плоскости  $W$ . С учетом уравнения (3) имеем:

$$K_{y0} = 2K \int_0^{\pi R_1} \left| \frac{dt}{dW} \right| du. \quad (4)$$

Полученный интеграл, как известно из работы [7], выражает изменение длины силовой линии после конформного отображения.

Учитывая, что в плоскости  $W$   $dl = du$ , после подстановки значения производной получаем:

$$L = 2 \int_0^{\pi R_1} \left| \frac{W}{\sqrt{W^2 - h^2}} \right| dU. \quad (5)$$



Выразив модули комплексных величин через компоненты  $u$  и  $V$ , окончательно получаем:

$$L = 2 \int_0^{\pi R_1} \frac{\sqrt{U^2 + V^2}}{\sqrt{(U^2 - V^2 - h^2)^2 + (2UV)^2}} dU \quad (6)$$

Интеграл (6) – сингулярный, поскольку при  $u = 0$  и  $v = h$  существует особенность. Это соответствует бесконечно большой величине эквивалентной удельной проводимости трещины металлического материала (дефекта контролируемого изделия)  $\sigma$ , в вершине трещины и, как следствие, наблюдаемой на практике концентрации плотности тока в этой точке.

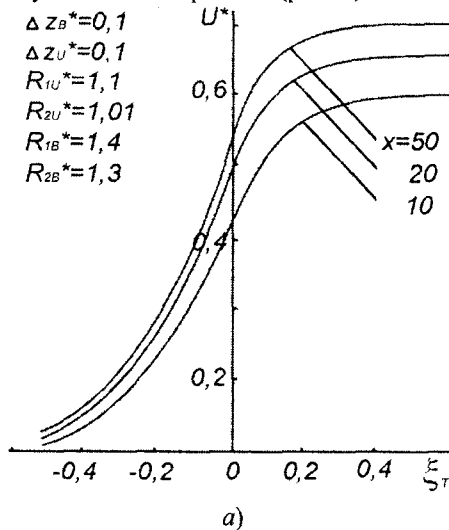
Искомое отношение длин контуров тока до и после преобразования, таким образом, определено:

$$\frac{l_k}{l_{kd}} = \frac{2\pi R_1}{L} \quad (7)$$

Коэффициент  $K_{эм}$  изменяется за счет вариации удельной проводимости  $\sigma$ . Поскольку  $K = \sqrt{\omega\sigma\mu_0}$ , получим, что в результате образования трещины эквивалентная удельная электрическая проводимость  $\sigma$ , в контуре должна измениться по закону:

$$\sigma_{э} = \sigma \left( \frac{l_k}{l_{kd}} \right)^2 \quad (8)$$

Это позволяет установить закон изменения  $\sigma$ , вдоль оси  $z$  и свести поставленную исследовательскую задачу к осесимметричной (рис. 4).



Полученную осесимметричную задачу решали методом интегральных уравнений по известной методике [5]. Результаты теоретических исследований приведены на рис. 5 – 11. Для обобщения получаемых зависимостей расчеты проводили для безразмерных параметров.

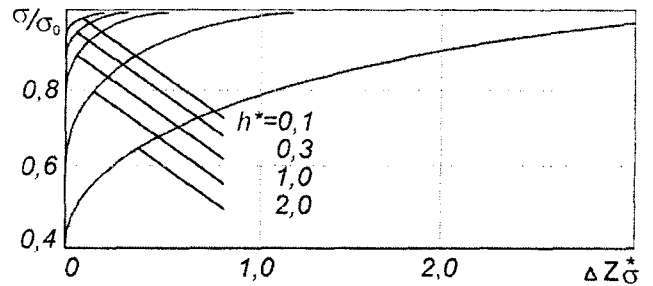


Рис. 4. Изменение нормированной эквивалентной удельной электрической проводимости  $\sigma$ , вдоль оси  $z$  изделия для  $l^*=3$  при различных значениях длины сквозной трещины  $h^*$

Все геометрические размеры нормировались по внешнему радиусу цилиндрического изделия  $R_1$ , а вносимое в ВТП напряжение – по напряжению «холостого хода». Режим контроля характеризовался обобщенным параметром  $X = K \times R_1$ .

На рис. 5, а представлены огибающие  $U^* = V(1^*)$  нормированного вносимого напряжения для разных значений  $X$ , где  $1^*$  – нормированное расстояние между центром ВТП и торцом изделия. Параметры, характеризующие ВТП, контролируемый объект и значения  $X$  показаны на данном рисунке.

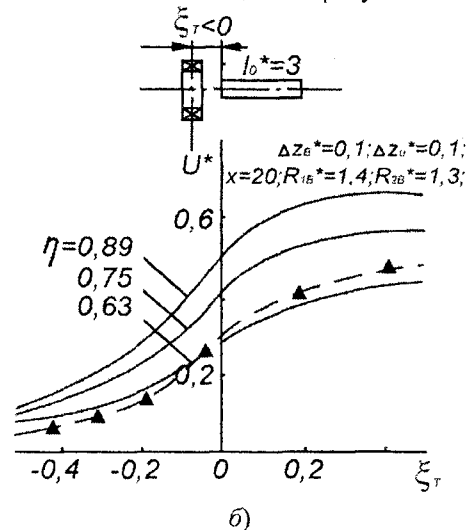


Рис. 5. Зависимости  $U^* = U/U_0$  при перемещении изделия через ВТП для разных значений обобщенного параметра  $X$  (а) и коэффициента заполнения  $\eta = (R_1/R_w)^2$  (б)

Из рис. 5, а видно, что изменение  $X$  наиболее существенно влияет на пологую часть огибающей, получаемой при перемещении изделия. Форма огибающей стабилизируется при  $X \geq 20$ . На рис. 5, б показаны огибающие  $U^*$ , полученные для разных значений коэффициента заполнения  $\eta = (R_1/R_w)^2$ . С уменьшением  $X$  высота огибающей вдоль всего импульса изменяется более пропорционально. Одновременно несколько уменьшается отношение длительности участков со стабильным и изменяющимся значениями  $U^*$ . Приведенные зависимости позволя-

ют определить зону действия краевого эффекта и дать его количественную оценку.

При наличии трещины в торцевой зоне изделия вносимое напряжение уменьшается.

На рис. 6, а приведена зависимость приращения:

$$\Delta U^* = |U^* - U_h^*| \times \text{sign}(|U^*| - |U_h^*|), \quad (9)$$

где  $U_h^*$  – нормированное вносимое напряжение при наличии трещины.

На рис. 6, б показано процентное изменение приращения после его дополнительной нормировки по вносимому напряжению  $U^*$ . Анализ рис. 6 показывает, что наибольшая чувствительность к дефектам достигается при  $\xi_T = 0$ , т.е. при совмещении плоскости центра ВТП и торца изделия. Вместе с тем, имеет место практически пологий участок в диапазоне  $0,3 < \xi_T < 0$ , поскольку при уменьшении приращения  $\Delta U$  вносимое электрическое напряжение  $U$  уменьшается по подобному закону.

Наличие пологого участка  $\Delta U^*$  целесообразно использовать для повышения точности измерения длины трещины  $h^*$  в статическом режиме, когда величина смещения  $I_T$  может варьироваться, например, из-за неточности установки изделия относительно

ВТП. Для выбора рабочей частоты преобразователя, определяемой обобщенным параметром  $X$ , исследовали изменение  $\Delta U^*$  для трещин различной длины. Соответствующие зависимости  $\Delta U^*(X)$  для разных значений  $h^*$  приведены на рис. 7, а на рис. 8 — годографы  $\Delta U^* = \Delta U^*(x, h^*)$ . Представленные зависимости показывают, что для трещин с длиной  $h^* = 0,3$  по мере увеличения  $X$  наблюдается стабилизация с насыщением при  $X > 20$ . При длине трещины больше 0,5 наблюдается максимум  $\Delta U^*$ , смещающийся в область меньших значений по мере роста  $h^*$ . Фаза  $\Delta U^*$  практически стабилизируется, начиная с  $X = 20$ .

Сквозные трещины той же длины, расположенные в центральной части контролируемого изделия, взаимодействуют с ВТП иначе.

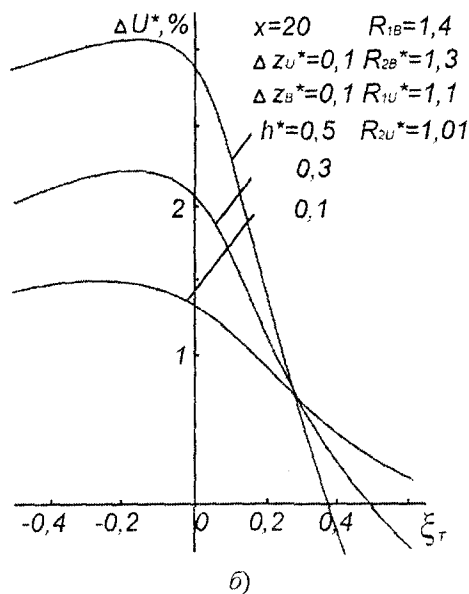
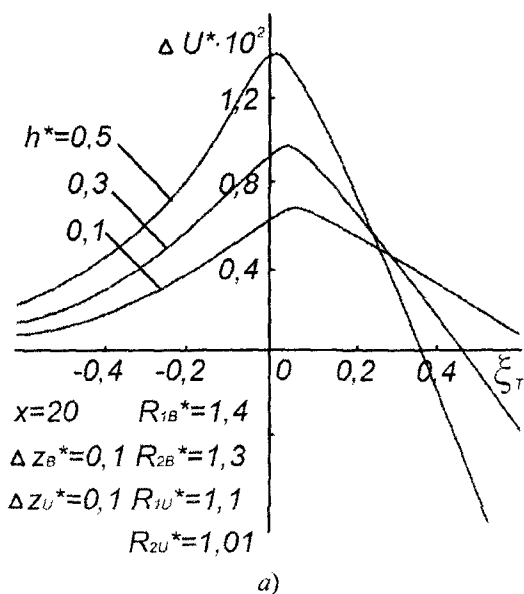


Рис. 6. Зависимости приращения вносимого напряжения  $U^*$  (а) и процентного приращения вносимого напряжения  $U^*$  (б) от смещения  $I_m$  между центром ВТП и торцом изделия

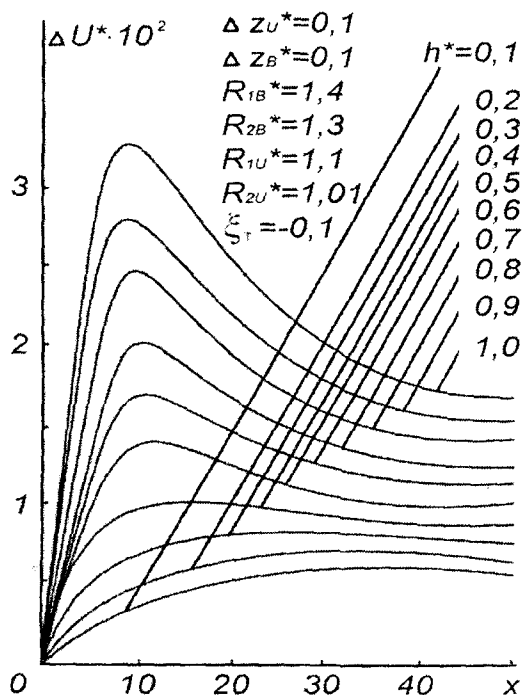


Рис. 7. Приращение  $\Delta U^*$  под действием сквозных трещин различной длины в функции обобщенного параметра  $X$

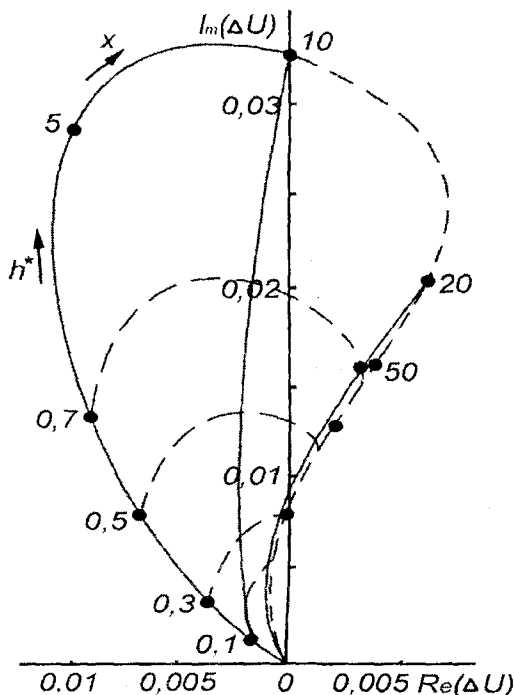


Рис. 8. Годографы  $\Delta U^* = \Delta U^*(x, h^*)$

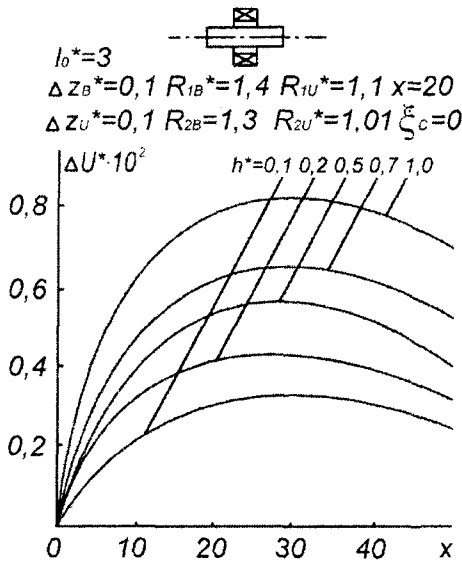


Рис. 9. Приращение  $\Delta U$  под действием сквозных трещин в центральной части изделия в функции обобщенного параметра  $X$

Из приведенных на рис. 9 зависимостей приращения  $\Delta U^* = \Delta U^*(x)$  для различных значений  $h^*$  таких трещин видно, что чувствительность к трещинам в центральной части существенно ниже, а экстремум выражен менее четко. Градуировочные кривые приращения  $\Delta U^* = \Delta U^*(x, h^*)$  для сквозных трещин в торцевой зоне для различных значений  $X$  (рис. 10) имеют две точки перегиба, что необходимо учитывать при разработке дефектометрических средств.

Определенный интерес представляет влияние размеров обмоток ВТП на регистрируемые параметры. На рис. 11 показано изменение  $U^*$  при вариации  $\Delta Z_{и}^*$  для ряда значений  $\Delta Z_{в}^*$ . Приведенные зависимости показывают, что наблюдается некоторый рост  $U^*$  вплоть до  $\Delta Z_{и}^* = 0,8$ . В целом, влияние  $\Delta Z_{и}^*$  и  $\Delta Z_{в}^*$  на величину  $U^*$  незначительно. Вместе с тем, с увеличением  $\Delta Z_{и}^*$  и  $\Delta Z_{в}^*$  уменьшается локальность контроля, поэтому следует стремиться к выполнению обмоток минимальной длины.

Достоверность разработанной методики расчета проверялась экспериментально.

Образец в виде короткой алюминиевой трубки имел следующие размеры, нормированные по ее внешнему радиусу:  $R_1 = 4,35$  мм;  $R_2 = 0,91$ ;  $l^* = 6,67$ . Параметры ВТП, содержащего 120 витков возбуждающей обмотки и 95 витков измерительной, следующие:  $\Delta Z_{в}^* = 5,7$ ;  $\Delta Z_{и}^* = 0,92$ ;  $R_{1в} = 1,3$ ;  $R_{2в} = 1,15$ . Трещины в контролируемом металлическом изделии имитировали прорезями, выполненными фрезерованием, длиной  $h^* = 0,2$ ;  $0,5$  и  $1,0$  и шириной  $b^* = 0,05$ .

На экспериментальной установке, состоящей из генератора, компенсатора, селективного вольтметра и прецизионного механизма перемещения получены зависимости  $\Delta U^* = \Delta U^*(\xi)$  и  $\Delta U^* = \Delta U^*(x, h^*)$ . Параллельно выполнены расчеты при данном наборе параметров. Экспериментальные и расчетные зависимости почти одинаковы, в частности, имеет место полное соответствие между оптимальными значениями  $X$ . Вместе с тем, количественные расхождения  $\Delta U$  составляют до 40 %, что частично можно отнести к влиянию ширины прорези, не учитываемой при расчетах.

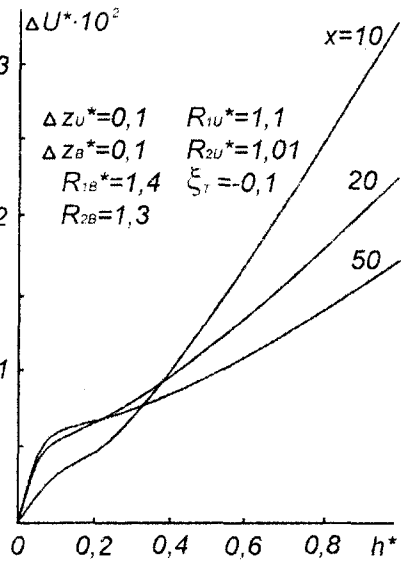


Рис. 10. Градуировочные кривые  $\Delta U^* = \Delta U^*(x, h^*)$  для сквозных трещин в торцевой части

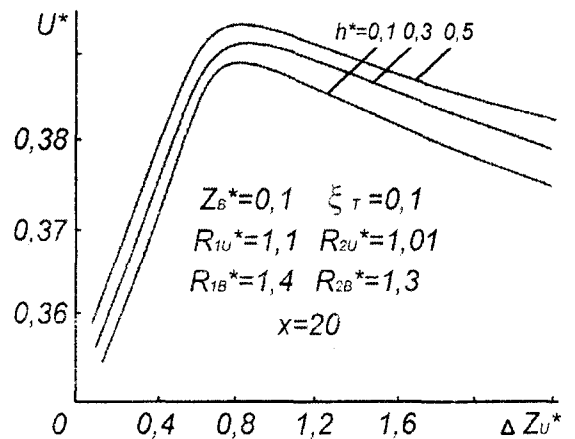


Рис. 11. Изменение  $U^*$  при вариации  $\Delta Z_{и}^*$  для различных значений  $\Delta Z_{в}^*$

Эксперименты проводили также для проверки правильности расчета  $U^*$ , вносимого бездефектным изделием. Полученные экспериментально точки нанесены на рис. 5, а. Эксперимент выполняли с обмотками ВТП, соответствующими расчетным.

### Выводы

Разработанная методика расчета позволяет с достаточной для практики точностью получить характеристики, необходимые при проектировании ВТП.

Сквозные трещины, начинающиеся от торца изделия, выявляются существенно лучше, чем трещины в центральной части. Для их выявления при длине  $h^* < 0,3$  оптимальны значения обобщенного параметра  $X \geq 20$ , а при длине  $h^* \geq 0,5$  – значения  $X \approx 10$ .

Градуировочные кривые  $\Delta U^* = \Delta U^*(h^*)$  имеют две точки перегиба, выраженные более четко при больших значениях  $X$ .

Изменение  $\Delta U^*$  вносимого напряжения под действием трещины имеет максимальное значение при совмещении центра ВТП и торца изделия, а величина  $\Delta U^*/U$  слабо зависит от осевого зазора между ними вплоть до  $0,3R_1$ .

**Литература:**

1 Демидов М.В. Вихретоковый дефектоскоп для автоматического контроля движущихся изделий с учетом «краевого эффекта» / М.В. Демидов, А.С. Канаев // Дефектоскопия. – М., 1984. – № 5. – С. 81-84.

2 Шатерников В.Е. Электромагнитные средства автоматического контроля движущихся коротких цилиндрических изделий / В.Е. Шатерников, А.П. Алексеев // Дефектоскопия. – М., 1984. – № 5. – С. 31-37.

3 Демидов М.В. Автоматические устройства электромагнитного контроля качества изделий. – Рига: ЛатНИИНТИ, 1987. – 67 с.

4 Демидов М.В. Высокопроизводительные автоматы для контроля и сортировки малогабаритных токопроводящих деталей. Обзор / М.В. Демидов, А.А. Фолифоров. – Рига: ЛатНИИНТИ, 1988. – 51 с.

5 Тозон О.В. Расчет электромагнитных полей на вычислительных машинах. – Киев: Техника, 1967. – 252 с.

6 Сухоруков В.В. Математическое моделирование электромагнитных полей в проводящих средах. – М.: Энергия, 1975. – 152 с.

7 Миролубов Н.М. Методы расчета электростатических полей / Н.М. Миролубов, М.В. Костенко, М.Л. Левинштейн, Н.Н. Тиходеев. – М.: Высшая школа, 1963. – 415 с.

8 Гончаров Б.В. Приближенный метод решения задач вихретоковой дефектоскопии // Тез. докл. XI Всесоюз. научн.-техн. конф. «Неразрушающие физические методы и средства контроля». – М., 1987. – 26 с.

9 Лаврентьев М.А. Методы теории функции комплексного переменного / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. – М.: Наука, 1973. – 736 с.

УДК 621.3

Асп. Малинин А.В.

(Московский государственный университет приборостроения и информатики)

Россия, г. Москва, тел. (495)2837812, E-mail: [rabix@mail.ru](mailto:rabix@mail.ru)

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАКЛАДНЫХ ВИХРЕТОКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СО СТЕРЖНЕВЫМИ СЕРДЕЧНИКАМИ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ И АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ДЕФЕКТОМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ

*Technical feature under development instrument and converters is spared on modern stage of the development of the facilities of the electromagnetic checking big attention. The role of the constructive particularities increases with increases the presented requirements and metrological features. The conducted studies in this direction carry the fragmentary nature and are often founded on labor-consuming experimental study with reference to chosen a type of the converter. For the efficient choice constructive parameters and mode of the checking necessary creation is extensive database of the main functional dependencies for estimation defect metallic product.*

В средствах вихретоковой дефектоскопии широко применяются накладные вихретоковые преобразователи (ВТП) со стержневым ферромагнитным сердечником. ВТП данного типа просты в изготовлении, имеют высокую локальность и абсолютную чувствительность. Несмотря на популярность, ВТП со стержневыми сердечниками изучены недостаточно полно. Это затрудняет выбор близких к оптимальным параметров данных ВТП. Кроме того, недостаточная научная проработка ВТП со стержневыми сердечниками не позволяет установить с приемлемой для практики погрешностью взаимосвязь между выходными сигналами ВТП, с одной стороны, и параметрами контролируемого объекта, с другой стороны.

Применение находят как параметрические, так и трансформаторные ВТП. В параметрических ВТП информацию получают по изменению комплексного сопротивления самой возбуждающей обмотки. В трансформаторных ВТП об объекте контроля судят по изменению напряжения  $U_{вн}$ , вносимого в измерительную обмотку ВТП. Для подавления неинформативной составляющей напряжения, наводимой в из-

мерительную обмотку при отсутствии объекта контроля, применяют дифференциальное включение двух идентичных ВТП, один из которых рабочий, а второй, не взаимодействующий с контролируемым объектом, – компенсационный. Наиболее популярен ВТП, содержащий возбуждающую и измерительную обмотки на общем сердечнике. Конструкция исследуемого ВТП приведена на рис.1

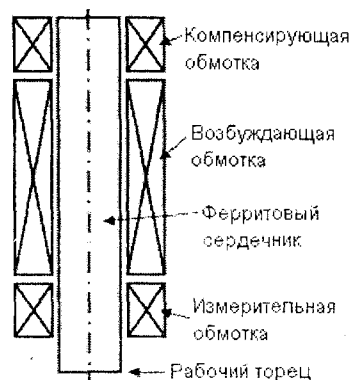


Рис. 1. Конструкция ВТП

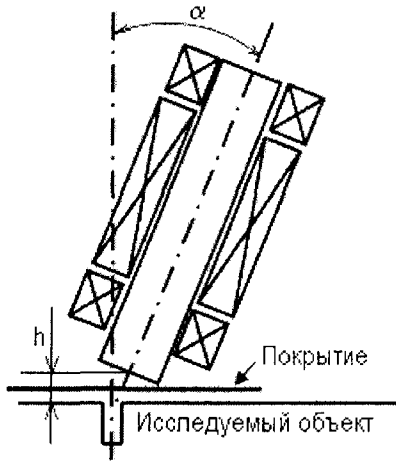


Рис. 2. Геометрическая расчетная модель

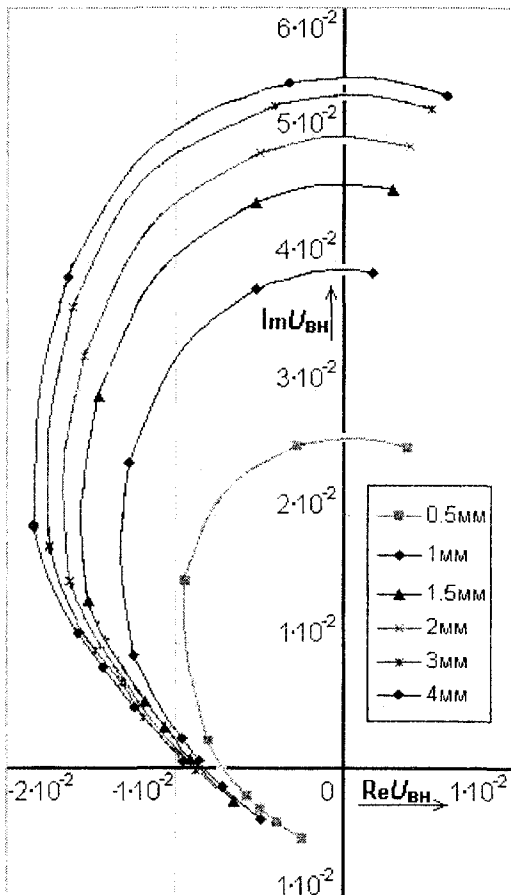


Рис. 3. Годограф вносимого напряжения для различных глубин дефекта в диапазоне частот (1-1000 кГц)

Для проведения теоретических исследований применялось математическое моделирование на основе метода конечных элементов (МКЭ). При необходимости решения частной задачи, связанной с дефектоскопией конкретного объекта, применение МКЭ становится нецелесообразным из-за большого объема подготовительной работы. В связи с этим актуально проведение исследований, направленных на автоматизацию вычислительного процесса при использовании МКЭ широкого класса задач вихретоковой дефектоскопии с помощью конкретных ВТП. Для практической реализации МКЭ использовался программный пакет ANSYS. Данный выбор связан с широким рас-

пространением данного пакета и подтверждением достоверности получаемых с его помощью результатов огромным опытом применения в различных областях и соответствующими сертификатами.

Для моделирования на основе МКЭ ВТП была разработана геометрическая расчетная модель (рис. 2), позволяющая проводить вычисления при изменении параметров дефектов типа трещин, параметров ВТП, параметров объекта контроля (ОК) и взаимного положения ВТП и ОК. ОК имеет дефект сплошности типа «трещина» с изменяемыми параметрами:

- глубина (0,1 мм – 1 мм);
- ширина трещины (0,005 мм – 0,1 мм);
- длина (0,5 мм – 1 м).

Исследования проводились для определения влияния на вносимые параметры ВТП глубины и длины трещины при различных режимах контроля, вариации рабочего зазора, электромагнитных свойств металла, влияния угла наклона оси ВТП, локальных изменений электромагнитных свойств, истирания сердечника и других влияющих факторов.

При проведении теоретических исследований были рассчитаны годографы (рис. 3 – 4) нормированного вносимого напряжения. Нормирование  $U_{вн}$  проводилось по напряжению «холостого хода»  $U_0$ , наводимого в измерительную обмотку при отсутствии контролируемого объекта. Для полученных годографов были рассчитаны амплитудные  $|U_{вн}|$  и фазовые  $\varphi_{вн}$  зависимости для различных режимов контроля (рис. 5 – 6).

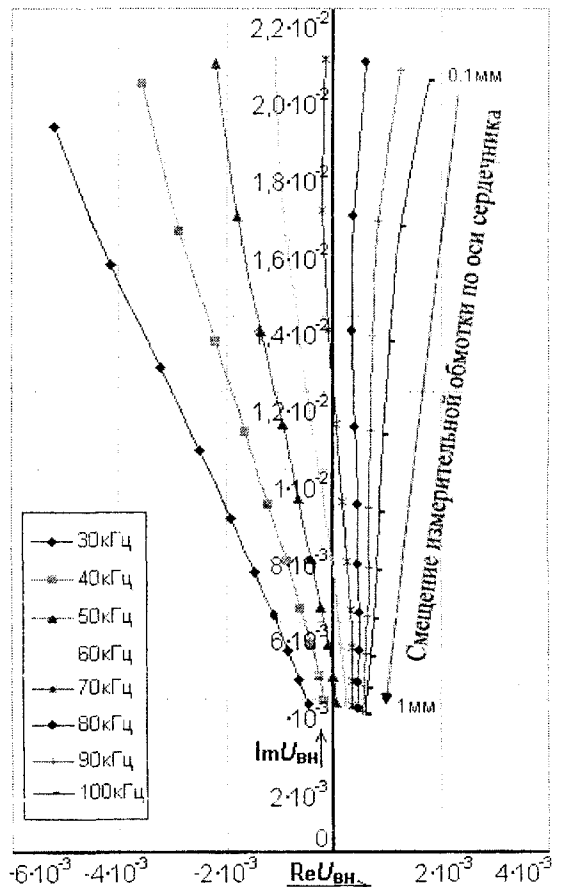


Рис. 4. Годограф вносимого напряжения для различного расположения измерительной обмотки на оси сердечника относительно торца в диапазоне частот (30-100 кГц)

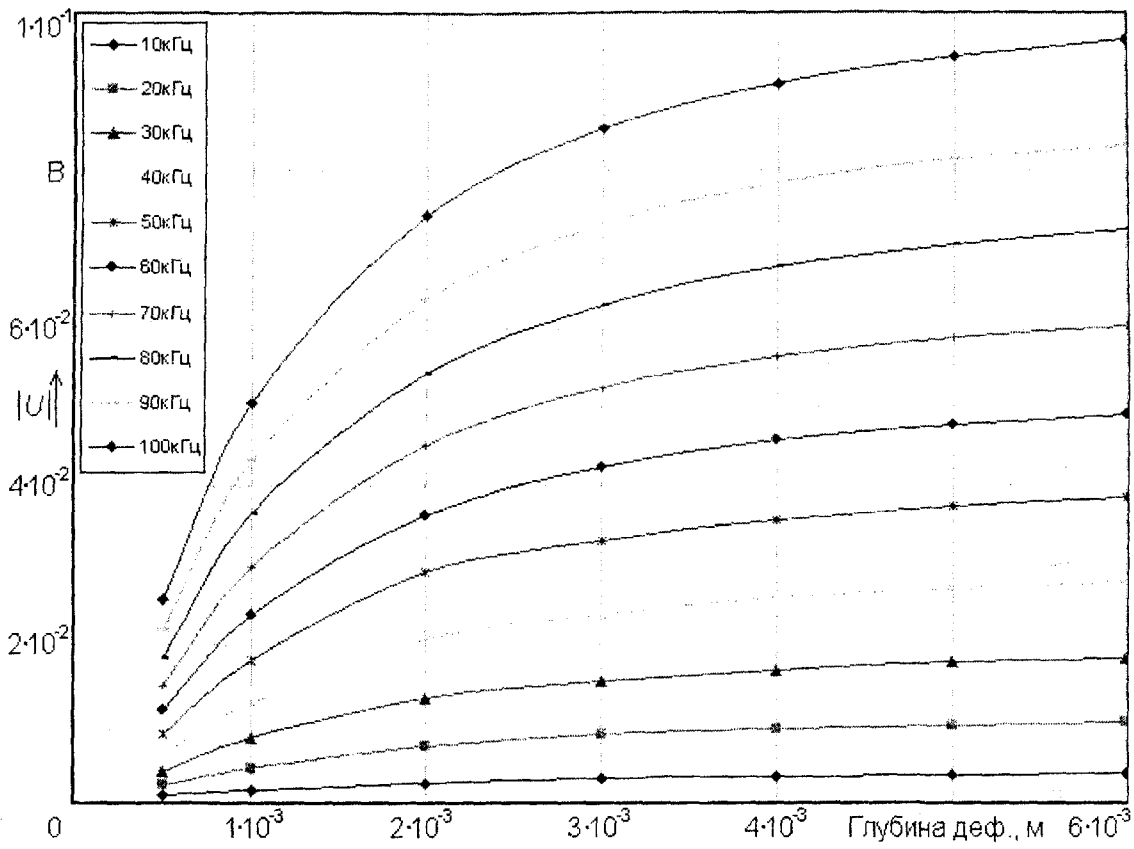


Рис. 5. Зависимость амплитуды вносимого напряжения от изменения глубины дефекта в диапазоне частот (1-10 кГц)

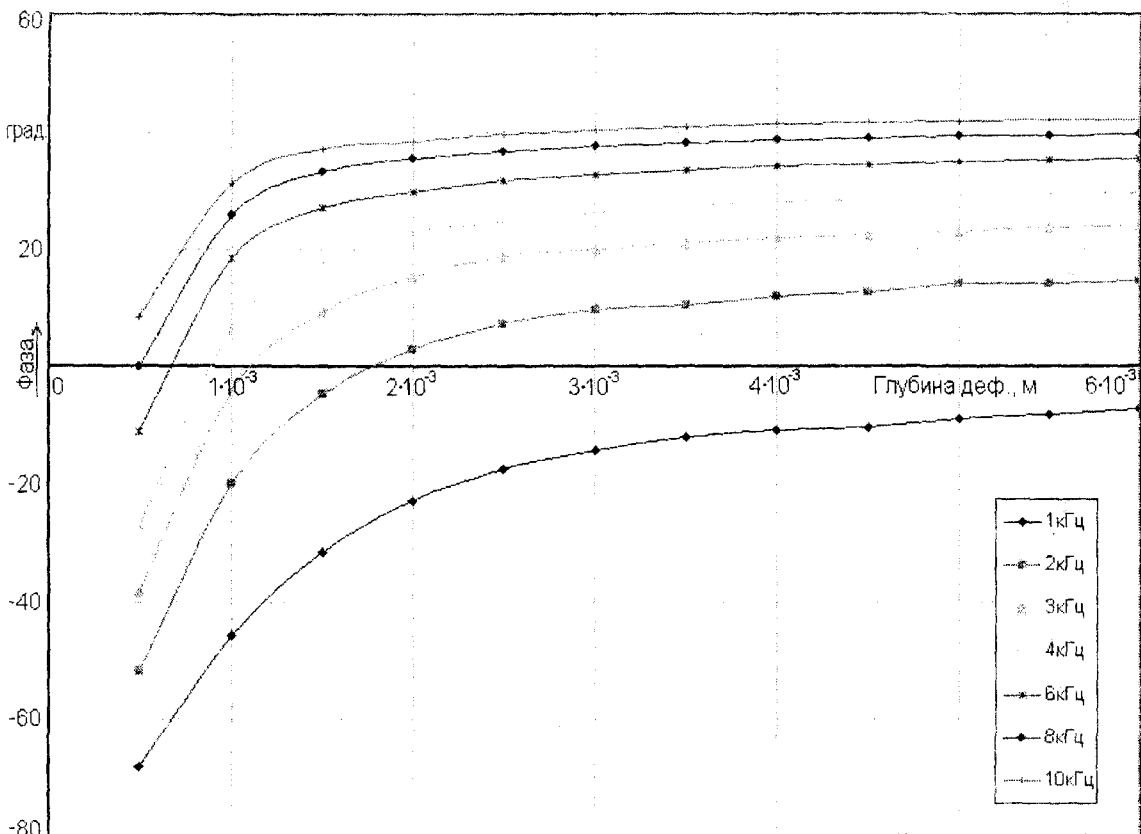
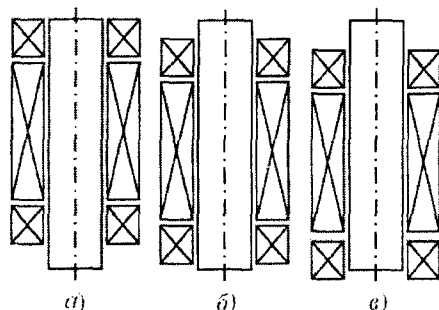


Рис. 6. Зависимость фазы вносимого напряжения от изменения глубины дефекта в диапазоне частот (1-10 кГц)

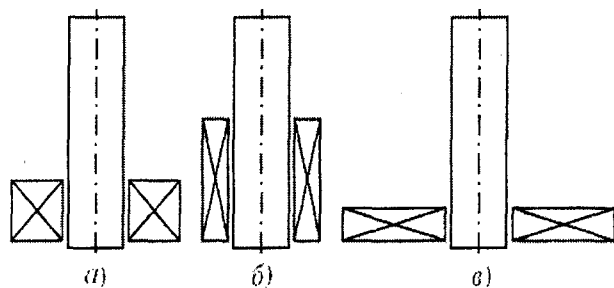
Оценка конструктивных параметров исследуемого ВТП проводилась для случаев смещения обмоток преобразователя по оси сердечника (рис. 7) и для различ-

ных типов намотки (рис. 8). Рассмотрены также возможные случаи истирания ферромагнитного стержня вихрекового преобразователя.



а – нормальное состояние;  
 б – смещение обмотки в пределах сердечника;  
 в – смещение за пределы сердечника

Рис. 7. Смещение обмотки ВТП по оси сердечника



а – обмотка равномерно распределена;  
 б – обмотка распределена вдоль оси сердечника;  
 в – обмотка распределена радиально

Рис. 8. Способы намотки параметрического ВТП с ферромагнитным сердечником

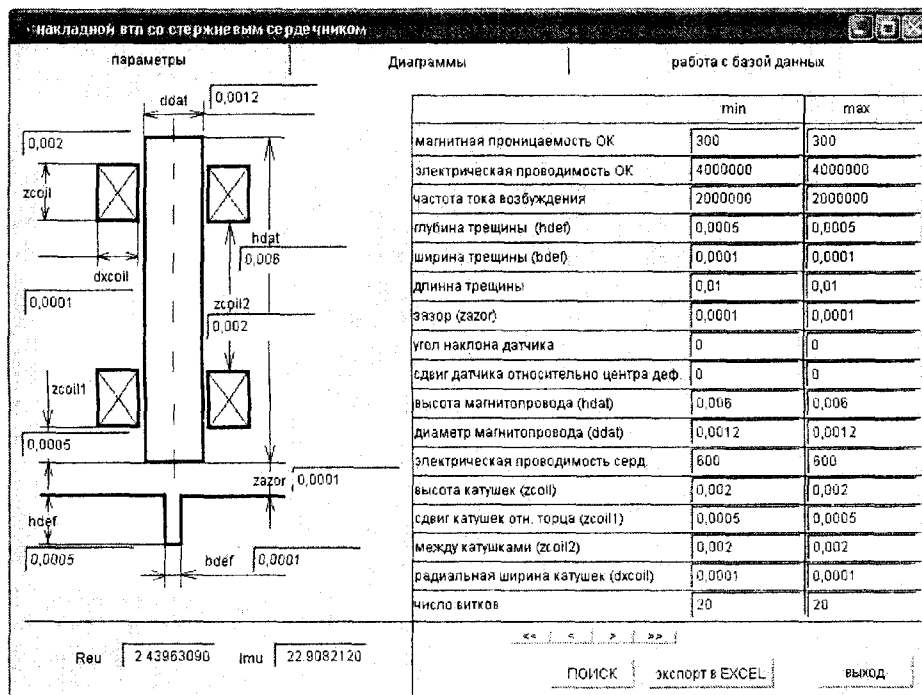


Рис. 9. Внешний вид программного комплекса для работы с базой данных

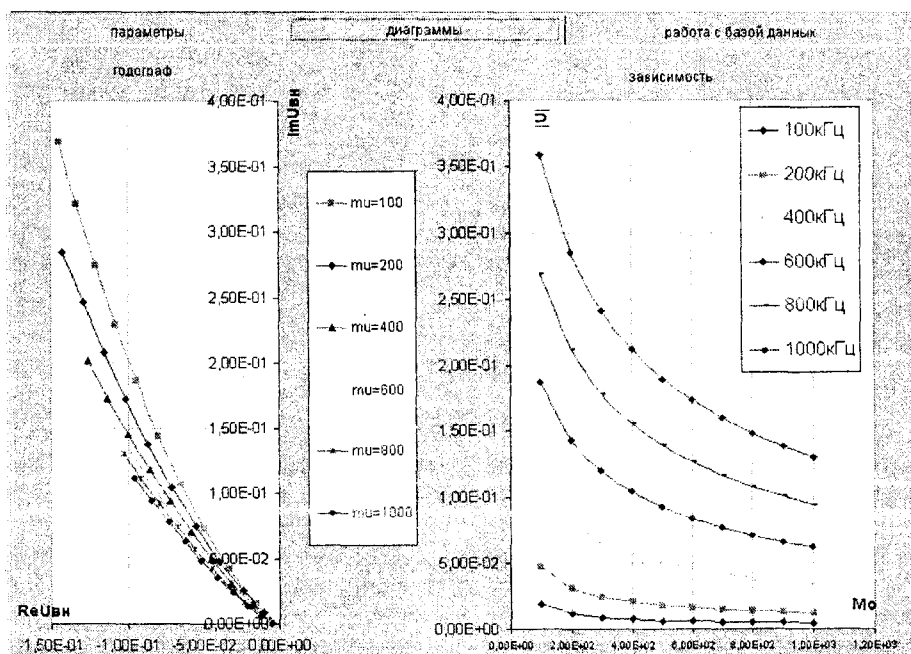


Рис. 10. Диаграммы, моделируемые с помощью программного комплекса

Также рассматривался «эффект магнитных пятен», когда локально изменяется величина магнитной проницаемости в металлическом изделии – объекте неразрушающего контроля.

Вихретоковые методы контроля многопараметровые и число анализируемых факторов достаточно велико, что затрудняет представление результатов в традиционном виде. В связи с этим результаты исследований были представлены в виде базы данных с возможностью поиска и генерации диаграмм, необходимых для дефектометрической оценки. Внешний вид программного комплекса персонального компьютера (ПК) представлен на рис. 9. Диаграммы моделируются в виде годографов и амплитудно-фазовых характеристик (АФХ), как показано на рис. 10.

С помощью предложенного программного комплекса можно проводить эффективную дефектометрическую оценку для приборов индикаторного типа. Использование генерированных данных совместно с показаниями индикаторного дефектоскопа значительно расширяет представление о параметрах ОК.

Из-за многопараметровости вихретокового контроля при контроле одного из параметров влияние остальных на сигнал преобразователя становится негативным. В связи с этим целесообразно учитывать вычисленные с помощью базы данных доверительные интервалы, в пределах которых измеряемая величина может менять своё значение. Алгоритм построения и использования доверительных интервалов проиллюстрирован на рис. 11 – 12.

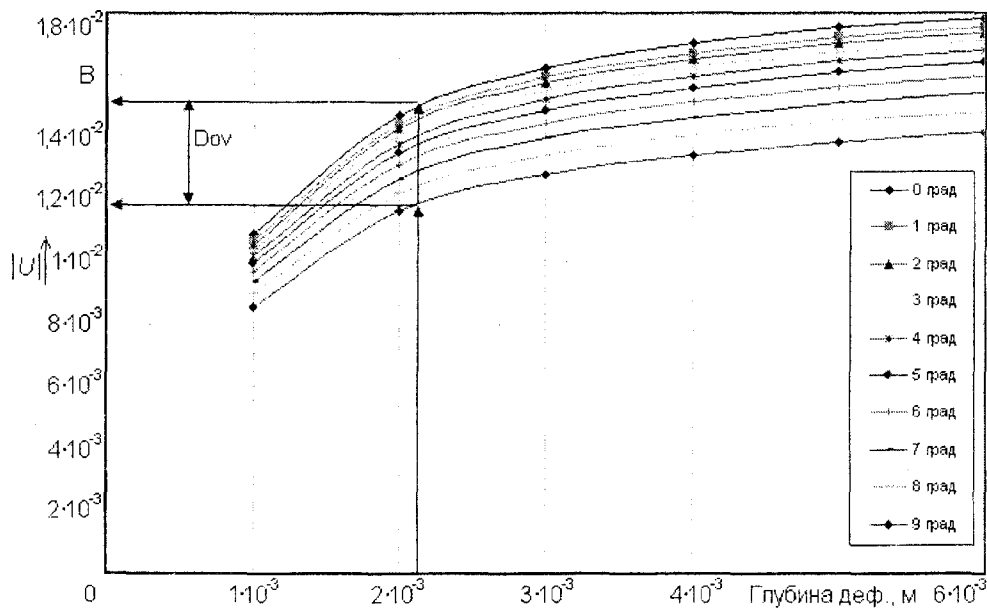


Рис. 11. Зависимость  $|U|_{вн}$  от глубины дефекта для различных углов наклона оси преобразователя

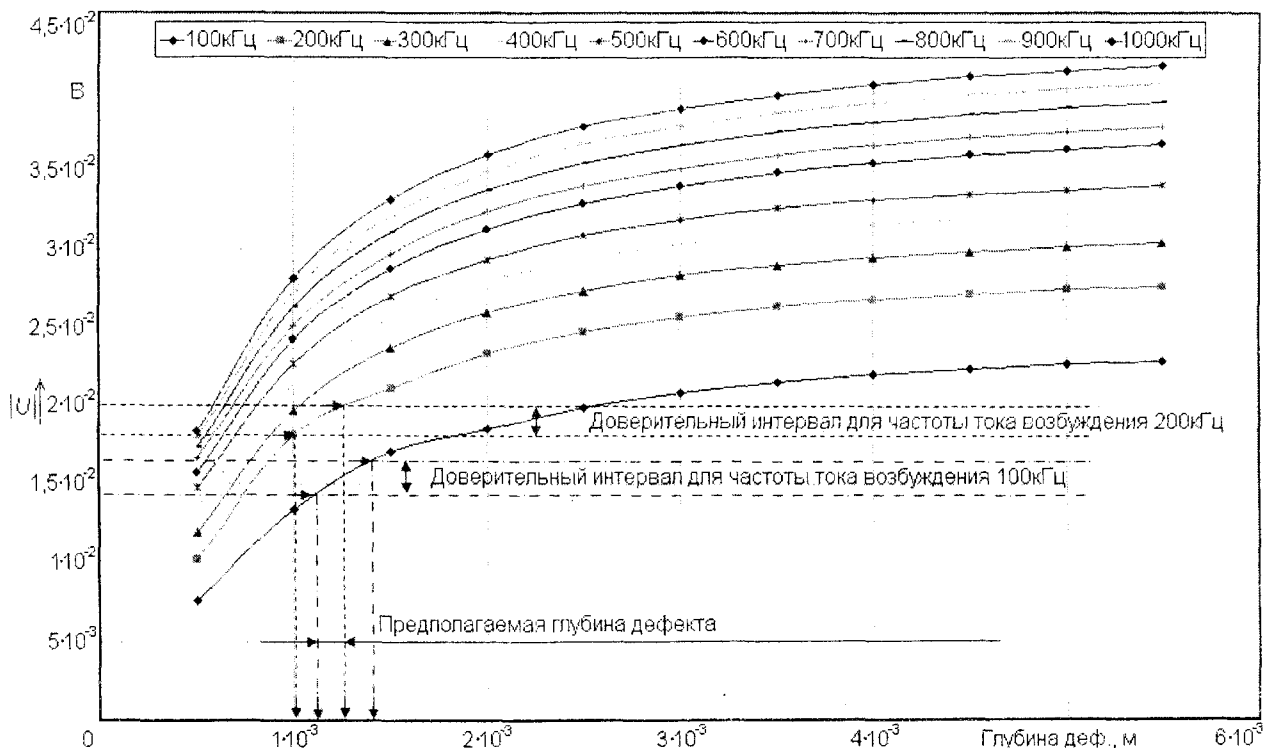


Рис. 12. Зависимость  $|U|_{вн}$  от глубины дефекта в металлоизделии для различных частот тока возбуждения



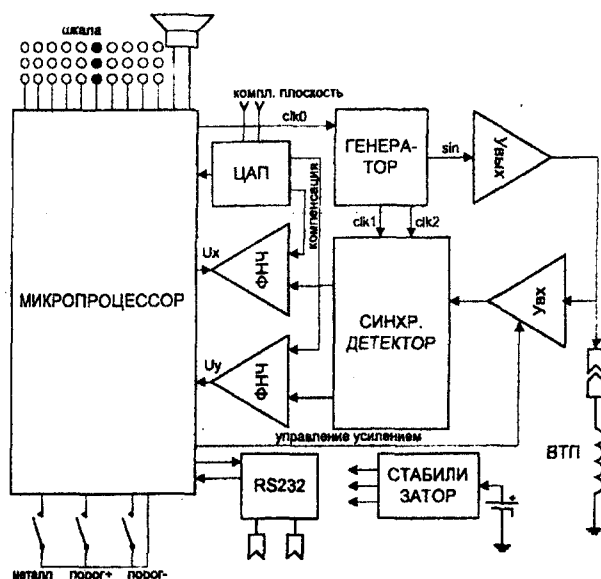


Рис. 13. Структурная схема электронного блока дефектоскопа «Галс ВД-130»

Взаимосвязь между выходными сигналами ВТП, с одной стороны, и параметрами контролируемого объекта, с другой стороны, предполагается устанавливать с помощью согласующих коэффициентов для различных типов дефектоскопов.

Информационная база данных была реализована на базе вихретокового дефектоскопа «Галс ВД-130». Дефектоскоп предназначен для выявления поверхностных дефектов в различных объектах из магнитных и немагнитных сталей, цветных, тугоплавких металлов и сплавов, а также для оценки глубины выявленных трещин. Выявление дефектов осуществляется как при пересечении датчиком зоны дефекта в процессе сканирования, так и при остановке датчика над дефектом.

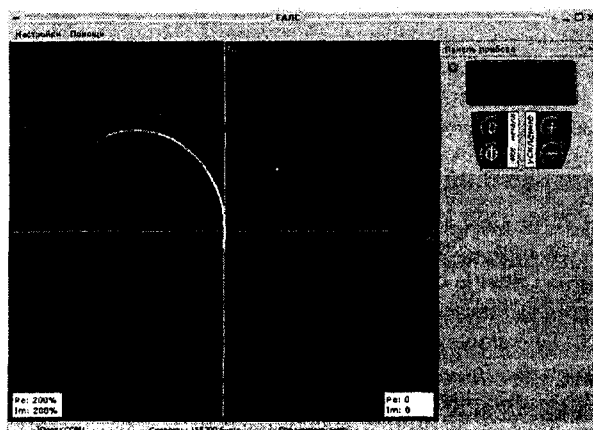


Рис. 14. Окно программы для дефектоскопа «Галс ВД-130»

Визуальное представление информации осуществляется через индикаторный интерфейс. Дефектоскоп имеет преобразователь уровней RS-232, позволяющий микропроцессору обмениваться информацией с любой внешней персональной вычислительной машиной (ПЭВМ), поддерживающей этот протокол (рис. 13).

Для получения и дефектометрической обработки сигналов разработана программа на ПЭВМ, способная управлять работой дефектоскопа через интерфейсный порт. Вносимое напряжение  $U_{вн}$  в комплексной форме изображается на дисплее ПЭВМ (рис. 14).

#### Литература:

- 1 Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 576 с.
- 2 Кулон Ж.Л. САПР в электротехнике / ж.Л. Кулон, Ж.К. Сабаннадьер. – М.: Мир, 1988. – 324 с.
- 3 Каплун А.Б. ANSYS в руках инженера. – М.: УРСС, 2004. – 601 с.

УДК 531.7

Асп. Воронин Р.Н.  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (495)419876, E-mail: pms35@mail.ostu.ru

## МЕТОД И СРЕДСТВО КОНТРОЛЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЯКИША ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

*The article is dedicated to method of the checking the main features to viscosity of the soft part of bread product and facility of the measurement, by means of which this method is realized.*

Способы измерения реологических характеристик пищевых продуктов во многом аналогичны способам измерения механических характеристик структуры различных строительных и пластических материалов, структурированных дисперсных коллоидальных систем и растворов полимеров. Однако отождествлять эти способы нецелесообразно, так как структуры пищевых продуктов специфичны по своему деформационному поведению. Поэтому при разработке

метода измерения и контроля реологических характеристик мякиша хлебобулочных изделий необходимо учитывать некоторые специфические особенности их структуры.

Хлеб и аналогичные ему изделия представляют собой пенообразные материалы, образованные путём термической обработки бродящего теста в печи [1]. В результате данной обработки пластично-упругая структура теста превращается в упруго-хрупкую пла-

стичную студнеобразную структуру хлебного мякиша. Следует полагать, что его пластичные деформации имеют место, в основном, при малых скоростях деформирования вследствие релаксации напряжений, так как в противном случае хлебный мякиш просто не успевает их реализовать в полном объеме, в результате чего хлеб проявляет псевдопластичность. В связи с этим при исследовании реологических свойств хлебного мякиша следует ограничиваться малыми величинами его деформаций и их скорости.

С увеличением прогресса брожения теста и понижением в нём при клейстеризации крахмала содержания свободной воды, в образующемся мякише хлеба прекращается течение и, из-за увеличения периода релаксации напряжений, обнаруживается способность к значительным объёмным упруго-хрупким деформациям растяжения, сжатия и изгиба эллипсоидных стенок пор. Доля деформаций сдвига в них становится незначительной, поэтому с целью исследования реологических свойств мякиша становится более целесообразным измерение в мякише общих сложных деформаций объёмного – одноосного сжатия или растяжения. Деформацию сжатия измерять значительно проще и удобнее, поскольку при растяжении исследуемый образец трудно прикрепить к зажимам прибора, не изменяя структуры испытуемого образца.

Однако при одноосном сжатии хлебного мякиша происходит изменение площади поперечного сечения образца, которое при расчёте реологических характеристик известными методами [2 – 4] никак не учитывается, что в конечном итоге приводит к сильному расхождению результатов, рассчитанных теоретически, с результатами, полученными опытным путём. Указанных трудностей можно избежать, если вместо деформации одноосного сжатия использовать деформацию всестороннего сжатия, которая лишена недостатка изменения площади поперечного сечения образца, а также является ещё более простой и легче реализуемой, а значит и более приемлемой.

При измерении величин деформаций важно определить метод наложения напряжений на испытуемый образец. На практике используют статический или динамический методы наложения [5]. Первый позволяет более подробно изучить специфику каждой испытуемой структуры, использовать результаты измерений в целях исследования и контроля. Но при этом в ряде случаев трудно изучать релаксационные свойства структуры испытуемого образца.

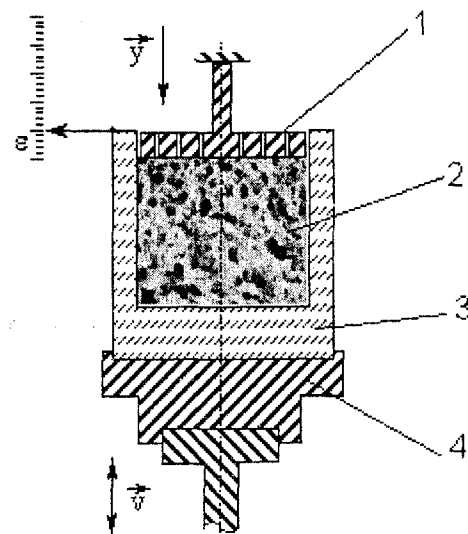
Метод динамических напряжений позволяет широко изучать релаксационные и упругие свойства исследуемой структуры и её деформационное поведение в условиях больших эксплуатационных градиентов скорости деформаций. Но при этом методе имеется меньше возможности изучать такое важное свойство, как высокая эластичность структуры. Кроме того, методы обработки результатов измерений более сложны, по сравнению с методикой расчётов при помощи статических напряжений, где не принимается в расчёт энергия инерции массы системы.

В связи с этим для исследования реологических свойств хлебного мякиша при условии малых величин его деформаций и их скорости целесообразнее всего использовать не статический или динамиче-

ский, а квазистатический метод наложения напряжений. Он позволяет широко изучать релаксационные и упругие свойства хлебобулочных изделий, а также свойства высокой эластичности их структуры. При этом обработка результатов измерений остаётся такой же простой, как и при статическом методе.

На основе вышесказанного предлагается метод измерения и контроля реологических свойств хлеба, заключающийся в квазистатическом деформировании пористой структуры его мякиша в закрытом объёме и в измерении величины создаваемых напряжений  $\bar{\sigma}$  в зависимости от величины деформации  $\varepsilon$ . При этом необходимо отметить, что скорость деформирования хлебного мякиша следует принять постоянной ( $v = const$ ), так как в данном случае зависимость между создаваемым напряжением и деформацией можно рассматривать как функцию лишь одного переменного, что, в конечном итоге, упрощает проведение экспериментальных исследований и их математическое описание.

Схематически принцип реализации предложенного метода представлен на рис. 1.



1 – поршень; 2 – исследуемая среда;  
3 – кассета; 4 – подвижный столик

**Рис. 1. Схема измерения реологических характеристик мякиша хлебобулочных изделий**

Алгоритм реализации приведённой выше измерительной схемы заключается в следующем.

Сначала из середины буханки хлеба острым ножом вырезали образец хлебного мякиша в форме параллелепипеда. Затем полученный образец помещали в закрытый объём экспериментальной кассеты, выполненной из прозрачного материала и имеющей также форму параллелепипеда, но без верхней грани. Далее приготовленную кассету с исследуемым образцом помещали между двумя параллельными пластинами, одна из которых, например нижняя, является подвижной, как это схематично показано на рис. 1. Приводя нижнюю пластину в движение, исследовали процесс осевого сжатия хлебного мякиша в вертикальной плоскости, а полученный результат выражали графически в виде диаграммы деформирования или так называемой кривой кинетики деформации (рис. 2).

Затем по полученной диаграмме деформирования определяли реологические характеристики хлеба: эквивалентный  $D_{экр}$  и порядковые  $D_1$  и  $D_2$  модули упругости, «эластическую»  $\lambda$  и пластическую  $\mu$  вязкости, а также предел прочности  $\sigma_{пр}$ .

Методику определения приведённых выше реологических констант поясним, исходя из графика зависимости между напряжением и общей деформацией хлебного мякиша при сжатии, приведённой на рис. 2.

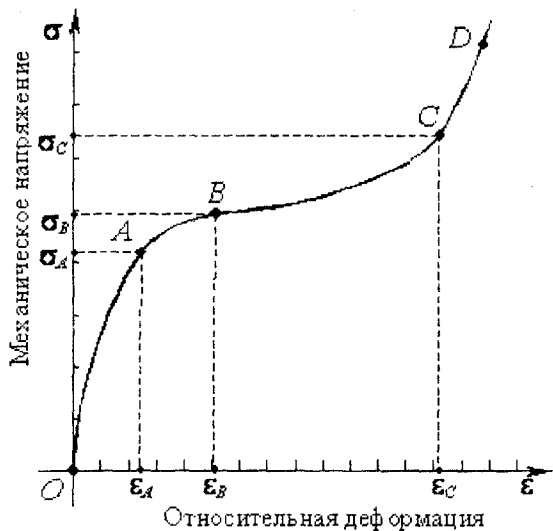


Рис. 2. Диаграмма деформирования хлебного мякиша при сжатии

С начала деформирования образца хлеба, воздействующее на него механическое напряжение последовательно воспринимается и уравнивается внутренним упруго-пластическим и вязким сопротивлением в каждом его порядке. Математически характер механического поведения хлебного мякиша до начала разрушения (стадия прочного сопротивления) можно описать следующим выражением [6]:

$$\sigma_{сж} = \frac{D_1 \cdot D_2}{D_1 + D_2} \cdot v_\epsilon \cdot t + \frac{\lambda \cdot \left(1 - e^{-\frac{D_1 + D_2}{\lambda} \cdot t}\right)}{\left(1 + \frac{D_2}{D_1}\right)^2} \cdot v_\epsilon, \quad (1)$$

где  $\sigma_{сж}$  – механическое напряжение при сжатии хлеба, Па;

$D_1$  и  $D_2$  – порядковые модули упругости, Па;

$\lambda$  – «эластическая» вязкость, Па·с;

$v_\epsilon$  – скорость деформации, с<sup>-1</sup>;

$t$  – время деформирования, с.

Анализируя выражение (1), нетрудно заметить, что в начальный момент времени (при  $t = 0$  и  $\epsilon = v_\epsilon \cdot t = 0$ ), скорость деформации  $v_\epsilon$  хлебного мякиша, которая не равна нулю по условию, зависит только от его вязкого сопротивления, возникающего в первом и втором порядках сопротивления. Но так как деформация первого порядка является мгновенной ( $\lambda_1 = 0$ ,  $D_1 \neq \infty$ ), то при  $t = 0$  получаем:

$$v_\epsilon = \frac{\sigma_A}{\lambda_2} = \frac{\sigma_A}{\lambda}$$

Откуда получаем следующее выражение:

$$\lambda = \frac{\sigma_A}{v_\epsilon} \quad (2)$$

Учитывая также, что при деформировании хлебного мякиша, деформация первого порядка ( $\epsilon_A$ , рис. 2) протекает за очень короткий промежуток времени (участок OA, рис. 2), в течение которого упруго-вязкая деформация второго порядка ( $\epsilon_B - \epsilon_A$ ) произойти в практически ощутимых размерах не успеет. Поэтому механизм деформирования на данной стадии можно в первом приближении считать квазиупругим. Однако к концу стадии прочного сопротивления (точка B на диаграмме деформирования), в структуре мякиша полностью реализуются оба порядка сопротивления, и деформация приближается к своему равновесному значению, за пределом которого начинаются уже необратимые процессы, ведущие к его разрушению. Тогда на основании диаграммы деформирования хлебного мякиша (рис. 2) и выражения (1), модули упругости первого и второго порядков сопротивления можно определить, как

$$D_1 = \frac{2 \cdot \sigma_A}{\epsilon_A}; \quad D_2 = \frac{\sigma_B - \sigma_A}{\epsilon_B - \epsilon_A} \quad (3)$$

Так как  $v_\epsilon \cdot t = \epsilon$ , то формулу (1) можно записать в следующем виде:

$$\sigma_{сж} = \epsilon \cdot D_{экр}, \quad (4)$$

где  $D_{экр}$  – эквивалентный модуль деформации, определяемый из выражения:

$$D_{экр} = \frac{D_1 \cdot D_2}{D_1 + D_2} + \frac{\lambda \cdot \left(1 - e^{-\frac{D_1 + D_2}{\lambda} \cdot t}\right)}{\left(1 + \frac{D_2}{D_1}\right)^2 \cdot t} \quad (5)$$

При контроле реологических характеристик хлебобулочных изделий необходимо также учитывать, что эти показатели зависят не только от природы полимера, входящего в состав структуры хлеба, но и от её дефектов – ячеек пор, и определяются условиями работы последних как силовых элементов каркасной структуры хлеба при воздействии внешних усилий.

Учитывая вышесказанное, величину предельного или критического напряжения, при достижении которого начинается процесс разрушения пористой структуры хлеба, в зависимости от формы и размеров ячеек пор, характеризуемых таким интегральным показателем как пористость, можно определить с помощью следующего выражения [6]:

$$\sigma_{кр} = \sigma_{пр} = \frac{E}{\sqrt{3 \cdot (1 - \nu^2)}} \cdot \left(1 - 3 \sqrt{\frac{8 \cdot \Pi}{100 \cdot \pi \cdot \sqrt{3}}}\right), \quad (6)$$

где  $E$  – модуль упругости плотной массы хлеба при сжатии, Па;

$\nu$  – коэффициент Пуассона хлебного мякиша;

$\Pi$  – средняя пористость хлебного мякиша, %.

Как видно из приведённых выше выражений (2), (3) и (5), значения основных реологических констант ( $D_1$ ,  $D_2$ ,  $\lambda$  и  $D_{ЭВ}$ ) не зависят от скорости деформирования, так как с увеличением последней пропорционально возрастают деформация и напряжение, соответствующие данным характеристикам. В связи с этим создаётся впечатление, что увеличение скорости деформирования как бы повышает указанные характеристики исследуемых образцов хлеба. С другой стороны, на основании выражений (1) и (6) предел прочности  $\sigma_{пр}$  хлебного мякиша нельзя считать инвариантным, так как он является функцией длительности напряжения. К тому же, предел прочности ещё сильно зависит от внутренней неоднородности мякиша – его пористости.

Современные методы [2, 4, 5, 9], использующие реологические свойства хлебобулочных изделий для контроля их качества, этих особенностей либо не учитывают, либо игнорируют вовсе. Это, в свою очередь, приводит к тому, что результаты исследования качества хлеба, полученные разными авторами даже с применением одних и тех же методов, являются либо несопоставимыми, либо носят сугубо условный характер, так как зависят от формы и размеров исследуемых образцов.

Предлагаемый метод позволяет не только избежать указанных недостатков, но и даёт возможность количественно прогнозировать получение хлебных изделий с заранее заданными свойствами.

Однако при производстве и контроле качества хлебобулочных изделий важно знать не только величины их порядковых модулей упругости ( $D_1$  и  $D_2$ ) и соответствующих им коэффициентов вязкости ( $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ), но необходимо также знать и их отношения. Эти отношения имеют размерность, выраженную в секундах, и характеризуют продолжительность или скорость релаксации (рассасывания) внутренних напряжений, созданных в деформированном образце при условии постоянной величины деформации ( $\varepsilon = const$ ) [2].

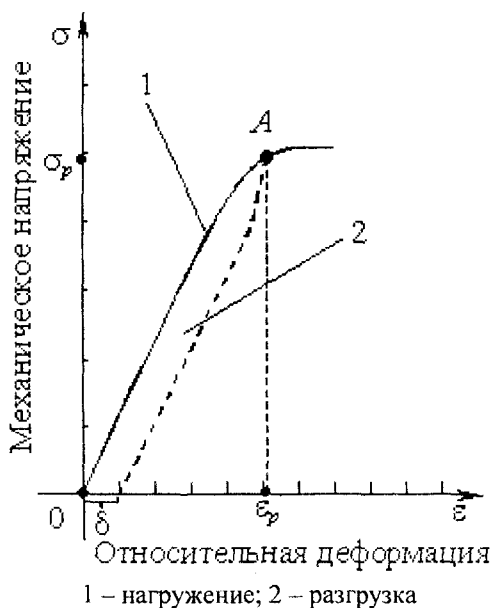


Рис. 3. Диаграмма зависимости между напряжением и деформацией при постоянной скорости деформирования и разгрузке

Чтобы с помощью предложенного метода оценить релаксационные свойства хлебного мякиша, достаточно в процессе его деформирования до предела прочности перейти к разгрузке, то есть изменить знак скорости деформирования на обратный.

Тогда взаимосвязь между напряжением и восстанавливаемой упруго-вязкой деформацией, характеризующей способность пористой структуры хлеба к снижению вызванных в ней внутренних напряжений, можно описать на основании выражения:

$$\sigma = \left( \sigma_k \cdot \frac{D_1^2 \cdot \lambda}{(D_1 + D_2)^2} \cdot v_\varepsilon - \frac{D_1 \cdot D_2}{D_1 + D_2} \cdot \varepsilon_k \right) \cdot e^{-\frac{D_1 + D_2}{\lambda} \cdot t_b} + \frac{D_1 \cdot D_2}{D_1 + D_2} \cdot (\varepsilon_k - v_\varepsilon \cdot t_b) - \frac{D_1^2 \cdot \lambda}{(D_1 + D_2)^2} \cdot v_\varepsilon, \quad (7)$$

где  $\sigma_k$  – напряжение, достигнутое перед разгрузкой, Па;  
 $\varepsilon_k$  – конечная упруго-вязкая деформация в последний момент нагрузки;  
 $t_k$  – длительность предварительного нагружения, с;  
 $t_b$  – длительность упругого восстановления после разгрузки, с.

Суть полученного выражения поясним на основании двух кривых условной диаграммы деформирования, приведённых на рис. 3.

Кривая 1, показанная на рис. 3, получена путём постепенного нагружения исследуемого образца с постоянной скоростью до предела прочности (точка А), а кривая 2 (показанная на рис. 3 пунктиром) – с той же скоростью при его разгрузке.

Как видно из рисунка, кривая 2, полученная при разгрузке, не совпадает с графиком прямой ветви диаграммы «напряжение – деформация» (кривая 1), располагаясь ниже её, как обычно бывает в петлях гистерезиса. При  $\sigma = 0$  сохраняется ещё незначительная «запоздавшая» деформация.

Получившаяся петля обусловлена только вязким сопротивлением деформированию при отсутствии пластичности. Незначительное наличие последней в реальных образцах хлебных изделий вызовет дополнительное увеличение ширины петли.

Имея полученную в ходе эксперимента кривую ползучести хлебного мякиша под нагрузкой, на основании формулы (7) можно определить такой важный показатель качества хлеба, как упругое последствие  $\delta$ , характеризующее способность хлебного мякиша к восстановлению (релаксации) его первоначальных размеров и формы. Указанная способность хлебного мякиша лежит в основе органолептического контроля качества хлеба по таким показателям как эластичность и свежесть.

Также значительный интерес представляет собой следующий на графике кривой ползучести (рис. 2) за точкой В участок пластического течения ВС, который обусловлен проявлением у структуры хлеба пластично-вязкостных свойств. Данные свойства характеризуются параметром структурной вязкости  $\mu$ , которая выполняет роль структурно-механического барьера при образовании и разрушении пенообразной структуры хлеба и может быть определена с помощью выражения, предложенного в работах [6, 7]:

$$\mu = \frac{3 \cdot H_{ил} \cdot \sigma_{раз} \cdot (1 - \varepsilon')^3 \cdot (P - \varepsilon')}{4 \cdot v'_e \cdot G \cdot (1 - P)^3} \times \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_{раз}^2 \cdot (1 - \varepsilon')^2 \cdot (P - \varepsilon')}{(1 - P)^3} - 4 \cdot G^2} \quad (8)$$

где  $\sigma_{раз}$  – механическое напряжение при полном разрушении структуры, Па.

Преимуществом разработанного метода является его коррелированность с существующими методами определения характеристик механических свойств материалов, обладающих большими значениями модуля Юнга. Результаты измерений, получаемые при использовании данного метода, выражаются в единицах системы единиц СИ.

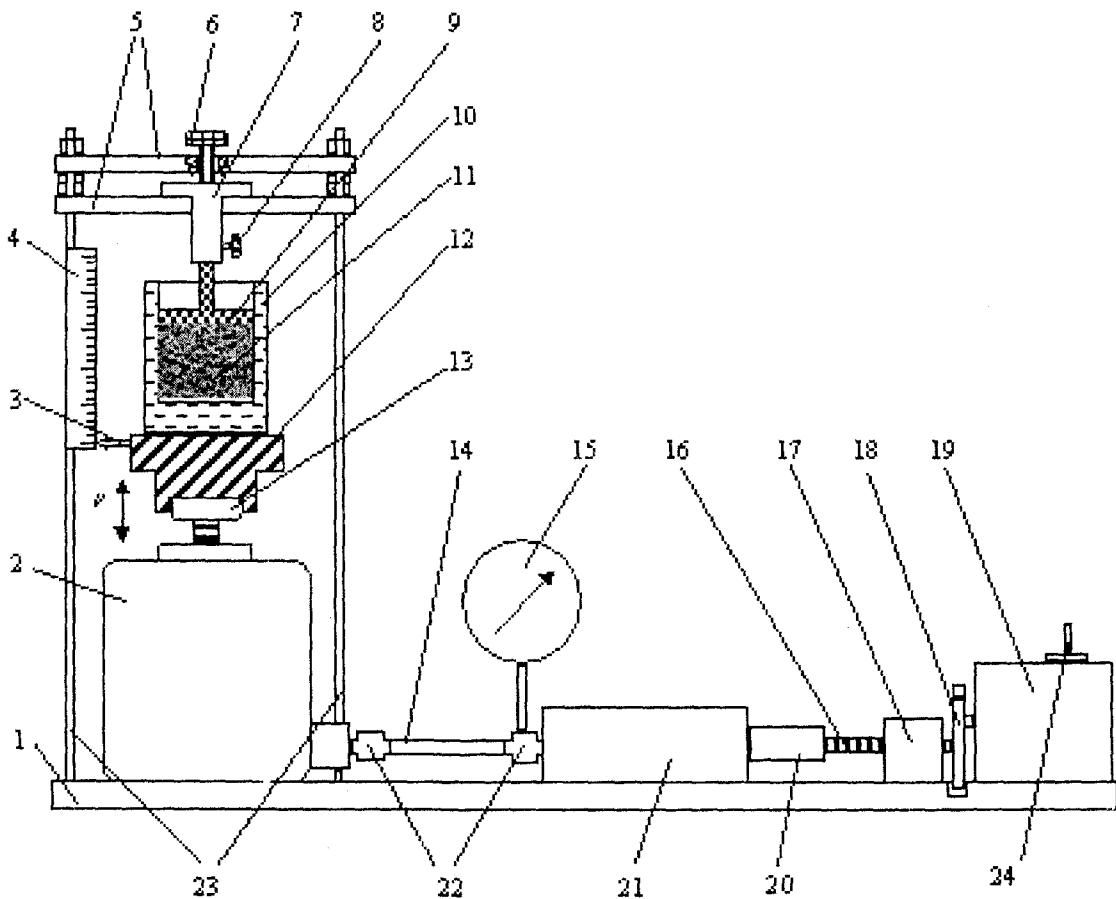
Для получения достоверных результатов исследований и осуществления контроля реологических свойств испытуемых хлебных изделий, используемые конструкции средств измерений должны учитывать специфические особенности строения хлебных изделий и их механические свойства.

В связи с этим конструкция установки для измерения упруго-эластичных и вязкостных свойств хле-

ба должна удовлетворять всем тем требованиям, которые были предъявлены к предложенному методу.

Поэтому, учитывая значительную неоднородность и высокую вязкость (порядка  $10^8$  пуаз) хлебобулочных изделий, исследование их структурно-механических свойств было принято производить путём сжатия в закрытом объёме в условиях некоторых оптимальных скоростей деформирования. Это вызвано тем, что при данном виде деформации не происходит изменения площади поперечного сечения испытуемого образца, как это наблюдается при растяжении или одноосном сжатии, а также в полной мере успевают реализовать себя как упруго-эластичные, так и пластично-вязкие свойства хлеба. Так как при наличии высокой упругости и прочности хлебный мякиш обладает и пластичностью, то используемый для измерения его структурно-механических характеристик прибор должен иметь способность определять не только общую деформацию сжатия, но и упругое последствие структуры испытуемого мякиша. Всё это позволит рассчитать модули упругости и вязкости хлебного мякиша.

Исходя из вышеуказанного, для реализации предложенного метода контроля была разработана установка, схема которой представлена на рис. 4.



- 1 – станина; 2 – домкрат; 3 – стрелка-указатель; 4 – шкала; 5 – упорная плита;  
6, 8, 13 – регулировочные винты; 7 – втулка; 9, 20 – поршень; 10 – кассета;  
11 – исследуемая среда; 12 – столик-подставка; 14 – гибкий рукав;  
15 – манометр; 16 – ходовой винт; 17 – привод; 18 – редуктор;  
19 – электродвигатель; 21 – рабочий цилиндр; 22 – штуцеры;  
23 – стойки; 24 – тумблер переключения направления движения

Рис. 4. Схема установки для проведения испытаний хлебного мякиша на сжатие

Экспериментальная установка, предназначенная для реализации предложенного метода контроля реологических характеристик мякиша хлебобулочных изделий, работает следующим образом.

Перед началом измерений следует произвести формовку исследуемого образца хлебного мякиша, для чего предварительно из середины контролируемого изделия (буханки хлеба) вырезают кусок хлебного мякиша шириной не более 22 – 23 мм.

Затем из полученного куска хлебного мякиша на расстоянии не менее 10 мм от корок острым ножом вырезают исследуемый образец в форме прямоугольного параллелепипеда.

При формовании образца перед испытанием необходимо учитывать частичное разрушение структуры и созданные в ней внутренние напряжения. Для восстановления разрушенной части структурной сетки и релаксации в ней напряжений в результате формования до испытания испытываемому образцу необходим некоторый «отдых».

Далее, полученный образец хлебного мякиша помещают в экспериментальную кассету 10, которая конструктивно представляет собой прозрачный прямоугольный параллелепипед с размерами 36×25×25 мм и толщиной стенок 2 мм. Внешний вид кассеты представлен на рис. 4 (позиция 10). Излишки хлеба, выступающие с поверхности кассеты, аккуратно срезают острым ножом. Отрезанные кусочки хлебного мякиша удаляют, и кассету устанавливают на столик-подставку 12. После этого путём подкручивания столика 12, жестко скрепленного с гайкой регулировки высоты 13, производится совмещение стрелки-указателя 3, расположенной на столике-подставке, с нулевой отметкой на шкале 4. Затем необходимо отцентрировать поршень 9 таким образом, чтобы он располагался на поверхности образца горизонтально и без перекосов. Этого добиваются посредством горизонтального перемещения втулки 7 между упорными плитами 5 и вертикального движения поршня 9 в этой втулке. Когда поршень 9 принимает необходимое положение на поверхности испытываемого образца, тогда втулку и поршень в ней фиксируют регулировочными винтами 6 и 8. Далее включают двигатель 19, который приводит в движение редуктор 18, передающий вращающий момент ходовому винту 16 через привод 17. Вращение ходового винта 16 приводит в действие поршень 20, который постепенно входит в рабочий цилиндр 21 и сжимает гидравлическую смесь, представляющую собой минеральное масло. В свою очередь, минеральное масло через штуцеры 22 и гибкий рукав 14, под действием поршня 20, поступает в гидравлическую камеру 2 (выполнена в виде домкрата), что, в конечном итоге, приводит в движение кассету с испытываемым образцом. Дальнейшее сжатие испытываемого образца хлебного мякиша контролируемого хлебобулочного изделия происходит под действием неподвижного поршня 9.

Давление, с которым неподвижный поршень 9 сжимает испытываемый образец хлебного мякиша, характеризуется давлением подачи минерального масла в гидравлическую камеру и измеряется манометром

15. Также определяется деформация испытываемого образца по времени и величине перемещения поршня в мякише. Перемещение измеряется по шкале 4, а время – секундомером.

Исследование релаксационных свойств хлебного мякиша контролируемого хлебобулочного изделия производится в следующем порядке. Частично деформированный испытываемый образец хлебного мякиша (до начала разрушения), находящийся в кассете, путём смены знака скорости движения столика-подставки 12 разгружают, что осуществляется посредством обратного вращения двигателя 19 после переключения тумблера 24. При этом скорость разгрузки является постоянной, равной скорости прямого деформирования испытываемого образца. Измерение восстанавливающейся упруго-вязкой деформации хлебного мякиша и соответствующего ей значения механического напряжения, производится аналогично тому, как это осуществлялось при прямом деформировании.

Для повышения достоверности и точности результатов измерения одновременно одним и тем же образцом хлебного мякиша заполняют необходимое число кассет, которые затем последовательно вставляют в установку и повторяют процедуру измерения. Материал кассеты и его защитное покрытие должны быть коррозионно-стойкими, так как после проведения испытаний их необходимо промывать горячей водой. Кассеты готовы к дальнейшему применению после удаления остатков исследуемого материала (мякиша контролируемого хлебобулочного изделия) и просушки с целью удаления влаги.

#### Литература:

- 1 Ауэрман Л.Я. *Технология хлебопекарного производства*. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 511 с.
- 2 Мачихин Ю.А. *Инженерная реология пищевых продуктов* / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.
- 3 Николаев Б.А. *Структурно-механические свойства мучного теста*. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 247 с.
- 4 Плахотин В.Я. *Контроль качества пищевых продуктов*. – Киев: «Урожай», 1988. – 144 с.
- 5 Николаев Б.А. *Измерение структурно-механических свойств пищевых продуктов*. – М.: Экономика, 1964. – 224 с.
- 6 Воронин Р.Н. *Математическая модель процесса сжатия хлебного мякиша в закрытом объеме при постоянной скорости деформирования* / Р.Н. Воронин, А.Ф. Кулаков // *Моделирование. Теория, методы и средства: Матер. V междунар. науч.-практ. конф., Новочеркасск, 8 апреля 2005 г.* – В 5 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2005. – Ч. 2. – С. 29-32.
- 7 Дружнов Б.А. *Прикладная теория пластичности пористых тел*. – М.: Машиностроение, 1989. – 168 с.
- 8 Горбатов А.В. *Структурно-механические характеристики пищевых продуктов* / А.В. Горбатов, А.М. Маслов, Ю.А. Мачихин; под ред. А.В. Горбатова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 296 с.

## ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ

УДК 577.352.5:58]:001.891.53

Канд. техн. наук, доц. Бондарева Л.А., асп. Жучков А.Н.  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, (4862)419876; E-mail: pms@mail.ostu.ru

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ БИОСИГНАЛА РАСТЕНИЙ

*In article the problem of an optimum filtration of biosignals of plants to which decision the harmonious analysis of experimentally received biosignal is applied is put. In result the choice such as the filter used in the amplifier of biopotentials has been carried out, and its maximum permissible frequency of a cut is found.*

В последние годы достаточно широкое распространение для целей функциональной диагностики получили биоэлектрические потенциалы (БЭП), которые представляют собой электрические потенциалы в тканях и клетках живых организмов. По сравнению с животными организмами, у растений присутствует сравнительно простое и единообразное распределение процессов роста и обмена веществ между основными органами и тканями, определяющее существование четко выраженных метаболических градиентов, которые, в свою очередь, являются причиной возникновения в растениях градиентов БЭП.

Однако, существенное влияние на результат измерения БЭП оказывают не только внутренние процессы (например, метаболизм) и внешние факторы (влагообеспеченность, температура, различные облучения и т.п.), выступающие в качестве возмущающих воздействий и приводящие к появлению в информативном сигнале дополнительной составляющей, но и нестабильность напряжения питания используемого оборудования, сетевые наводки и другие причины, приводящие к искажению регистрируемого сигнала. Сложность оценки влияния каждого из перечисленных факторов заключается в том, что зачастую их влияние связано друг с другом.

Вследствие этого, особенно актуальной является задача выделения информативной составляющей из получаемого в процессе измерения сигнала. В частности, снижение влияния помех и аппаратных погрешностей, искажающих истинное значение сигнала, возможно за счет использования фильтрации сигнала, несущего измерительную информацию и содержащего как периодические детерминированные, так и случайные составляющие.

Устранение негативного влияния шумов и помех возможно путем включения в схему усилителей биопотенциалов (УБП) фильтров, призванных подавить эти составляющие сигнала. При этом остро встает вопрос об оптимальной фильтрации, решение которого требует проведения спектрального анализа биосигнала. Целью данного исследования является определение того, какая область спектра является информативной, т.е. служит источником диагностиче-

ской информации, а какая представляет собой шумы аппаратуры и наводки питающей сети, которые являются источниками существенных погрешностей при измерении биопотенциала растений.

Для решения поставленной выше задачи проведено исследование, состоящее из двух этапов. На первом этапе экспериментально было определено изменение БЭП растения, наблюдавшееся в течение 70 часов на растении «Коллизия душистая». Измерения проводились с использованием платы сбора данных ЛА-70М4, при частоте опроса датчиков, равной 1 Гц.

Графическая зависимость изменения БЭП исследованного растения приведена на рис. 1.

Амплитудные изменения БЭП, зафиксированные в процессе эксперимента, происходили в диапазоне от  $-100$  до  $+250$  мВ. Значение биопотенциала в течение первой половины эксперимента неуклонно уменьшалось и постепенно из области положительного потенциала переместилось в область его отрицательных значений. Связано это с нарушением цикла полива и недостатком влаги, которые вводят растение в угнетенное состояние, характеризующееся отрицательным биопотенциалом. Значительное изменение биопотенциала в середине эксперимента объясняется произведенным поливом растения. Активное потребление влаги из почвы привело к возрастанию биопотенциала до его максимального положительного значения, характерного для оптимальных внешних условий существования растения.

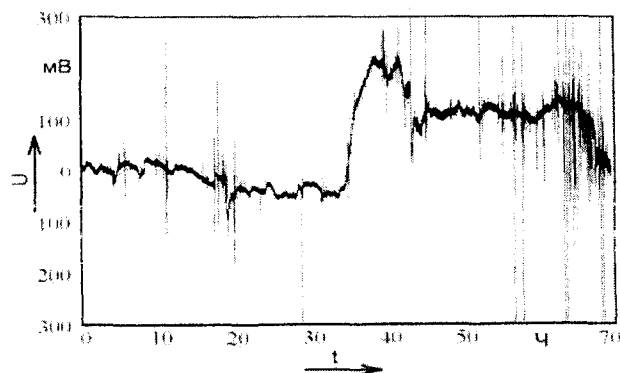


Рис. 1. График изменения биопотенциала во времени

Однако наличие выявленных закономерностей изменения биопотенциала сопровождается хорошо заметными на графике экспериментальных данных помехами, амплитудные значения которых в некоторые моменты времени даже существенно превышали указанные значения биопотенциала. Таким образом, при проведении функциональной диагностики растений ее результат оказывается в значительной степени зависимым от влияния различных помех и наводок.

На втором этапе исследований экспериментально полученный сигнал подвергся разложению на гармонические составляющие.

Применение гармонического анализа позволяет любое сложное колебание  $S = f(t)$  представить в виде суммы простых гармонических колебаний:

$$S = f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n2\pi ft) + b_n \sin(n2\pi ft)], \quad (1)$$

$$\begin{cases} a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt; \\ a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n2\pi ft) dt; \\ b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(n2\pi ft) dt, \end{cases} \quad (2)$$

где  $a_0, a_k, b_k$  — коэффициенты ряда Фурье;  
 $T$  — период существования сигнала;  
 $t$  — время.

Гармонический анализ экспериментально полученного изменения биопотенциала растения проводился в системе «Mathcad 11 Enterprise Edition»: при этом исходный сигнал был разложен на 10000 гармонических составляющих. Полученный спектр исследованного биосигнала представлен на рис. 2.

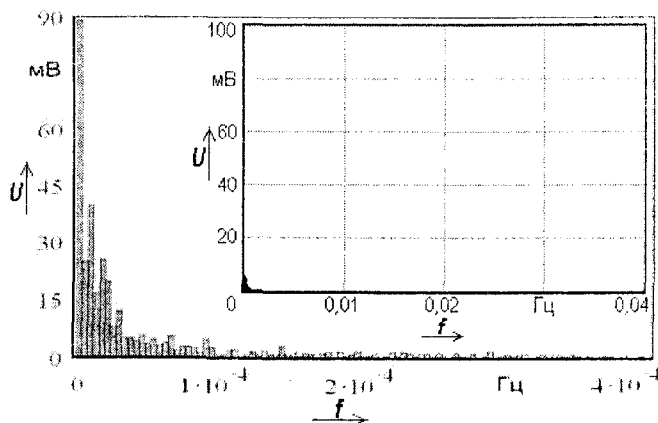


Рис. 2. Спектр исследуемого сигнала

Из рис. 2 видно, что информативный сигнал лежит в инфранизкой частотной области спектра, поэтому для более детального анализа было проведено исследование именно этой области спектра. Результаты спектрального анализа биосигнала в области инфранизких частот также представлены на рис. 2.

Остальная часть спектра заполнена составляющими, амплитуда которых значительно меньше, чем амплитуда 1-й гармоники. Эти составляющие хорошо видны при увеличении масштаба (рис. 4).

Исходя из того, что спектр сигнала преимущественно лежит в области от 0 до  $4 \cdot 10^{-4}$  Гц, целесообразным следует считать использование в усилителе биопотенциалов фильтра низких частот с частотой среза не менее  $4 \cdot 10^{-4}$  Гц, что позволит решить задачу выявления информативной составляющей сигнала и подавления различного рода помех.

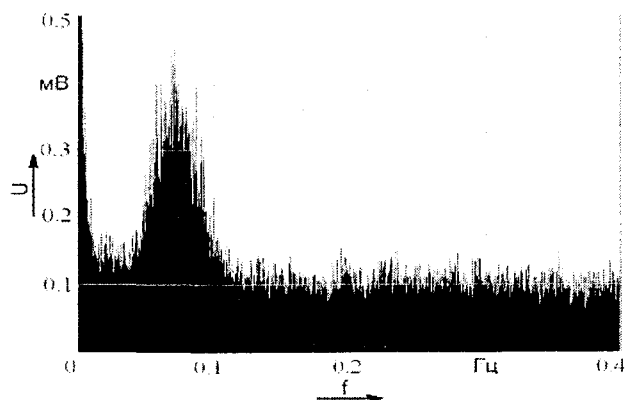


Рис. 4. Область спектра исследуемого сигнала в инфранизком диапазоне

Для оценки правильности сделанных выводов осуществлен синтез информативного сигнала. При его получении были сложены гармонические составляющие с частотами указанного выше диапазона. График восстановленного сигнала показан на рис. 5.

Сравнение синтезированного сигнала (рис. 5) с исходным (рис. 1) указывает на их явное подобие. Для определения наличия информативных составляющих в отфильтрованном сигнале построен график неинформативных составляющих, который представлен на рис. 6. Из графика видно, что эти составляющие представляют собой незначительные по амплитуде колебания, не содержащие постоянной составляющей.

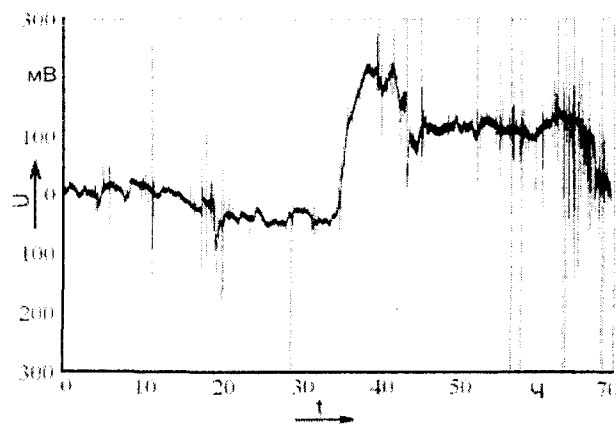


Рис. 5. График информативной составляющей сигнала

Для выявления источника этих колебаний проведено исследование измерительного канала на наличие шумов. В проведении данного исследования объект исследования (растение) было заменено резистором, включенным на входе измерительной цепи экспериментального оборудования.

В результате проведения исследования измерительного канала на наличие шумов получен сигнал, подобный сигналу, представленному на рис. 6.



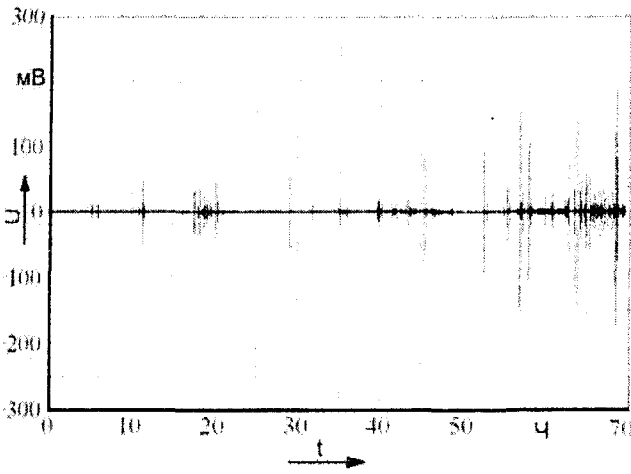


Рис. 6. Отфильтрованная составляющая сигнала

Таким образом, можно сказать, что причиной появления отфильтрованной составляющей в биосигнале является шум измерительного канала, а информативные составляющие исследованного сигнала действительно лежат в области от 0 до  $4 \cdot 10^{-4}$  Гц.

Проведенное исследование можно будет считать законченным только после применения гармонического анализа к результатам более продолжительных экспериментальных исследований, включающих в себя периодические изменения биопотенциала и связанные с такими причинами, как наличие или отсутствие влаги, света, изменение температуры и др.

Кроме того, представляется необходимым проведение более детального изучения отфильтрованной составляющей сигнала на предмет наличия в ней высокочастотных информативных составляющих, а также выявления источников отфильтрованных помех в измерительном канале и их исключения.

УДК 616.073

Канд. техн. наук, доц. Егоров Б.А., асп. Бодров М.А., асп. Яковенко М.В., студ. Петрова О.С., студ. Жданов В.А.  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862)419876; E-mail: [pms35@mail.osu.ru](mailto:pms35@mail.osu.ru)

## ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА ПАЦИЕНТА ПРИ ТОКОВОЙ ТЕРАПИИ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ БИОУПРАВЛЕНИЯ ФИЗИОАППАРАТАМИ

*The article contains information about new completed scheme construction physiotherapeutic bio controlling devices for electro treatment. Also article includes algorithm's structure bio control determine problems which are connected with algorithm's realization in program code on AVR Assembler and ways of decision determining problems. Also was executed algorithm's analyzed of point of view of minimization requirements to equipment executing algorithm.*

Биоуправление физиоаппаратами, основанное на использовании реакции человеческого организма на внешнее воздействие за счет включения в состав аппарата датчика обратной связи, преобразующего изменение характеристик какого-либо параметра, например, ударного объема сердца [1], в выходной управляющий сигнал, является одним из наиболее перспективных направлений развития современной физиотерапевтической техники. В работах [2, 3] в качестве источника сигнала обратной связи предложено использовать изменение артериального давления (АД), учитывая, что между ним и изменением ударного объема (УО) существует известная взаимосвязь, описываемая при помощи аналитического выражения. Можно уверенно предположить, что взаимосвязь УО существует и с другими параметрами организма, например, с температурой в зоне токового воздействия, между наложенными токовыми электродами. При этом очевидно, что температура тела в месте воздействия увеличивается по разным причинам. Например, вследствие «джоулева тепла», выделяемого при прохождении тока. Другой причиной может являться вынужденное сокращение мышц при прохождении электрического тока. По-

следняя причина неизбежно связана с увеличением УО, т.к. приток крови к какому-то участку тела всегда сопровождается повышением температуры этого участка. Однако сам характер такой взаимосвязи до сих пор недостаточно глубоко изучен.

Целью проведенных в ОрелГТУ (кафедра ПМиС) исследований являлось выяснение вопроса о возможности использования изменения температуры тела пациента при токовой терапии в качестве источника обратной связи для биоуправления физиоаппаратами.

Задачи исследований – определение характера изменения температуры в зоне воздействия, интерполяция и аппроксимация полученных результатов.

Применяемая для исследований аппаратура состояла из измерителя температуры Rubikon Z2 Total, имеющего два «горячих» и два «холодных конца» и экотомоскопа ЭТС ДМУ – 02 – 02. Источником токового воздействия служил аппарат для амплипульс-терапии «Амплипульс 7», при стандартных режимах 2 – 4 воздействия и токе до 25 мА.

Методика проведения исследований заключалась в определении разности температур между зоной воздействия и свободной от воздействия зоны.

Для этого датчики температуры помещались на разных руках, причем один из них (точнее, «горячий конец» первого) помещался между токовыми электродами, а другой («горячий конец» второго) на соответствующей точке другой руки. При этом «холодные концы» датчиков температуры были теплоизолированы. Токовые электроды располагались на запястье и выше локтевого сустава. Измерение температуры проводилось сначала на одной, а затем на другой руке. Одновременно с измерением температуры измерялись параметры давления по методу Короткова и частота пульса.

В экспериментах участвовали несколько добровольцев разного возраста (от 21 до 49 года) и пола, опыты проводились в разное время в течение нескольких дней с учетом времени, необходимого для релаксации. Результаты протоколировались и обрабатывались при помощи пакетов прикладных программ Mathcad 11 Enterprise Edition и MatLab 6.5. По данным исследований трех участников построены графики зависимости температуры пациента в месте воздействия от значения воздействующей силы тока.

На рис. 1 представлен график изменения температуры тела от тока в зоне воздействия (на правой руке).

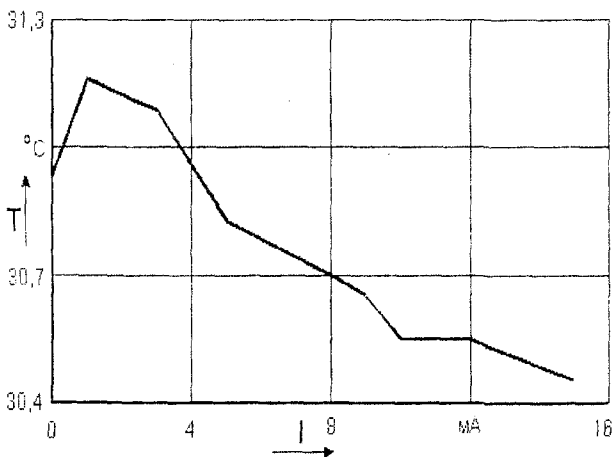


Рис. 1. Зависимость изменения температуры тела в зоне воздействия от тока (первый «горячий конец»)

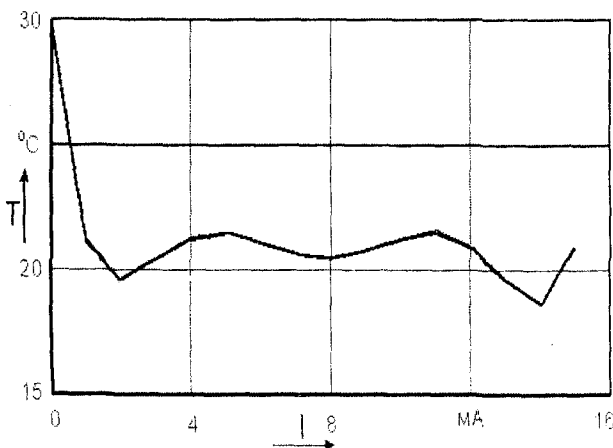


Рис. 2. Зависимость изменения температуры тела вне зоны воздействия от тока (первый «холодный конец»)

На рис. 3 представлен график разности температур первого «горячего» и первого «холодного» «концов».

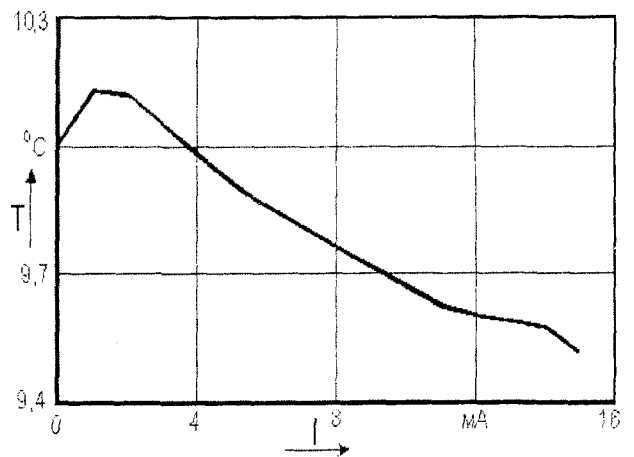


Рис. 3. Разность температур первого «горячего» и первого «холодного» «концов» в зависимости от воздействующего тока

Аппроксимированное уравнение имеет вид:

$$T1_{гор}(I) = 0,0061 \cdot I^4 + 0,054 \cdot I^3 - 0,24 \cdot I^2 + 0,41 \cdot I + 30,875 \quad (1)$$

На рис. 2 представлен график изменения температуры первого «холодного конца».

Аппроксимирующее уравнение имеет вид:

$$T1_{хол}(I) = -0,073 \cdot I^4 + 0,095 \cdot I^3 + 0,106 \cdot I^2 + 0,011 \cdot I + 20,887 \quad (2)$$

Аппроксимирующее уравнение имеет вид:

$$\Delta T1(I) = 0,0001 \cdot I^4 - 0,003 \cdot I^3 + 0,01 \cdot I^2 - 0,003 \cdot I + 10,129 \quad (3)$$

На рис. 4 представлен график изменения температуры тела от терапевтического электрического тока вне зоны воздействия (на левой руке).

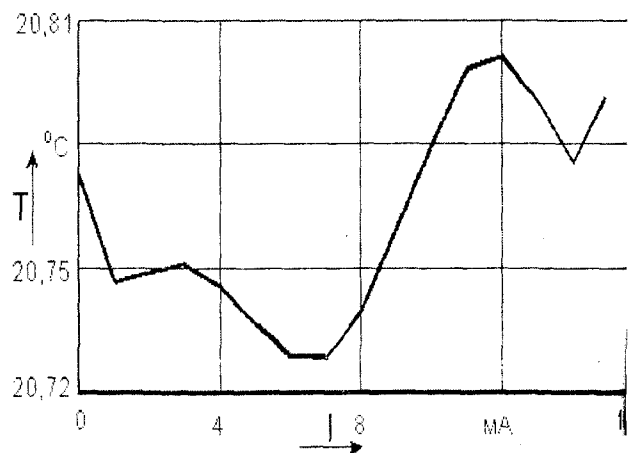


Рис. 4. Зависимость изменения температуры тела вне зоны воздействия от тока (второй «горячий конец»)

Аппроксимирующее уравнение имеет вид:

$$T2_{гор}(I) = -0,0005 \cdot I^4 - 0,0031 \cdot I^3 + 0,007 \cdot I^2 - 0,003 \cdot I + 20,75 \quad (4)$$

На рис. 5 представлен график зависимости изменения температуры тела вне зоны воздействия от тока (первый «холодный конец»)

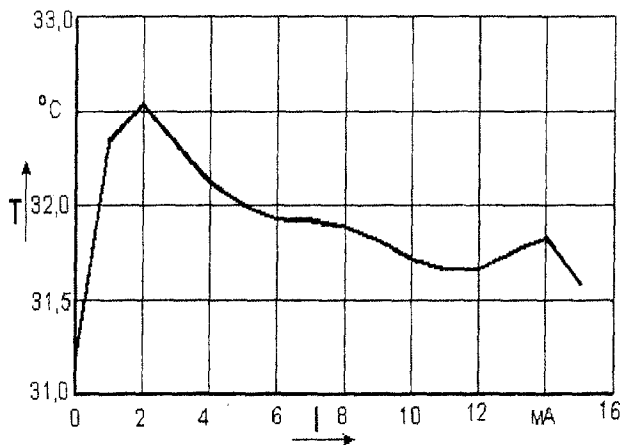


Рис. 5. Зависимость изменения температуры тела вне зоны воздействия от тока (второй «холодный конец»)

Аппроксимирующее уравнение имеет вид:

$$T2_{\text{дв}}(I) = 0,095 \cdot I^3 + 0,106 \cdot I^2 + 0,011 \cdot I + 20,89. \quad (5)$$

На основании проведенных исследований видно, что с увеличением силы тока температура снижается, а из рис. 2 видно, что средняя температура «холодного конца», определяющая температуру окружающей среды не доходит до 25 °С (оптимальной для человеческой жизнедеятельности), что обуславливает отток крови от кожных покровов, снижая теплоотдачу в окружающую среду. Соответственно, большая часть крови используется для обеспечения кислородом и согревания организма, работающего в некомфортных условиях. Данный факт подтверждается увеличением ударного и минутного (за счет ударного) объемов в покое [2, 3]. Учитывая комплексный характер показателя температуры тела, можно предположить, что ее снижение в зоне воздействия также происходит из-за того, что часть тепла выделяется организмом в ответ на воздействие током на локальный участок.

Общий тепловой (энергетический) баланс человека (Дж) характеризуется следующим уравнением:

$$DQ_{\text{ч}} = Q_{\text{ч}} - Q_{\text{ч}}^{\text{р}} - Q_{\text{ч}}^{\text{к}} - Q_{\text{ч}}^{\text{л}} - Q_{\text{ч}}^{\text{т}} - Q_{\text{ч}}^{\text{и}} - Q_{\text{ч}}^{\text{ф}}, \quad (6)$$

где  $DQ_{\text{ч}}$  – избыток или недостаток тепла в организме;  
 $Q_{\text{ч}}$  – теплопродукция организма (общее количество энергии, вырабатываемой организмом);  
 $Q_{\text{ч}}^{\text{р}}$  – расход тепловой энергии на механическую работу;  
 $Q_{\text{ч}}^{\text{к}}, Q_{\text{ч}}^{\text{л}}$  – соответственно, составляющие теплообмена человека конвекцией и излучением;  
 $Q_{\text{ч}}^{\text{т}}$  – тепловая энергия, обусловленная теплообменом со средой посредством теплопроводности;  
 $Q_{\text{ч}}^{\text{и}}$  – составляющая теплообмена человека за счет затрат тепла на испарение влаги;  
 $Q_{\text{ч}}^{\text{ф}}$  – тепло, затрачиваемое на физиологические процессы (нагрев вдыхаемого воздуха, естественный обмен веществ и пр.).

Основным способом передачи тепла является теплообмен между кожными покровами человека и окружающей средой посредством теплопроводности, конвекции, излучения и потоотделения (поскольку впоследствии пот испаряется).

Посредством теплопроводности тепла передается настолько мало, что в общем расчете теплового баланса его можно не учитывать, поскольку такие поверхности тела человека, как ладони рук или ступни ног, чрезвычайно малы по сравнению с общей площадью тела, а в тех случаях, когда температура поверхности в точке контакта существенно отличается от температуры тела человека, как правило, используются защитные предметы одежды.

Общая теплопродукция организма  $Q_{\text{ч}}$  в основном зависит от степени тяжести выполняемой человеком механической работы.

Таким образом, при проведении лечебных процедур на аппаратах электролечения надо учитывать теплообмен тела человека и создавать комфортные температурные условия для пациента с целью улучшения его состояния здоровья.

На основании проведенных экспериментов и математической обработки их результатов можно утверждать, при проведении терапевтических процедур необходимо контролировать температуру окружающей среды. Построение биоуправляемых аппаратов, использующих температуры, измеренные в зоне токового воздействия, в качестве параметра обратной связи представляется возможным.

#### Литература:

- 1 Егоров Б.А. Аппроксимация откликов сердечно-сосудистой системы (ССС) человека на электровоздействия физиотерапевтического диапазона / Б.А. Егоров, М.А. Бодров, Д.П. Санников, М.А. Евзельман // Проблемы восстановительной медицины: Сб. науч. тр. – Межрегиональная науч.-практ. конф. – Воронеж: 2005. – С. 71-74.
- 2 Егоров Б.А. Предпосылки разработки биоуправляемой электрофизиотерапевтической аппаратуры / Б.А. Егоров, М.В. Яковенко, М.А. Евзельман // Проблемы восстановительной медицины: Сб. науч. тр. – Межрегиональная науч.-практ. конф. – Воронеж: 2005. – С. 75-78.
- 3 Егоров Б.А. Теоретические аспекты биоуправления физиотерапевтической аппаратурой / Б.А. Егоров, М.А. Бодров // Медико-экологические информационные технологии-2005: Сб. матер. 8-й междунар. науч.-техн. конф. – Курск: КГТУ, 2005. – С. 43-48.
- 4 Брусин В.А. Техническая кибернетика // Известия РАН. – М.: 1993. – №3. – С.30.
- 5 Турусбеков Б.Т. Сердечно-сосудистая система и работоспособность спортсменов / Б.Т. Турусбеков, А.М. Абакаров. – Фрунзе, 1982
- 6 Ушаков А.А. Современная физиотерапия в клинической практике. – М.: «АМНИ», 2002. – 364 с.
- 7 Маркин С.П. Лечение и реабилитация больных, перенесших мозговую инсульт / Воронеж. Гос. мед. Акад. – Воронеж: 2004.

## ТРИБОЛОГИЯ И ТРИБОМОНИТОРИНГ

УДК 621.3.082.62

Асп. Бакурова Ю.А.

(Орловский государственный технический университет)

Россия, г. Орел, тел. (4862)419876; E-mail: pms35@mail.ostu.ru

## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗЦА В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ

*The basic sources of generating of thermal energy during cutting and its distribution between a shaving, a tool and a part are considered. The energy which accumulates in a solid of the tool has a basic influence with a value of temperature of a cutting edge of a cutter. And the quantity of this energy grows with increase in the cutting speed. Besides, the maximal temperature is shown to be concentrated in a point which is located approximately on a half of the width of a platform of a contact on a front surface of the tool with its shaving. To define the distribution of temperatures between front and back surfaces of a cutter the methodic of carrying out the research with use of two identical chisels is presented.*

В процессе резания металла, в зоне стружкообразования можно выделить участки, в которых в результате контактного взаимодействия обрабатываемого материала с резцом и деформации материала происходит генерирование тепловой энергии.

Многочисленные исследования показали, что основным источником выделения теплоты  $Q_1$  является механическая работа, затрачиваемая на пластическую деформацию и разрушение металла в процессе стружкообразования. Область генерирования этой теплоты охватывает зону наибольших пластических деформаций и расположена в основном в обрабатываемом материале и, в том числе, в стружке.

Работа сил трения на передней поверхности лезвия резца является вторым источником выделения теплоты  $Q_2$ . Область ее генерирования – контактирующие друг с другом прирезцовая поверхность стружки и передняя поверхность лезвия инструмента.

Работа сил трения по задней поверхности лезвия инструмента является третьим источником образования тепловой энергии  $Q_3$ , выделяющейся при резании.

Четвертым источником теплоты  $Q_4$  является работа, затраченная на пластическую деформацию металла перед плоскостью скалывания.

Образовавшаяся тепловая энергия распространяется из очагов теплообразования к более холодным областям, распределяясь между стружкой, деталью и инструментом. Выделяющаяся при резании энергия также непрерывно отводится из зоны резания. Большая часть теплоты  $Q_1$  и часть теплоты  $Q_2$  идет на нагрев стружки и уносится ей из зоны резания. Эта часть отводимой энергии обозначается  $q_1$ .

Часть теплоты  $Q_2$  и теплота  $Q_3$  нагревают металл режущей части резца и постепенно распространяются по всей массе его корпуса. Металл резца является проводником второго потока отводимой теплоты  $q_2$ :

$$q_2 = q_{2_0} + C \frac{d\Theta}{dt}, \quad (1)$$

где  $q_{2_0}$  – тепловая энергия, уходящая по резцу за счет теплопроводности;

$C$  – теплоемкость резца;

$\Theta$  – средняя температура резца.

На нагрев заготовки идет часть тепловой энергии  $q_3$ , состоящей из части выделяющейся теплоты  $Q_1$ , части теплоты  $Q_4$  и части выделяющейся теплоты  $Q_3$ .

Часть общего количества выделяющейся теплоты  $q_4$  отводится из зоны резания в окружающую среду.

Тепловая энергия, накопленная в тонком приграничном слое материала инструмента  $q_5$ , вызывает повышение температуры на режущем лезвии.

Под тепловым балансом резания понимается равенство теплоты, выделяющейся в зоне резания, и теплоты, удаляемой из нее за тот же промежуток времени. Таким образом, в каждое мгновение при резании должен соблюдаться тепловой баланс:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5. \quad (2)$$

Образовавшаяся тепловая энергия пропорциональна совершаемой работе, зависит от рода и механических свойств материала обрабатываемой детали, геометрических параметров инструмента и режима резания. На ее процентное распределение между стружкой, инструментом и деталью главное влияние оказывают механические и теплофизические свойства материала детали, а также скорость резания.

Экспериментально доказано, что наибольшее количество тепловой энергии переходит в стружку, составляя при обработке стали от 60 % до 85 % от ее общего количества. Это означает, что пластическая деформация стружкообразования является основным источником тепловыделения. С увеличением скорости резания нагрев возрастает в результате трения стружки о переднюю поверхность инструмента и составляет от 19% до 22,5% всей приходной части баланса. Таким образом, механическая работа сил трения на передней поверхности – второй по значимости источник тепловыделений, доля которого с увеличением скорости резания возрастает.

Количество теплоты  $Q_3$ , выделяющейся за счет работы сил трения на задней поверхности резца, составляет около 3,5 % от общего количества энергии и с увеличением скорости резания уменьшается до 2 %.

Удельное значение теплоты  $Q_4$  остается практически постоянным и составляет всего 0,5%, занимая последнее место в приходной части теплового баланса.

Анализ изменения составляющих расходной части теплового баланса показывает, что самой большой из них по значимости является составляющая  $q_1$ . Доля  $q_2$ , отводимой в тело резца, составляет незначительную часть расходной части баланса, уменьшающуюся с увеличением скорости резания и составляет

в среднем от 5% до 2% всей отводимой из зоны стружкообразования энергии. Третья составляющая  $q_3$ , отводимая в тело заготовки, наоборот, возрастает с увеличением скорости резания и составляет от 2% до 8%. Количество теплоты  $q_4$ , отводимой в окружающую среду, в расходной части баланса занимает второе место относительно остальных составляющих, но ее значимость уменьшается с увеличением скорости резания в среднем от 24% до 9%. Количество теплоты  $q_5$ , аккумулируемой в теле резца, невелико. Оно возрастает с ростом скорости резания от 1 до 6%. Но именно  $q_5$  оказывает существенное влияние на температуру режущей кромки инструмента.

Как указывалось выше, небольшое количество теплоты (от 5 до 2%) расходной части теплового баланса проникает через контактные поверхности лезвия в материал режущей части инструмента. Но, несмотря на уменьшение доли энергии, отводимой через резец, при повышении скорости резания, абсолютное количество энергии увеличивается.

Экспериментальные данные, представленные в литературе, демонстрируют изменение во времени плотности итоговых тепловых потоков при обработке заготовок из конструкционных материалов быстрорежущими и твердосплавными инструментами. В короткий промежуток времени от начала резания, исчисляемый, как правило, десятными долями секунды, тепловые потоки, образующиеся в результате трения стружки о переднюю поверхность инструмента и обработанной поверхности о заднюю поверхность инструмента, направлены в тело инструмента. Это объясняется тем, что холодный резец соприкасается с поверхностью резания и стружкой, температура которых мгновенно повышается с началом резания. В связи с интенсивным теплоотводом в резец, температура на его контактных поверхностях оказывается более низкой, чем в последующий период работы инструмента.

Однако энергия, поступающая в инструмент с обеих контактных площадок, постепенно прогревает режущий клин. В некоторый момент времени  $t_1$  резец прогревается настолько, что тепловой поток от трения задней поверхности об обработанную поверхность детали меняет свое направление в сторону заготовки. С этого момента материал заготовки оказывается своеобразным (и достаточно активным) охладителем инструмента, оттягивая часть энергии, поступающей в резец со стороны площадки контакта со стружкой. Только потому, что размеры площадки контакта между задней поверхностью резца и поверхностью резания при работе острым режущим инструментом невелики, отток энергии в изделие не играет решающей роли в процессе резания.

По мере изнашивания задней поверхности инструмента энергия, выделяемая трением на этой поверхности, возрастает. Интенсивность теплового потока в сторону заготовки постепенно уменьшается, а при дальнейшем увеличении износа и температуры на задней поверхности инструмента, приводит к тому, что в режущем клине накапливается все большее количество теплоты. На завершающем этапе периода стойкости инструмента начинается резкое уменьшение теплоотвода в заготовку, тепловой поток от трения на задней поверхности инструмента в момент

времени  $t_4$  становится равным нулю, а затем меняет свой знак, и в инструмент поступает энергия с обеих контактных площадок. Поскольку режущий клин к этому времени уже достаточно нагрет, дальнейшее поступление энергии в рабочую часть инструмента создает условия, в которых ресурс режущих свойств исчерпывается, и резец затупляется.

Под температурой резания (ТР) понимают среднюю температуру по всей поверхности соприкосновения инструмента со стружкой и заготовкой. ТР иногда называют средней температурой контакта.

Если через  $\Theta_{н.ср.}$  и  $\Theta_{з.ср.}$  обозначить средние температуры на площадках контакта передней и задней поверхностей, то температура резания, согласно [1]:

$$\Theta = \frac{\Theta_{н.ср.}C_1 + \Theta_{з.ср.}C_2}{C_1 + C_2}, \quad (3)$$

где  $C_1$  – ширина площадки контакта между стружкой и инструментом;

$C_2$  – ширина площадки контакта между поверхностью резания и инструментом.

Для объяснения особенностей контактных процессов при резании материалов и прогнозирования износа режущего инструмента необходимо знать законы распределения температур на передней и задней поверхностях резца.

Анализируя значения температуры резания, представленные в литературе, можно сделать заключение о том, что независимо от способа получения указанных значений (аналитически или экспериментально), а также независимо от свойств материалов инструмента и заготовки, максимальные значения температуры резания наблюдаются примерно в средней части контактной площадки между стружкой и передней поверхностью резца. Чем ниже теплопроводность материала заготовки, тем выше максимальное значение температуры. Максимальная температура соответствует точке, лежащей приблизительно на половине ширины площадки контакта. К лезвию и к концу площадки температура убывает. На площадке контакта задней поверхности инструмента с поверхностью резания температура распределяется неравномерно.

У вершины режущего клина температуры также значительны, но меньше, чем в первой области. По мере приближения к лезвию, температуры, как на передней поверхности, так и внутри клина все время уменьшаются. При удалении от передней поверхности температура резца падает менее интенсивно (в отличие от стружки), и при равных расстояниях нагрев слоев резца намного выше, чем стружки.

При термоэлектрическом методе контроля с помощью естественной термопары в качестве электродов последней используются резец и деталь. При этом деталь контактирует с резцом как по задней, так и по его передней поверхности. В результате образуются две естественные термопары в точках контакта стружки с передней поверхностью резца и обрабатываемой поверхности с задней поверхностью резца. Каждая из этих естественных термопар характеризуется своим внутренним электрическим сопротивлением. Электрическая схема замещения детали и резца с подключенным измерительным прибором показана на рис. 1.

При такой схеме замещения напряжение на измерительном приборе будет определяться по формуле:

$$U = \frac{e_1/R_1 + e_2/R_2}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3}, \quad (4)$$

где  $e_1$  и  $e_2$  – термоЭДС, возникающая в термопарах резец-стружка и резец-заготовка;  
 $R_1$  и  $R_2$  – внутреннее сопротивление термопар;  
 $R_3$  – сопротивление внешней цепи прибора.

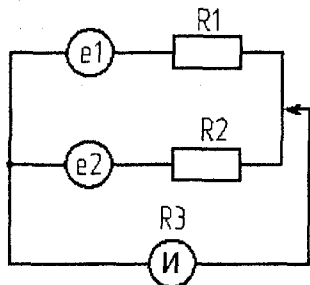


Рис. 1. Электрическая схема с подключенным измерительным прибором

С целью определения распределения температур между передней и задней поверхностями резца разработана методика проведения исследования, при котором используются два одинаковых резца. Предварительно, с целью определения их подобия, в процессе резания при одинаковых режимах измеряются напряжение  $U$  и сопротивление  $R_3$  в цепи (рис. 1):

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (5)$$

Близкие значения измеренных напряжений и сопротивлений являются свидетельством того, что резцы достаточно близки по своим свойствам в процессе

резания. Затем, при выбранных режимах резания, определяются значения напряжения  $U$ . После этого на одном из резцов устанавливается изоляционная прокладка, отделяющая стружку от передней поверхности резца, измеряется сопротивление  $R_2$  и по напряжению  $U$  рассчитывается значение  $e_2$ , а по нему – температуры  $T_2$ . После определения этих величин возможен расчет  $e_1$  и  $R_1$  по данным проведенных ранее измерений и определение температуры  $T_1$ . Таким образом, возможно определение усредненных значений температур на передней и задней поверхностях резца. В начальный период эксплуатации резца должно соблюдаться неравенство  $T_1 > T_2$ , а при его затуплении  $T_2 > T_1$ .

**Литература:**

- 1 Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
- 2 Грановский Г.И. Резание металлов: учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
- 3 Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 218 с.
- 4 Резников А.Н. Температура при резании и охлаждении инструментов / А.Н. Резников. – М.: Машгиз, 1963. – 288 с.
- 5 Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1990. – 289 с.
- 6 Трент Е.М. Резание металлов: [пер. с англ.] / Е. М. Трент. – М.: Машиностроение, 1980. – 218 с.
- 7 Хаэт Г.Л. Прочность режущего инструмента. / Г.Л. Хаэт. – М.: Машиностроение, 1975. – 168 с.

УДК 621.3.082.62

Канд. техн. наук Мельник Е.Е.

(Ливенский филиал Орловского государственного технического университета)

Россия, Орловская обл., г. Ливны, тел. (48677)31337; E-mail: [blaur\\_balaur@mail.ru](mailto:blaur_balaur@mail.ru)

## ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВСПЫШЕК В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ И ФАЗОВОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

*During manufacturing and operation, hard alloy the metal-cutting tool there is heterogeneity of mechanical properties of the cutting edge, caused by chemical and phase heterogeneity. However the chemical and phase processes proceeding from above 1000 °C, do not coordinate with the data on researches of temperature at processing metals by cutting. Means, the temperature in a cutting wedge can exceed values 1000÷1300 °C. By virtue of the inertness or small sensitivity the widespread quality, monitoring of temperature during cutting cannot register so short-term temperature flashes. The urgency of development of a quality monitoring of temperature flashes is accordingly obvious at metalworking and researches of character of their displays at various modes of cutting metals and alloys.*

В процессе изготовления и эксплуатации твердосплавного металлорежущего инструмента возникает неоднородность механических свойств режущей кромки, которая может привести к преждевременному

затуплению или поломке инструмента. Это увеличивает время простоя станочного оборудования, приводит к возникновению брака (иногда неустраняемого), отказу металлорежущих станков и наносит экономи-

ческий ущерб. Одной из причин указанной неоднородности механических свойств твёрдых сплавов является неоднородность химического и фазового состава, которые способствуют ускорению адгезионного и диффузионного износа, а также механическому воздействию абразивного износа и хрупкому разрушению от микро- и макроударов [1-3].

Исследования показывают, что температура поверхностных слоёв твёрдого сплава при заточке достигает 1200 °С и выше [4], а это значит, что на отдельных участках режущей кромки могут происходить химические и фазовые превращения. Так, например, в твёрдых сплавах кобальт расплавляется при температуре 1280 °С.

Процесс заточки характеризуется кратковременным воздействием шлифовального круга, небольшими нагрузками и относительной равномерностью их распределения по обрабатываемым поверхностям твердосплавной пластины режущего инструмента (по сравнению с процессом эксплуатации). Соответственно, в процессе заточки инструмента происходит преобладание тепловых и химических воздействий на твёрдый сплав и, как следствие, вызывающее механическую неоднородность, влияющую на эксплуатационные свойства режущего инструмента. Механическая неоднородность режущих кромок, вызванная вариациями химического и фазового состава, а также неоднородностью его распределения, является поверхностной и обычно не приводит к отказам инструмента.

Тем не менее, учитывая небольшую, по сравнению с толщиной твердосплавной пластины, глубину залегания дефектных слоёв (0,1-0,2 мм), химические и фазовые неоднородности вдоль режущей кромки приводят к выкрашиванию (до первой переточки) до 75% всех резцов, существенно сокращая срок их эксплуатации. При этом увеличивается вероятность отказа инструмента в результате скола пластины, особенно при несоблюдении требований к выбору технологических параметров режима шлифования или технических характеристик шлифовальных кругов при проведении заточки [4]. Поэтому механическая доводка режущей кромки, в ходе которой происходит удаление дефектных поверхностных слоёв, позволяет увеличить стойкость в два раза [5]. Однако практика показала, что колебания химического состава вдоль режущей кромки новой твердосплавной пластины несущественны, по сравнению с колебаниями, вызванными процессом резания [6].

Согласно литературным источникам [1, 4] температура в зоне резания для твёрдых сплавов не превышает 1000 °С, а средняя температура резания для режимов, соответствующих наиболее экономичным соотношениям скорость-стойкость, находится в пределах 600 ÷ 800 °С. Исключение составляют расчетные данные о математическом моделировании температурного поля, где температура достигает 1500 °С в зоне контакта сливной стружки с передней поверхностью с последующим образованием диффузионной лунки, что никак не влияет на износ самой режущей кромки твердосплавного инструмента [6].

Как было упомянуто ранее, кобальт расплавляется при температуре 1280 °С; тем не менее, в зоне

контакта стали и твёрдого сплава в процессе резания образуется твёрдый раствор (Co-Fe) или кобальт постепенно растворяется в карбидной фазе, в результате чего отдельные карбидные зёрна теряют взаимосвязь и происходит разрушение режущей кромки инструмента. Более того, в некоторых случаях карбиды вольфрама и титана растворяются в кобальте или на поверхностях раздела фаз твёрдого сплава и происходят превращения зёрен карбида вольфрама (WC) в двойной карбид [(WFe)<sub>6</sub>C], причём освобождённый углерод диффундирует в сталь, что протекает при нагреве свыше 1000 °С [7].

Очевидно, что указанные химические процессы, протекающие при температуре свыше 1000 °С, не увязываются с данными об исследованиях температуры при обработке металлов резанием. Значит, температура в режущем клине может превышать значения 1000 ÷ 1300 °С. Это связано с тем, что известные современные методы контроля температуры в процессе резания металлов в основном регистрируют её среднее значение [8].

Инструментальные твердые сплавы состоят из карбидной (MeC) и связующей кобальтовой фаз. По своей структуре они являются твёрдыми растворами, которые могут существовать, имея переменный состав, в то время как химические соединения и чистые компоненты существуют только при постоянном составе [9]. Исследования показали, что на рентгенограммах работавших поверхностей твердосплавных резцов из сплавов BK8 и T15K6, кроме линий исходных фаз (карбидов титана, вольфрама и кобальтовой связки), присутствуют линии новой фазы [10]. При скорости резания, соответствующей в зоне резания средним температурам 600 °С и выше, вольфрам окисляется, образуя прочное соединение WO<sub>3</sub> (WC+2O<sub>2</sub>=WO<sub>3</sub>+CO). Оксид вольфрама имеет другой тип кристаллической решётки, чем карбид вольфрама, и поэтому легко отделяется от него и уносится со стружкой, либо связывается кобальтовой связкой, образуя новую фазу твердого раствора инструментального материала. Вследствие этого с ростом скорости резания влияние окисления карбида вольфрама на интенсивность изнашивания возрастает, так как экспоненциально с температурой возрастает интенсивность окисления карбида вольфрама, которая достигает максимума при температуре 1100 °С с последующей возгонкой. Более того, с повышением температуры в зоне контакта материал инструмента начинает размягчаться, и его сопротивление абразивному царапанию и действию тангенциальных составляющих сил резания резко уменьшается. Из-за теплового износа режущей кромки инструмент затупляется. То есть при нагреве твёрдость режущего клина оказывается недостаточной для того, чтобы противостоять давлению резания и происходит критическая пластическая деформация режущей кромки. При более низких температурах, но при частых её колебаниях, вследствие разницы коэффициентов линейного расширения, прочность быстро снижается, что также приводит к хрупкому разрушению.

Средняя скорость обработки металлов и чугунов твёрдыми сплавами, применяемыми на производстве,

составляет около 100 м/мин [6]. Если размер зерна различных сталей колеблется в пределах от 15 до 30 мкм, а чугунов от 34 до 71 мкм, то наибольшее время температурной вспышки при указанной средней скорости  $1,8 \cdot 10^{-5}$  с для стали и  $4,26 \cdot 10^{-5}$  с для чугунов. В силу своей инерционности или недостаточной чувствительности, распространённые методы контроля температуры в процессе резания не могут регистрировать столь кратковременные температурные вспышки.

Принимая во внимание факты, указывающие на наличие температур свыше 1200 °С в процессе обработки металлов резанием и явлений разрушения твёрдого сплава, сопутствующих этим температурам, очевидна актуальность разработки метода контроля температурных вспышек при металлообработке и исследования характера их проявлений при различных режимах резания чугунов, металлов и сплавов.

#### Литература:

- 1 Резников А.Н. Теплофизика резания / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1969. – 288 с.
- 2 Армарево И.Дж.А. Обработка металлов резанием: пер. с англ. / И.Дж.А. Армарево, Р.Х. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
- 3 Зорев Н.Н. Развитие науки о резании металлов / Н.Н. Зорев, Г.И. Грановский, М.Н. Ларин. – М.: Машиностроение, 1967. – 674 с.

4 Куклин Л.Г. Повышение прочности и износостойкости твердосплавного инструмента / Л.Г. Куклин, В.И. Сагалов, В.Б. Серебровский, С.П. Шабанов. – М.: Машиностроение, 1968. – 140 с.

5 Иткин А.Л. Изготовление и эксплуатация твердосплавного режущего инструмента / А.Л. Иткин. – М.: МАШГИЗ, 1962. – 124 с.

6 Аваков А.А. Физические основы теорий стойкости режущих инструментов / А.А. Аваков. – М.: МАШГИЗ, 1960. – 308 с.

7 Кононенко В.И. Износ инструментов при резании металлокерамических материалов / В.И. Кононенко. – М.: Машиностроение, 1972. – 73 с.

8 Мельник Е.Е. Метод и средство контроля состояния и оценки стойкости твердосплавного режущего инструмента: дис... канд. техн. наук / Е.Е. Мельник: – Орел: ОрелГТУ, 2003. – 209 с.

9 Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов: учебник для вузов / Ю.М. Лахтин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1993. – 448 с.

10 Куликов М.Ю. Разработка способов повышения работоспособности режущего инструмента на основе анализа механизмов его микро- и субмикроразрушения: дис... д-ра техн. наук / М.Ю. Куликов. – М.: 1998. – 358 с.

УДК 621.3

Асп. Кирпичев А.А.

(Московский государственный университет приборостроения и информатики)

Россия, г. Москва, тел. (495)2837812, E-mail: kirpichev@d3706.vniief.ru; petr\_shkatov@mail.ru

## РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИХРЕТОКОВОГО МЕТОДА ВИБРОДИАГНОСТИКИ ВРАЩАЮЩИХСЯ МАШИН

*For vibratory diagnostics of the revolving machines are broadly used to converters, allowing no contact to get information on change the clearance between his worker butt end and surface revolving metallic object. On results of the measurement, alongside with controlled by parameter, affects the row a factor. To he pertain: change physical characteristic metal of the control object, change physical and geometric parameter screen under influence of the temperature, change the curvature to surfaces of the revolving object, deflection to axis вихревого current converter from normal to surfaces etc. On base of mathematical modeling is considered influence of the change disturbing factor on output signal of the converter.*

#### Введение

Преобразование в машинах и механизмах одних видов энергии в другие, преобразование форм движения, осуществление рабочих процессов неизбежно связано с появлением переменных сил и моментов, порождающих вибрацию. При достижении определенных значений вибрация может вызвать нарушение рабочих процессов, привести к расстройке систем управления и регулирования, искажению показаний приборов, усиленному износу кинематических пар, поломкам деталей и авариям машин. Статистика показывает, что в большинстве случаев поломки и аварии машин происходят по причине вибрации, возникающей при отклонении показателей режима работы машин от до-

пустимых значений, изменении формы и взаимного положения деталей, ослаблении креплений и посадок деталей, появлении значительной неуравновешенности движущихся частей. В настоящее время снижение весогабаритных характеристик, повышение скорости и мощности машин приводит к увеличению вибрационных нагрузок на их детали и узлы. Это приводит к необходимости контроля вибрации машин. Связь вибрации с качеством изготовления и сборки машин, износом их деталей и узлов, режимом работы, надежностью и безопасностью позволяет использовать ее характеристики для оценки технического состояния составных частей машин, прогнозирования их ресурса и оптимизации режима работы.

Машиностроение.

Приборостроение 2005



Для решения задач вибродиагностики машин с вращающимися элементами широко применяется вихретоковый метод. Особенность вихретокового контроля состоит в том, что его можно проводить без контакта вихретокового преобразователя (ВТП) и объекта. При этом на сигнал ВТП практически не влияют влажность, давление и загрязненность окружающей газовой среды, радиоактивные излучения, загрязнение поверхности объекта контроля неэлектропроводящими веществами. Простота конструкции ВТП, представляющего собой одну или несколько катушек индуктивности – еще одно преимущество вихретокового метода. При использовании защиты обмотки она может работать в агрессивных средах в широком диапазоне температур и давлений.

В основном, вихретоковый метод применяют для диагностики состояния турбин, компрессоров, электромоторов, различных энергетических агрегатов. Объектом контроля в этом случае являются: осевое перемещение и радиальная вибрация вала ротора относительно корпуса агрегата, частота вращения [1].

#### Результаты исследований и их обсуждение

Для измерения параметров вибрации вихретоковым методом могут использоваться ВТП различной конструкции. В простейшем варианте это однокатушечный параметрический ВТП с витками круговой формы. Для повышения локальности измерений, обеспечения конструктивной прочности и защиты ВТП от воздействий внешних электромагнитных полей применяют металлические экраны. Вместе с тем, за счет экрана значительно снижается добротность катушек ВТП и стабильность его параметров при вариации температуры. Влияние экрана уменьшается по мере его удаления от катушки. При превышении диаметром экрана диаметра катушки в три раза его влиянием можно пренебречь. Однако увеличение габаритов ВТП весьма нежелательно, так как для их установки, как правило, требуется выполнять полости в контролируемом оборудовании.

Существенного уменьшения влияния экрана можно добиться, применяя трансформаторные ВТП с двухсекционными возбуждающими катушками. Секции возбуждающих катушек соединяются так, что ЭДС, наводимые в экране ВТП, направляются встречно и уравновешиваются. При этом уравновешивание ЭДС осуществляется путем встречно направленных токов в частях витков, прилегающих к экрану [2].

На результат измерения зазора между рабочим торцом вихретокового преобразователя (ВТП) и цилиндрической поверхностью вращающегося элемента оказывает влияние кривизна этой поверхности, неточность установки ВТП и вариация электромагнитных свойств металла.

Для проведения соответствующих исследований целесообразно воспользоваться математическим моделированием на основе численных методов, т.к. аналитическое решение данной задачи вряд ли возможно. В данной работе использовался метод конечных элементов, реализуемый известным пакетом ANSYS.

В качестве неизвестных при расчетах использовались компоненты вектора магнитного потенциала, а также электрический скалярный потенциал для проводящих сред.

Векторный магнитный потенциал вводится выражениями:

$$\vec{B} = \text{rot}(\vec{A}); \quad (1)$$

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \text{grad}(V), \quad (2)$$

где:  $V$  – скалярный электрический потенциал;

$\vec{A}$  – векторный магнитный потенциал;

$\vec{B}$  – индукция магнитного поля;

$\vec{E}$  – напряженность электрического поля.

После проведения преобразований и учитывая уравнения состояния материала, можем записать дифференциальные уравнения, подлежащие решению:

$$\text{rot} \left( \frac{\text{rot}(\vec{A})}{\mu} \right) - \text{rot} \left( \frac{\mu_0 \vec{M}_0}{\mu} \right) + \sigma \cdot \text{grad}(V) + \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = 0, \quad (3)$$

$$\text{div} \left( -\sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \sigma \cdot \text{grad}(V) \right) = 0, \quad (4)$$

где:  $\mu$  – абсолютная магнитная проницаемость материала;

$\mu_0$  – магнитная постоянная;

$\vec{M}$  – вектор намагниченности;

$\sigma$  – удельная электрическая проводимость (для проводников).

Для подтверждения достоверности расчетов проводилось сравнение полученных результатов с известными решениями, полученными аналитически для модельных задач. Сопоставление известных и полученных результатов не превысило погрешности вычислений.

На основе проведенных расчетов построены градуировочные характеристики для магнитных и немагнитных объектов различного радиуса в частотном диапазоне, получены оценки погрешности измерений при изменении угла наклона ВТП и вариации электромагнитных свойств металла. Соответствующие зависимости построены как для абсолютных, так и нормированных величин. Полученные результаты позволили оптимизировать параметры ВТП и режим измерения при измерении зазоров между ВТП и цилиндрическими объектами.

На рис. 1 и 2 в качестве иллюстрации приведены годографы комплексного вносимого сопротивления параметрического неэкранированного ВТП при вариации радиуса  $R_{obj}$  объекта и рабочего зазора  $h$ .

Результаты приведены для ВТП радиусом 10 мм на частоте 100 кГц, металла с относительной магнитной проницаемостью  $\mu_r = 300$  и удельной электрической проводимостью  $\sigma = 3 \text{ МСм/м}$ .

#### Заключение

Разработанная программа расчета позволяет исследовать актуальные для вихретоковой виброметрии процессы влияния кривизны поверхности, наличия электропроводящего экрана вихретокового преобразователя, перекоса его оси и т.п. Программа прошла апробацию и может эффективно использоваться при проектировании вихретоковых измерительных преобразователей.

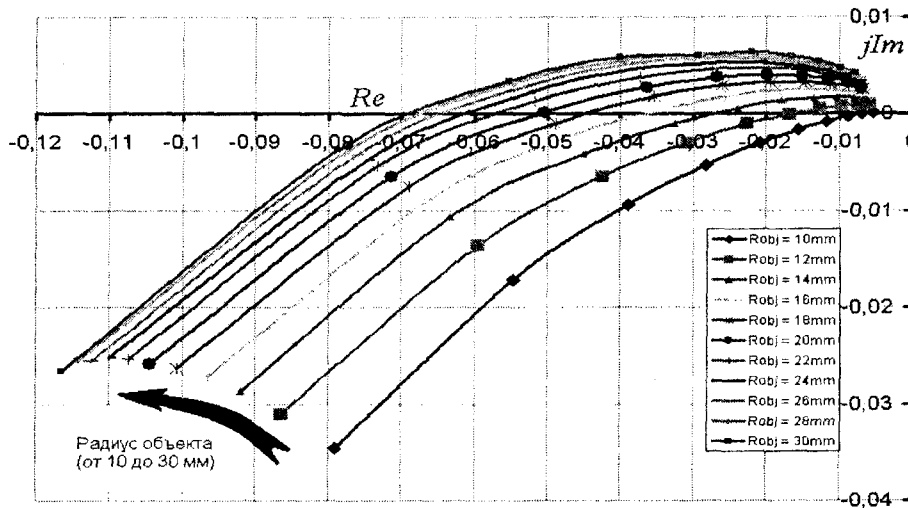


Рис. 1. Годографы комплексного вносимого сопротивления при вариации рабочего зазора  $h$  от 1 до 10 мм и радиуса  $R_0$  контролируемого объекта от 10 до 30 мм

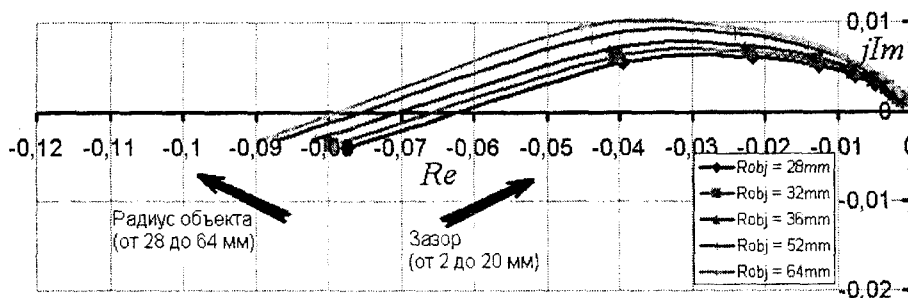


Рис. 2. Годографы комплексного вносимого сопротивления при вариации рабочего зазора  $h$  от 2 до 20 мм и радиуса  $R_0$  контролируемого объекта от 28 до 64 мм

**Литература:**

1 Клюев В.В. *Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7: в 2 кн. – Кн. 2: Б.Я. Базицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова. – М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.*

2 А.с. 938127 СССР. МПК G 01N 27/86. *Токовихревой способ измерения параметров объекта / В.М. Карпов, В.Г. Запускалов. – Опубл. 10.03.80, Бюл. № 9.*

УДК 620.179.1.082.7:658.58

Д-р техн. наук, проф. Подмастерьев К.В., канд. техн. наук Марков В.В., студ. Сафонов М.А. (Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862)419876; E-mail: pms35@mail.ostu.ru

## АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К СРЕДСТВАМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОРЕЗИСТИВНЫМ МЕТОДОМ

*In this article is present the results of analysis the technical requirements to means of diagnostically the rolling bearings of the method the electrical resistance. The scheme of structure the one of this means is describe.*

**Цель работы**

Подшипники качения (ПК) входят в состав многих машин и приборов, определяя их надежность и безопасность. Качество механических систем зависит от качества входящих в их состав подшипников.

Качество ПК определяется его техническим состоянием, которое оценивается при диагностировании. В результате диагностирования определяют ли-

бо качество ПК в целом (интегральная комплексная оценка), либо качество его отдельных элементов, например, рабочих поверхностей его деталей или смазочной пленки (раздельное диагностирование).

Раздельное диагностирование ПК является достаточно сложной и трудоемкой задачей, поэтому этой процедуре подвергают не все ПК, а только те, которые признаны дефектными по результатам интегральной

комплексной оценки качества. Следовательно, интегральная комплексная оценка качества ПК является первоначальным этапом диагностирования, которому могут подвергаться многие технические объекты.

Требования, предъявляемые к средствам диагностирования подшипников качения (СД ПК) по интегральным диагностическим параметрам, определяются: условиями эксплуатации ПК, режимами их работы, диапазоном измерения интегральных диагностических параметров и допустимой погрешностью, зависящей от цели диагностирования.

ПК обычно расположены в труднодоступных областях механизма, поэтому желательно, чтобы средство диагностирования позволяло диагностировать подшипник непосредственно в узле, без демонтажа механизма. «Рабочее место» механической системы (машины или прибора) может быть удалено от испытательной лаборатории, поэтому желательно, чтобы средство было автономным, экономичным (энергосберегающим), достаточно простым в эксплуатации, а его показания были однозначными и понятными для оператора машины или ее наладчика.

Режимы эксплуатации ПК определяются частотой вращения его колец, свойствами смазочного материала, нагрузкой на подшипник, степенью защищенности зон трения от твердых абразивных частиц (песок, стружка пыль) и другими, менее существенными факторами. Особое место среди режимов эксплуатации занимают свойства смазочного материала: объем, вязкость, смазывающие свойства, термостойкость. Они определяют процесс взаимодействия смазочного материала с рабочими поверхностями деталей подшипника, который называется смазкой. Смазка может быть жидкостной, если рабочие поверхности полностью разделены смазочной пленкой, граничной, когда толщина смазочной пленки настолько мала, что ее физические свойства изменяются, а процесс трения определяется, в основном, взаимодействием окисных пленок рабочих поверхностей и смешанной, если смазочная пленка разделяет рабочие поверхности только в отдельные случайные моменты времени.

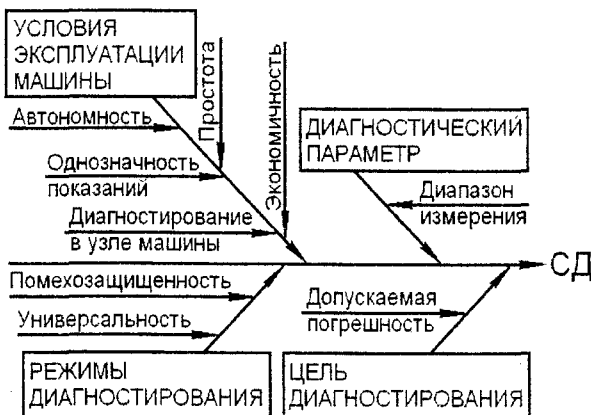


Рис. 1. Требования, предъявляемые к СД ПК по интегральным диагностическим параметрам

Таким образом, подшипник качения может работать в режимах жидкостной, граничной или смешанной смазки. Поэтому средство диагностирования должно быть универсальным, то есть работающим во всех трех режимах смазки или, по крайней мере, ра-

ботать при жидкостной смазке и сигнализировать о поступлении смешанной смазки. При этом средство диагностирования должно быть достаточно помехозащищенным, чтобы случайные помехи не воспринимались, как нарушение жидкостной смазки.

Допускаемая погрешность диагностирования ПК зависит от цели диагностирования. Например, для выявления подшипников с возможными нарушениями условий смазки при *рабочем диагностировании* может быть достаточно погрешность  $\delta = 10 \%$ .

Результаты анализа требований, предъявляемых к СД ПК, схематически представлены в виде диаграммы Исикавы, изображенной на рис. 1.

Средства диагностирования ПК по интегральным диагностическим параметрам должны удовлетворять следующим техническим требованиям:

- диагностирование подшипников в узлах машин без их демонтажа;
- автономность;
- экономичность;
- универсальность;
- простота;
- однозначность показаний;
- помехозащищенность;
- допустимая погрешность.

Перечисленным требованиям могут удовлетворять СД ПК по электрическим диагностическим параметрам, в частности, по параметрам электрического сопротивления подшипника. Сущность электрорезистивного диагностирования заключается в измерении среднего сопротивления, средней проводимости или относительной длительности электрических контактов при подаче на кольца подшипника постоянного электрического напряжения или тока.

Электрорезистивные средства диагностирования ПК не требуют демонтажа подшипникового узла, могут быть достаточно простыми в реализации, автономными и экономичными в эксплуатации.

В настоящее время известно большое количество электрорезистивных СД. Поэтому целью данной работы является анализ известных СД с точки зрения их соответствия сформулированным требованиям.

### Обзор электрорезистивных СД ПК

Обзор известных электрорезистивных СД ПК, выполненный по материалам работы [1] позволяет выявить признаки, общие для всех устройств, и определить особенности каждого устройства.

Общими признаками рассмотренных устройств являются:

- 1 Диагностирование подшипника в узле механической системы.
- 2 Воздействие на объект диагностирования постоянным напряжением 10...100 мВ или стабильным электрическим током силой 1,0...10 мкА.
- 3 Использование однородных диагностических признаков: электрического сопротивления, электрической проводимости, параметра НИВ (нормированное интегральное время электрического микроконтактирования в подшипнике).
- 4 Учет высших гармоник флуктуаций толщины смазочной пленки в подшипнике до частоты 1 МГц.
- 5 Усреднение диагностических параметров за период от 1 мс до 10 с.

Особенности рассмотренных устройств могут быть объединены в несколько групп:

- 1 Комплексное или раздельное диагностирование объектов.
- 2 Рабочее, функциональное или тестовое диагностирование.
- 3 Измерение одного или нескольких однородных или разнородных диагностических параметров.
- 4 Универсальность или специализированность.
- 5 Оригинальность диагностического параметра.
- 6 Диапазон измерения и диапазон частот диагностического параметра.

Перечисленные общие признаки и особенности устройств будут учтены при разработке развернутой структурной схемы СД ПК по интегральным диагностическим параметрам.

**Предварительные технические требования и упрощенная схема устройства**

В результате анализа требований к СД ПК и обзор существующих устройств сформулированы предварительные технические требования к разрабатываемому средству диагностирования подшипников по интегральным диагностическим параметрам:

- 1) измерение среднего сопротивления в диапазоне от 1 кОм до 10 МОм;
- 2) минимальная длительность учитываемых импульсов электрического напряжения – 1 мкс;
- 3) воздействие на объект стабильным электрическим током силой не более 1 мА;
- 4) усреднение электрического сопротивления за период 10 с;
- 5) питание устройства от гальванических элементов напряжением 9...18 В;
- 6) цифровая индикация среднего сопротивления объекта (в кОм);
- 7) мнемоническая индикация условий смазки (граничная, смешанная, жидкостная);
- 8) относительная погрешность измерения среднего сопротивления объекта – не более 10 %.

На этапе разработке технического задания перечисленные требования могут быть скорректированы.

Упрощенная структурная схема разрабатываемого СД ПК показана на рис. 2 [2].

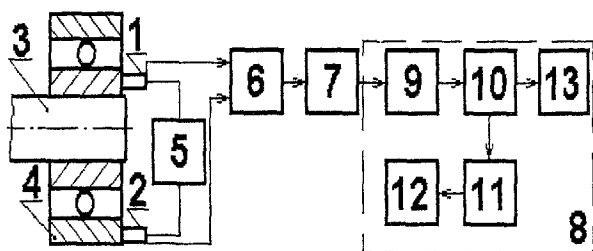


Рис. 2. Упрощенная структурная схема разрабатываемого СД ПК

СД ПК содержит токосъемники 1 и 2, выполненные с возможностью электрического контакта с кольцами установленного на валу 3 диагностируемого подшипника 4, источник электрической энергии 5, выполненный в виде источника стабильного электрического тока, дифференциальный усилитель (ДУ) 6, интегратор 7 и блок измерения диагностического параметра 8, состоящий последовательно включенные устройство выборки-хранения (УВХ) 9, АЦП 10,

дешифратор 11, цифровое отсчетное устройство (ЦОУ) 12 и блок мнемонической индикации 13.

Один из выходов источника энергии 5 соединен с токосъемником 1, выполненным с возможностью электрического контакта с внутренним кольцом подшипника 4, а второй выход источника 5 соединен с токосъемником 2, выполненным с возможностью электрического контакта с наружным кольцом подшипника 4. ДУ 6 неинвертирующим входом соединен с токосъемником 1, инвертирующим входом – с токосъемником 2, а выходом – с входом интегратора 7, к выходу которого подключен вход блока 8.

Устройство работает следующим образом. При вращении внутреннего кольца диагностируемого подшипника 4 в результате воздействия комплекса его внутренних параметров и режимов эксплуатации электрическое сопротивление между внутренним и наружными кольцами непрерывно изменяется. Поэтому напряжение на подшипнике 4, равное произведению сопротивления подшипника и тока источника энергии 5, также непрерывно изменяется. Источник 5 выполнен в виде источника стабильного электрического тока, поэтому при флуктуациях сопротивления подшипника 4 значение тока через него поддерживается неизменным, а напряжение на подшипнике 4 прямо пропорционально его сопротивлению.

Напряжение на подшипнике 4 усиливается ДУ 6 и поступает на вход интегратора 7, который усредняет его за 10 секунд. Выходное напряжение интегратора 7, пропорциональное среднему сопротивлению подшипника 4, поступает на вход УВХ 9, сохраняющее в течение заданного времени значение входного сигнала. Выходное напряжение УВХ 9 поступает на вход АЦП 10, в котором происходит его преобразование в двоичный цифровой код, пропорциональный сопротивлению подшипника 4. Дешифратор 11 преобразует двоичный код в десятичный код, который отображается на индикаторах цифрового отсчетного устройства 12. Десятичный цифровой код, отображаемый на индикаторах ЦОУ 12, соответствует сопротивлению подшипника 4. Параллельно выходной сигнал АЦП 10 поступает на вход блока мнемонической индикации 13, отображающий вид смазки в подшипнике. Блок 13 выполнен в виде трех светодиодов (красный, желтый, зеленый), из которых красный соответствует граничной смазке, желтый – смешанной, зеленый – жидкостной смазке.

Измеряемое значение среднего сопротивления подшипника 4 определяется за установленный УВХ 9 интервал времени и комплексно характеризует состояние ПК на протяжении всего этого интервала при любых условиях смазки в подшипнике.

Приведенная схема будет детализирована при разработке развернутой структурной схемы СД ПК по интегральным диагностическим параметрам.

**Литература:**

- 1 Подмастерьев К.В. *Электропараметрические методы комплексного диагностирования опор качения*. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 376 с.
- 2 Пат. на полезную модель № 51215 Российская Федерация, МПК G 01 M 13/04. *Устройство диагностирования подшипника качения* / К.В. Подмастерьев, В.В. Мишин, В.В. Марков. – Опубл. 27.01.06, Бюл. № 3.

Студ. Сидоров А.М.  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862)419876; E-mail: pms35@mail.ostu.ru

## СТЕНД КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

*Are made demands to functionalities and structure of the stand. The design of the basic units of a part stand is described. Groups of factors influencing on work of the bearing of sliding are certain and concrete ways on their modeling during the control are offer.*

Практически ни одно современное производство не обходится без такого этапа жизненного цикла изделия, как контроль и диагностика. Согласно [1], под контролем поминается проверка соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации и определение на этой основе одного из заданных видов технического состояния в данный момент времени (например, работоспособное или неработоспособное). При этом контролю может подвергаться изделие в целом, его отдельные части и узлы.

Подшипники скольжения (ПС) являются одними из наиболее широко распространенных элементов машин и механизмов. Качество подшипниковых узлов определяет эксплуатационные показатели изделия и зависит от многих факторов. Даже при современном уровне развития вычислительных средств, на этапе проектирования не всегда удается учесть все разнообразие факторов и определить реальные эксплуатационные показатели изделия, а также прогнозировать его состояние при заданных условиях эксплуатации. По этим причинам проблема точного контроля и диагностики подшипниковых узлов остается актуальной. Все больший интерес представляет комплексное диагностирование с применением различных методов, т.к. именно в этом случае можно получить достаточно полную картину о реальном состоянии контролируемого объекта.

Предложенный стенд предназначен для контроля состояния ПС. Помимо узкой задачи контроля, стенд может использоваться в качестве испытательной техники при исследовании опор скольжения и радиальных пар трения. При его разработке принимались во внимание современные требования к устройствам подобного рода, а именно требования к таким факторам, как метод диагностирования; функциональные возможности; простота и надежность конструкции; высокие технико-экономические показатели.

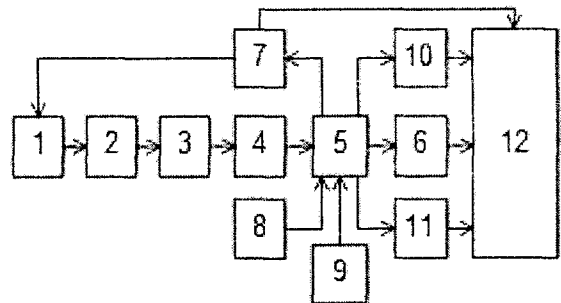
В качестве методов диагностирования выбраны вибрационный, тепловой и электрический методы.

Вибрационный метод диагностирования является наиболее распространенным при контроле подшипниковых узлов и, как следствие, наиболее развитым. Сущностью вибрационного метода заключается в измерении и анализе параметров виброакустического сигнала, излучаемого самим подшипником при его работе (рабочее диагностирование) или исследовании частотных характеристик канала «излучатель-подшипник-первичный преобразователь». Методы этой группы обеспечивают усредненную комплексную оценку состояния подшипника, а также решают целый комплекс конкретных диагностических задач. В качестве примера можно назвать, в частности,

оценку структурных параметров подшипника, сформировавшихся под влиянием технологических погрешностей изготовления и сборки подшипника (отклонения формы поверхностей трения и т.п.).

При использовании тепловых методов диагностирования большую практическую ценность представляет определение тепловыделений непосредственно из контактных зон деталей, что позволяет оценить характер взаимодействия отдельных деталей подшипника и, следовательно, его состояние.

Электрические методы диагностирования широко применяются при оценке технического состояния трибосопряжений различных видов на протяжении десятилетий. Эти методы эффективно используются для решения многих трибологических задач [2].



- 1 – устройство управления; 2 – электросиловой узел;
- 3 – электродвигатель; 4 – гибкая связь; 5 – ПС;
- 6 – токосъемник; 7 – измеритель скорости вращения;
- 8 – устройство радиального нагружения;
- 9 – устройство деформации внутреннего кольца;
- 10 – датчик вибрации; 11 – датчик температуры;
- 12 – измерительная система

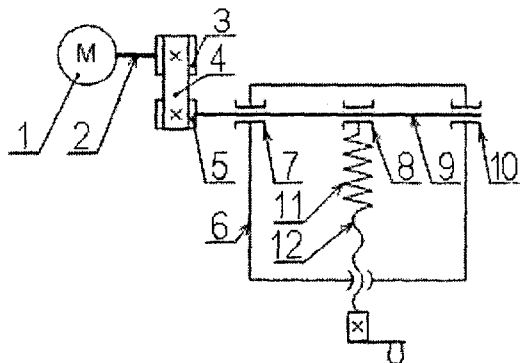
**Рис. 1. Структурная схема стенда контроля подшипников скольжения**

Функциональные возможности стенда определяются требуемыми режимами диагностирования, которые, в свою очередь, задаются совокупностью факторов. Все факторы, характеризующие эксплуатационные характеристики подшипникового узла, можно подразделить на четыре группы: факторы, характеризующие качество изготовления подшипника; факторы, характеризующие качество сборки подшипникового узла; факторы, характеризующие эффективность работы системы смазывания; факторы, характеризующие режимы и условия работы подшипника. Для приближения условий диагностирования к реальным, в предлагаемом стенде были предусмотрены функциональные узлы позволяющие моделировать ряд перечисленных факторов.

Простота и надежность конструкции является одним из основных требований к предложенному стенду, т.к. они в значительной степени определяют его востребованность. Данные требования достигаются применением наиболее простых по конструкции элементов и узлов с использованием как можно большего числа стандартных изделий. Широкое использование стандартных элементов позволяет снизить себестоимость устройства и повысить его технико-экономические показатели.

Структурная схема стенда контроля ПС представлена на рис. 1. В соответствии со схемой, устройство управления 1 через электросиловой узел 2 взаимодействует с электродвигателем 3, что позволяет регулировать скорость его вращения. Электродвигатель передает вращение через передачу 4 к исследуемому ПС 5. Взаимодействуя с ПС 5, устройство контроля скорости вращения 7 воздействует на устройство управления, что позволяет стабилизировать скорость вращения. Устройство радиального нагружения 8 и устройство деформации 9 воздействуют на ПС 5, моделируя условия эксплуатации. Значения контролируемых параметров при помощи токосъемного устройства 6, датчика вибрации 10, датчика температуры 11 и устройства контроля скорости вращения 7 поступают на измерительную систему 12, где происходит их дальнейшая обработка.

В соответствии со структурной схемой, кинематическая схема механической части стенда может быть представлена в виде, изображенном на рис. 2.



1 – электродвигатель; 2 – вал электродвигателя; 3, 5 – шкив; 4 – ремень; 6 – корпус; 7, 8, 10 – ПС; 9 – основной вал; 11 – пружина; 12 – винтовая пара

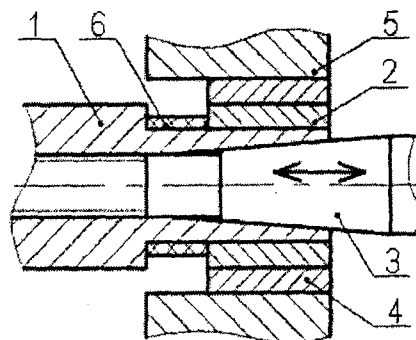
Рис. 2. Кинематическая схема механической части стенда

На валу 2 электродвигателя 1 закреплен шкив 3 ременной передачи. Посредством ремня 4 вращение передается на шкив 4, соединенный с основным валом 9. Основной вал установлен в корпусе 6 на опорах скольжения – диагностируемой 10 и вспомогательной 7. Устройство нагружения представлено ходовым винтом 12, который посредством пружины 11 передает радиальное усилие на вал через ПС 8.

Как видно из представленной кинематической схемы, вращающий момент передается с электродвигателя на основной вал при помощи ременной передачи. Ее применение позволяет уменьшить вибрацию, передаваемую от электродвигателя к ПС, что приводит к повышению качества диагностирования.

Для обеспечения возможности моделирования макрогеометрии поверхности трения, свободный ко-

нец вала с диагностируемым ПС выполнен в виде разжимной цанги, как показано на рис. 3.



1 – основной вал; 2 – рабочая втулка на валу; 3 – распорный винт; 4 – рабочая втулка в корпусе; 5 – корпус; 6 – фиксирующая втулка

Рис. 3. Конструкция цангового устройства деформации

На рис. 3 изображен вал 1, окончание которого выполнено в виде разжимной цанги. На цангу одевается рабочая втулка 2. В центре вала выполнено отверстие, в которое вкручивается распорный винт 3. Винт 3 имеет конусную поверхность, что позволяет при его перемещении деформировать лепестки цанги, а вместе с ними и втулку 2. В зависимости от количества лепестков цанги, можно получать различные виды отклонений от округлости поверхности втулки 2 (овальность, огранка и т.д.). Вал с втулкой 2 установлен в корпусе 5, который также содержит жестко закрепленную рабочую втулку 4. Втулка 4 выполнена из антифрикционного материала с хорошей теплопроводностью для обеспечения возможности более точного определения температуры в зоне трения. Из-за неравномерности распределения деформации по поверхности лепестка цанги, длина втулки 2 выполняется несколько меньше, чем длина самого лепестка. Для предотвращения перемещения втулки 2 используется фиксирующая втулка 6.

По результатам описания предложенной конструкции можно сделать следующие выводы:

- предлагаемая конструкция стенда позволяет моделировать влияние факторов, характеризующих режимы работы, качество изготовления и сборки подшипникового узла, а также факторов, характеризующих условия смазки при использовании различных смазочных материалов;

- конструкция стенда проста, надежна и при необходимости может быть доработана под конкретные требования;

- при использовании стандартных узлов стенд будет обладать небольшой себестоимостью, что позволит его использовать не только в крупных предприятиях и лабораториях, но и в небольших научно-исследовательских институтах.

**Литература:**

1 ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 13 с.  
2 Свириденко А.И. Акустические и электрические методы в триботехнике / А.И. Свириденко, Н.К. Мышкин, Т.Ф. Калмыкова, О.В. Холодилов. – Минск: Наука и техника, 1987. – 257 с.

Канд. техн. наук., доц. Мишин В.В., асп. Моисеев П.П., студ. Викторов А.И.  
 (Орловский государственный технический университет)  
 Россия, г. Орел, тел. (4862)419876; E-mail: [vm@rbcmail.ru](mailto:vm@rbcmail.ru)  
 Работа выполнена при поддержке гранта МК-3824.2005.8

## КОНЦЕПЦИЯ СТЕНДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБКАТКИ И СБОРКИ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА, РАБОТАЮЩЕГО В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ

*Questions extra earnings of the bearing before his installation in unit are examine. The choice of diagnostic parameters carried out. The concept of construction of the stand is offer.*

В настоящее время подшипниковые узлы применяются практически повсеместно. Большинство подшипников в узлах работает в режиме постоянного вращения. Однако во множестве изделий машиностроения и приборостроения используется колебательный режим работы подшипников. Под колебательным (качательным) режимом понимается вращение подшипника не на 360 градусов, а в некотором угловом диапазоне (например, 20 – 30 градусов). Этот режим работы подшипника является более тяжелым, чем непрерывное круговое вращение. В колебательном режиме происходит повышенный износ не всей поверхности дорожки качения, а лишь некоторой части ее в угловом секторе (при наличии радиальной нагрузки). Можно сказать, что ресурс подшипника значительно снижается за счет использования для передачи нагрузки только некоторого участка дорожки качения внутреннего кольца.

Новые подшипники, соответствующие всем требованиям входного контроля, устанавливаются в изделие. Далее изделие проходит технологическую обкатку, в процессе которой подшипники прирабатываются. Только после завершения приработки изделие вводится в эксплуатацию. Целью настоящей работы является анализ возможных способов приработки подшипников, работающих в колебательном режиме. Однозначно, что приработка таких подшипников будет отличаться от приработки подшипников, работающих в режиме постоянного кругового вращения.

Приработка подшипника – процесс достаточно сложный с точки зрения реализации в технологическом плане. При планировании технологической обкатки необходимо выбрать режимы данной операции. К режимам можно отнести скорость вращения, радиальную и осевую нагрузку на подшипник, температуру и т.д. Кроме того, необходимо правильно выбрать время завершения операции. А этот вопрос можно решить, только при наличии достоверной информации о техническом состоянии подшипника. Колебательный режим вносит свои коррективы в общую концепцию операции обкатки. Например, среди специалистов нет однозначного мнения о необходимости приработки такого подшипника, как в режиме непрерывного кругового вращения, так и в режиме секторных колебаний в самом изделии. Во

многих случаях ограничиваются только приработкой в режиме секторных колебаний в составе изделия.

После изготовления деталей подшипника микрогеометрия дорожек качения является так называемой неустановившейся (микронеровности имеют острую форму выступов). В начальный момент эксплуатации в зонах трения подшипника идет повышенный износ поверхностей трения, т.е. удаляются все сильно выступающие микронеровности, сглаживаются острые пики, заполняются смазкой и продуктами износа впадины, меняются давления в зоне контакта, перераспределяются нагрузки в подшипнике за счет установления реальной беговой дорожки на кольцах. Происходят также некоторые изменения в микрогеометрии дорожек качения (за короткий период приработки она значительно измениться не успевает). Результатом приработки является установление так называемой «равновесной шероховатости», сбалансированности трения и износа. В итоге, подшипник как трибосистема, переходит в стационарное состояние.

Процесс приработки может контролироваться по многим параметрам. В настоящее время основным параметром, по которому судят об окончании приработки, является температура подшипника. Как только температура стабилизируется, приработка завершается. Например, для подшипника типа 113 с пластическим смазочным материалом длительность приработки в режиме непрерывного вращения, оцениваемая по температуре  $T$ , составляет, в среднем, 15 мин. (рис. 1).

Кроме температуры, в качестве важного диагностического параметра применяется вибрация подшипников. Но, т.к. вибрация в основном порождается макроотклонениями дорожек качения, изменяющимися в процессе приработки незначительно, параметры вибрации являются малочувствительными к процессам в зоне трения, характеризующим приработку.

Наиболее приемлемым для контроля процесса приработки подшипника является момент трения. Момент трения (сопротивления качению) в подшипнике определяется множеством факторов и состоит из множества составляющих: момента сопротивления, обусловленного дифференциальным проскальзыванием; гироскопического момента; момента, вызванного потерями на упругий гистерезис в материале; момента, вызванного макро- и микрогеометрией

деталей; момент в смазке и т.д. Как видно, момент сопротивления трению является комплексной величиной, интегрально характеризующей состояние рабочих поверхностей деталей подшипника. Многие из перечисленных составляющих момента сопротивления трению определяются факторами, изменяющимися в процессе приработки. Следовательно, момент сопротивления трению можно применить для кон-

троля процесса приработки. Однако измерение момента сопротивления трению для подшипника является очень сложной задачей (особенно при диагностировании подшипника в узле). В статике эта задача решается достаточно легко известными методами, а в динамике, т.е. без прерывания процесса приработки, задача измерения значительно затрудняется или не решается ввиду конструктивных ограничений узла.

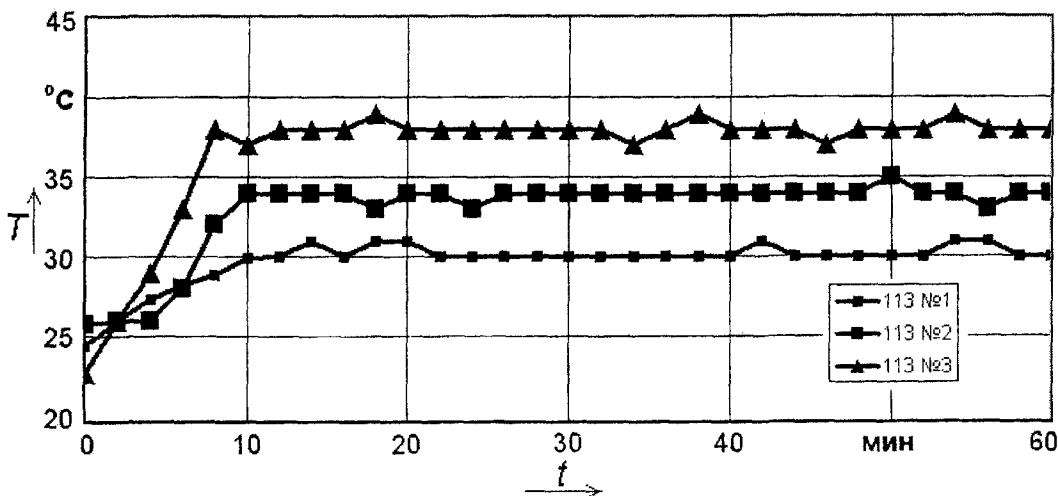


Рис. 1. Приработка подшипников, оцениваемая по температуре

Группа электрических методов диагностирования подшипников и подшипниковых узлов, основанных на получении электрического сигнала, характеризующего состояние смазочного слоя в зоне трения, по мнению ряда авторов, являются наиболее приемлемыми для контроля процесса приработки подшипников. Действительно, состояние смазочного слоя в зоне трения определяется множеством факторов: макро- и микрогеометрией, параметрами смазочного материала, давлением в зоне трения, распределением нагрузки и т.п. Как и момент сопротивления трению, электрические параметры комплексно характеризуют состояние подшипника. Но, в отличие от других методов, электрические методы практически безынерционны и позволяют мгновенно получать диагностическую информацию непосредственно из зоны трения. На рис. 2 представлен пример диаграммы изменения электрического сопротивления подшипника типа 1000900 при его приработке.

Сопоставляя диаграммы, показанные на рис. 1 и 2, можно сделать вывод: температура подшипника стабилизируется быстрее, чем его электрическое сопротивление, характеризующее состояние смазки в зонах трения. Это обусловлено большими теплоемкостями деталей подшипника и малой чувствительностью температуры как диагностического параметра к изменениям микрогеометрии дорожек качения. Следовательно, температуру для контроля времени окончания приработки подшипника применять нецелесообразно. Более подробная диагностическая информация может быть получена с применением электрических методов диагностирования.

Для подшипника, работающего в изделии в колебательном режиме, предлагается проводить приработку в два этапа: на первом этапе на специальном стенде подшипник прирабатывается в режиме непре-

рывного кругового вращения при условиях нагружения, близких к реальным для проектируемого изделия. На втором этапе подшипник прирабатывается непосредственно в изделии в колебательном режиме. Такой подход позволит получить равновесную микрогеометрию и сбалансированный износ на первом этапе. На втором этапе произойдет адаптация подшипника к посадочным местам и условиям работы.

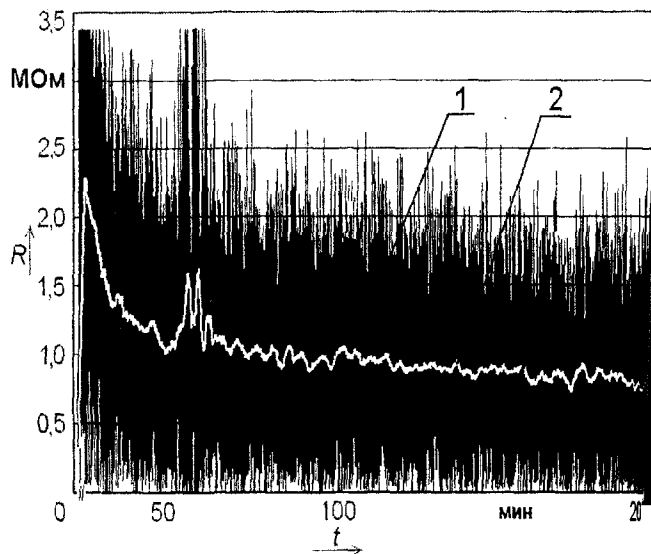


Рис. 2. Диаграмма приработки подшипника

Для реализации предложенного алгоритма приработки необходимо разработать стенд с возможностью многоступенчатого регулирования частоты вращения, измерения электрических, температурных и вибрационных параметров (для входного контроля подшипников), регулирования условий нагружения объекта диагностирования, имитирующих реальные условия работы подшипника в изделии.



## ЭЛЕМЕНТЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

УДК 004.414.23:629.3

*Д-р техн. наук, проф.* <sup>1</sup>Суздальцев А.И., *инж.* <sup>1</sup>Сафронова Н.А., *ген. дир.* <sup>2</sup>Сёмкин А.Н.  
(<sup>1</sup>Орловский государственный технический университет; <sup>2</sup>ЗАО НТЦ «Навигатор Технолоджи»)  
Россия, г. Орел, тел. (4862)419879; E-mail: [kupra@mail.ostu.ru](mailto:kupra@mail.ostu.ru)

### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МОНИТОРИНГА ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ СОПРОВОЖДЕНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*The subject under construction in the article vehicles monitoring and particularly the task of mobile vehicle detection in case of its leaving the preset control area boundaries.*

В современном мире наземные транспортные средства превратились в сложные комплексы с интеллектуальной электроникой, обеспечивающей, с одной стороны, оптимальные режимы работы оборудования (двигатель, тормозные системы, звуковая и световая сигнализация и т.д.), с другой стороны обеспечивающей автоматическую связь с внешним миром, в частности со службой мониторинга. В последнем случае эффективно используется сотовая связь через GSM-канал.

В общем случае к задачам мониторинга транспортных средств (ТС) можно отнести следующие:

- определение текущего времени, скорости и географических координат местонахождения ТС;
- диагностика параметров и состояние автономных систем ТС;
- постановка ТС под охрану и контроль местонахождения в случае угона;
- формирование и запоминание происходящих событий на ТС;
- ведение электронного журнала событий;
- идентификация водителя и ТС;
- управление исполнительными системами ТС в режиме мониторинга;
- формирование информационных сообщений через GSM-канал;
- защита информационного GSM-канала от несанкционированного доступа.

В большинстве источников информации, в т.ч. патентных, указанные задачи реализуются системами в двух территориально разнесенных друг от друга точках: на подвижном транспортном средстве (в бортовом контроллере) и на программно-техническом комплексе (ПТК), расположенном на центральном диспетчерском пункте (ЦДП). Указанные системы связаны между собой информационным каналом (в основном GSM-каналом). Просматриваются две тенденции в организации системы мониторинга ТС, которые базируются на принципе максимального распределения задач в той или иной точке, что определяет структуру сообщения, скорость передачи этого сообщения через GSM-канал и время занятости информационного канала.

ЗАО НТЦ «Навигатор Технолоджи», занимающаяся разработкой, производством и внедрением описанных систем мониторинга подвижных транспортных средств, приняла следующие принципы распределения задач мониторинга между бортовым контроллером и ПТК ЦДП. [1, 2].

В бортовом контроллере ТС решаются следующие технические задачи:

- определение времени, скорости и географических координат места нахождения ТС;
- передача в GSM-канал указанных параметров в виде их приращений;
- ведение журнала текущих событий с сохранением в долговременной памяти, в т.ч. диагностику автономных систем ТС и распределение событий по степени важности; при этом сигнал с информацией первой степени важности передается в GSM-канал вне очереди.

В ПТК, расположенном в центральном диспетчерском пункте, решаются следующие задачи:

- периодический опрос параметров ТС и их местоположения с внеочередным приемом важной информации;
- постановка под охрану от угона ТС;
- хранение карт местности, различных алгоритмов обмена данными с бортовым контроллером, алгоритмов и программ принятия решений по управлению подсистемами ТС;
- формирование информационной структуры сообщений, передаваемых через GSM-канал, в частности за основу принято SMS-сообщение со своим оригинальным форматом.

Одной из главных задач системы мониторинга является задача определения места нахождения угнанного ТС. Эта задача решается следующим образом. После постановки ТС под охрану (например, с помощью радиобрелока) с бортового контроллера в GSM-канал передается SMS-сообщение, в котором вместе с кодом ТС записан код охраны. Это сообщение фиксируется в ПТК, расположенном в центральном диспетчерском пункте. С этого момента здесь постоянно отслеживают изменения географических координат места нахождения ТС.

Если контролируемое транспортное средство угнано (код охраны не снят) и начинают изменяться координаты его места нахождения, то такая информация фиксируется в программно-техническом комплексе как тревожный сигнал. По этому сигналу из программно-технического комплекса на бортовой контроллер соответствующего транспортного средства передаются:

- карта участка местности в виде последовательности пар координат широта/долгота, образуя замкнутый контур;
- управляющая команда на обработку алгоритма остановки транспортного средства при выходе его из заданного контура.

Данный алгоритм заранее записывается в памяти бортового контроллера транспортного средства.

Структурная схема алгоритма определения момента выхода транспортного средства из охранной зоны показана на рис. 1.

Сущность данного алгоритма состоит в том, что строят математическую модель луча, исходящего из точки места нахождения транспортного средства и параллельного одному из направлений: восток, запад, север, юг.

После этого определяют количество пересечений лучом линий контура охранной зоны. По четному количеству пересечений судят о моменте и факте выхода транспортного средства из охранной зоны.

Важным в этом алгоритме является определение момента пересечения луча с той или иной линией контура (позиции 4, 5, 6 алгоритма на рис. 1).

Пусть линия контура АВ и луч CD заданы следующими геометрическими уравнениями:

$$\begin{aligned} P &= A + r(B - A); & P \in AB; \\ Q &= C + s(D - C); & Q \in CD. \end{aligned} \quad (1)$$

Если эти линии пересекаются, то уравнение, по которому можно определить координаты точки пересечения линии контура АВ и луча CD, будет иметь следующий вид:

$$A + r(B - A) = C + s(D - C). \quad (2)$$

С использованием декартовой системы координат YOX уравнение (2) в общем виде запишется следующим образом:

$$\begin{cases} a_x + r(b_x - a_x) = c_x + s(d_x - c_x) \\ a_y + r(b_y - a_y) = c_y + s(d_y - c_y) \end{cases} \quad (3)$$

где  $a_x, a_y$  – координаты точки А на плоскости YOX;  
 $b_x, b_y$  – координаты точки В на плоскости YOX;  
 $c_x, c_y$  – координаты точки С на плоскости YOX;  
 $d_x, d_y$  – координаты точки D на плоскости YOX;

Данная система линейных алгебраических уравнений (выражение 3) имеет следующее решение [3]:

$$\begin{aligned} r &= \frac{(a_y - c_y)(d_x - c_x) - (a_x - c_x)(d_y - c_y)}{(b_x - a_x)(d_y - c_y) - (b_y - a_y)(d_x - c_x)} \\ s &= \frac{(a_y - c_y)(b_x - a_x) - (a_x - c_x)(b_y - a_y)}{(b_x - a_x)(d_y - c_y) - (b_y - a_y)(d_x - c_x)} \end{aligned} \quad (4)$$

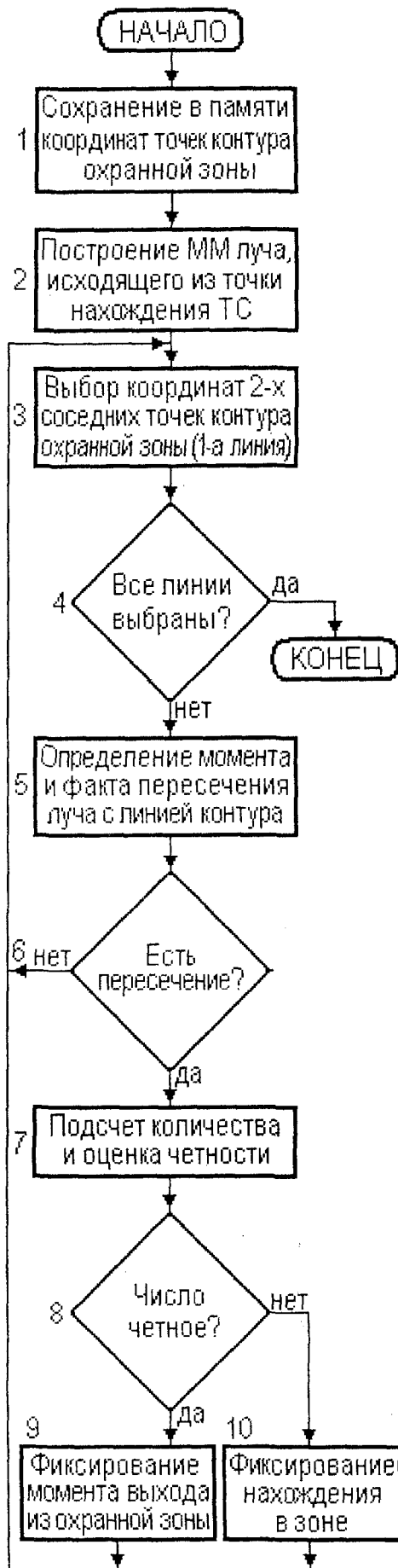


Рис. 1. Структурная схема алгоритма определения момента выхода ТС из охранной зоны

Так как луч CD может быть параллелен, например, оси OX, то есть,  $c_y = d_y$ , то получаем комплекс следующих выражений:

$$r = \frac{(a_y - c_y)}{(b_y - a_y)} = -\frac{a_y - c_y}{b_y - a_y} = \frac{a_y - c_y}{a_y - b_y} \quad (5)$$

$$s = \frac{(a_y - c_y)(b_x - a_x) - (a_x - c_x)(b_y - a_y)}{(a_y - b_y)(d_x - c_x)}$$

Если вычисленные по выражениям (4) или (5) значения параметров  $r$  и  $s$  принадлежат отрезку  $[0, 1]$ , то соответствующая линия и луч пересекаются.

Данный алгоритм с использованием языка СИ++ записан в памяти микроконтроллера на основе микропроцессора CYGNAL C8051F023, являющегося базовым элементом мобильного терминала МТА - 05/01, входящего в систему мониторинга подвижных

транспортных средств, разработанную ЗАО НТЦ «Навигатор Технолоджи».

**Литература:**

1 Патент РФ № 2217797, МПК G 08 G1/123. Способ оперативного сопровождения и управления наземными транспортными средствами / А.Н. Сёмкин, В.И. Черемушкин, А.С. Жиделев, В.Н. Анисимов, С.В. Сафонов, Ю.Г. Дурсин. – Опубл. 27.11.2003, Бюл. № 33.

2 Патент РФ № 2256952, МПК G 08 G1/123, G08 B 25/10, B 60 R 25/10. Способ оперативного сопровождения и управления наземными транспортными средствами / А.Н. Сёмкин, В.И. Черемушкин, А.А. Богданов, Э.О. Шайдабеков, В.П. Осипов, Ю.Г. Дурсин. – Опубл. 20.07.2005, Бюл. № 20.

3 Шикин А.В. Компьютерная графика. Полигональные модели / А.В. Шикин, А.В. Боресков. – М.: Диалог МИФИ, 2001. – 464 с.

УДК 681.58: 697.3

Канд. техн. наук, доц. Петров С.П.  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862)419876; E-mail: [pms35@mail.osu.ru](mailto:pms35@mail.osu.ru)

## ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА АБОНЕНТСКОМ ВВОДЕ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРУГИХ АБОНЕНТСКИХ ВВОДОВ И ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

*In article dependence of parameters of the heat-carrier on user's input cogeneration systems of the centralized heat supply from dynamic characteristics of other user's inputs and a thermal network is analyzed.*

Центральное регулирование расхода тепловой энергии в когенерационных системах централизованного теплоснабжения решает задачу стабилизации температурного режима в зданиях различного функционального назначения с определенной расчетной температурой внутреннего воздуха.

В тех зданиях, внутренние помещения которых имеют иную расчетную температуру воздуха, будут иметь место нарушения заданного заказчиками теплоснабжения температурного режима [1, 2].

На режим работы абонентского ввода когенерационной системы централизованного теплоснабжения, кроме статических характеристик, оказывают влияние динамические характеристики соседних абонентских вводов, а также участки тепловой сети от ТЭЦ до данного ввода.

Изменение подачи тепловой энергии зданию за счет центрального регулирования теплоснабжения при скачкообразном изменении наружной температуры на величину  $\Delta \overline{t_n}$  может быть определено из следующих уравнений [1]:

$$\Delta \varphi_p = \left[ (1 - \varphi_p) + \varphi_p \left( 1 - e^{-\frac{\tau - \tau_{1p}}{T_p}} \right) \right] \Delta \overline{t_n}; \quad (1)$$

$$\overline{\Delta t_n} = \frac{\Delta t_n}{\Delta t_{np}} = \frac{t_n - t_{n0}}{10 - t_{np}}$$

где  $t_{n0}$  – наружная температура до температурного возмущения, град;  
 $t_n$  – наружная температура после ее скачкообразного изменения, град;  
 $\tau$  – время с начала нарушения режима теплоснабжения, ч;  
 $T_p$  – расчетная постоянная времени наружного теплоемкого ограждения (стены) здания или сооружения, ч;  
 $\tau_{1p}$  – расчетное значение времени чистого запаздывания в стене, ч.

При выполнении условия  $\tau \leq \tau_{1p}$  справедливо сле-

дующее равенство:

$$\Delta\varphi_p = \Delta\bar{t}_n (1 - \varphi_p).$$

Требуемое изменение расхода тепла в здании с другими характеристиками ( $\varphi_a$ ,  $\tau_{1a}$  и  $T_a$ ) составит:

$$\Delta\varphi_a = \left[ (1 - \varphi_a) + \varphi_a \left( 1 - e^{-\frac{\tau - \tau_{1a}}{T_a}} \right) \right] \Delta\bar{t}_n. \quad (2)$$

Коэффициент расхода тепла теплоносителя определится из совместного решения приведенных выше уравнений:

$$y = 1 - (\Delta\varphi_a - \Delta\varphi_p) = 1 - \left[ \begin{array}{l} (\varphi_p - \varphi_a) + \varphi_a \left( 1 - e^{-\frac{\tau - \tau_{1a}}{T_a}} \right) \\ - \varphi_p \left( 1 - e^{-\frac{\tau - \tau_{1p}}{T_p}} \right) \end{array} \right] \Delta\bar{t}_n. \quad (3)$$

В том случае, когда здание, на которое ориентируется режим центрального регулирования, и рассматриваемое здание имеют стены одинаковой толщины, уравнение (3), необходимое для вычисления коэффициента расхода тепла, принимает вид:

$$y = 1 - \left[ (\varphi_p - \varphi_a) + (\varphi_a - \varphi_p) \left( 1 - e^{-\frac{\tau - \tau_{1p}}{T_p}} \right) \right] \Delta\bar{t}_n. \quad (4)$$

Таблица 1 – Коэффициенты расхода тепловой энергии в зданиях с различными соотношениями быстрых и медленных тепловых потерь при центральном регулировании теплоснабжения по текущему значению наружной температуры ( $\varphi_p = 0$ )

Время с начала нарушения режима, ч.	0	13,5	24	48	72	96	~	
Коэффициенты расхода тепла у при $y_a$ :	0,2	1,06	1,06	1,04	1,02	1,01	1,005	1,0
	0,5	1,15	1,15	1,11	1,05	1,02	1,01	1,0
	0,8	1,24	1,24	1,18	1,08	1,04	1,02	1,0

Относительное изменение температуры наружного воздуха принято равным  $0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ . При наружной температуре, равной  $-20^\circ$ , это соответствует абсолютному изменению указанной температуры на значение, равное:

$$\Delta t = 0,3(18 + 20) = 11,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Принято также, что наружная температура изменяется от более теплой к более холодной (расход тепла увеличивается) [2].

Из таблицы 1 видно, что после резкого понижения температуры наружного воздуха при центральном регулировании теплоты по текущему значению  $t_n$ , здания получают расход тепла больше нормы.

Наибольший перерасход тепла (коэффициент расхода  $y = 1,24$ ) оказался в зданиях с преобладающими медленными тепловыми потерями ( $\varphi_a = 0,8$ ).

При одинаковом соотношении быстрых (динамических) и медленных (статических или квазистатических) тепловых потерь ( $\varphi_a = \varphi_p$ ), но разной тепловой устойчивости стен, коэффициент расхода тепла может быть определен из следующего выражения:

$$y = 1 - \varphi_p \cdot \left[ e^{-\frac{\tau - \tau_{1p}}{T_p}} - e^{-\frac{\tau - \tau_{1a}}{T_a}} \right] \Delta\bar{t}_n. \quad (5)$$

Рассматриваемый режим теплоснабжения имеет предельный случай, когда время с начала нарушения режима  $\tau \rightarrow \infty$  и выполняется условие:

$$\lim e^{-\frac{\tau - \tau_{1p}}{T_p}} = 0$$

В этом случае коэффициент расхода тепла теплоносителя  $y = 0$ .

В таблице 1 приведены результаты расчетов, выполненных по формуле (5).

Принято, что центральное регулирование температуры отапливаемых помещений производится по текущему значению наружной температуры ( $\varphi_p = 0$ ).

При расчетах приняты следующие значения коэффициентов  $\varphi$  для рассматриваемых помещений:

$$\varphi_a = 0,2; 0,5; 0,8.$$

Толщина стен зданий принята равной 2,5 кирпича, что соответствует значениям временных параметров, приведенных в выражениях (1):

- 1) расчетное значение времени чистого запаздывания в стене:  $\tau_1 = 13,5$  ч;
- 2) расчетная постоянная времени наружного теплоемкого ограждения (стены):  $T = 33$  ч.

Максимальное отклонение в подаче тепла имеет место в начальный период после возмущения и сохраняется в течение времени, равного чистому запаздыванию в стене. В дальнейшем размер отклонения уменьшается по экспоненте и через трое суток с момента нарушения режима достигает  $1 - 4 \%$ .

**Литература:**

1 Чистович С.А. Автоматическое регулирование расхода тепла в системах теплоснабжения и отопления. – Л.: Стройиздат, 1975. –160 с.  
 2 Чистович С.А. Перспективы использования приборов энергосберегающей технологии в бивалентных и поливалентных системах теплоснабжения / С.А. Чистович, С.П. Петров. – Обзорная информация ЦНИИТЭИ приборостроения. – Вып. № 1. – М.: 1990. – 36 с.

УДК 681.2:681.586.624

Канд. техн. наук, Скопень В.Н.  
(ЗАО «ОРЛЭКС»)  
Россия, г. Орел, тел. (4862)419319

## РАСЧЕТ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ПРИБОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «ХЛОПАЮЩЕГО» ДИСКА

*In the present work an operation principle of the bimetallic device using a snap disc is examined. The application area and advantage of application of the given devices are considered. The design procedure of design elements is submitted. On the basis of the executed calculations the choice of the contact holder and snap disc is proved.*

### Введение

Акционерным обществом ЗАО «ОРЛЭКС» (Россия, г. Орел) освоена широкая номенклатура датчиков-реле температуры, предназначенных как для контроля, так и для регулирования и управления технологическими процессами на объектах тепло-, водо-, газораспределительных сетей, а также в системах автоматизации промышленных установок, испытательном оборудовании, холодильных и жарочных бытовых и промышленных установках и т.д.

Среди новой продукции, освоенной предприятием, особым рядом стоят биметаллические измерительные преобразователи, основанные на принципе тепловой деформации термочувствительных элементов. Широкое применение данных преобразователей обусловлено следующими причинами:

- широким диапазоном контролируемой температуры (от морозильных камер до жарочной техники);
- широкой областью использования;
- достаточно высоким быстродействием;
- хорошей стабильностью характеристик;
- приемлемым уровнем метрологических характеристик с обеспечением работоспособности в различных климатических условиях;
- высокой точностью срабатывания по регулируемой температуре;
- обеспечением необходимой зоны возврата (гистерезиса);
- удовлетворением современным санитарно-гигиеническим и экологическим требованиям;
- устойчивостью и прочностью к влиянию внешних дестабилизирующих факторов.

Действие биметаллического преобразователя с так называемой «хлопающей» мембраной основано на свойстве биметаллического диска практически мгновенно изменять направление прогиба при достижении определенной температуры. Диск в устройствах выполняет преобразование изменения температуры в перемещение. В рассматриваемых преобразователях используется релейный участок рабочей характеристики диска. Перемещение центра сферы диска передается непосредственно или через рычажную систему (контактодержатели, контакты, шток) устройству, формирующему выходной сигнал.

Изменение температуры диска, используемого в качестве чувствительного элемента, может осуществ-

ляться теплообменом окружающей контролируемой среды с диском, нагревом чувствительного элемента (диска) при прохождении через него электрического тока, а также одновременным действием на чувствительный элемент тепловых процессов окружающей среды и электрического тока.

У биметаллических преобразователей с использованием «хлопающих» мембран к основным элементам конструкции относят термобиметаллический хлопающий диск, упругие пружинные элементы, электрические контакты, элементы, передающие перемещение заданной точки диска электроконтактной группе, элементы настройки. В связи с вышеизложенным, при расчете преобразователей и выбранной измерительной схемы необходимо учитывать перечисленные элементы конструкции.

Задачей настоящего расчета является подтверждение аналитическим путем основных параметров биметаллических преобразователей при выбранной кинематической схеме и соотношении элементов конструкции.

Расчет выполнен в соответствии с кинематической схемой преобразователя, представленной на рис. 1, и контактодержателя, представленного на рис. 2.

Преобразователь состоит из колодки 1 с контактодержателями 2 и 3, стакана 4, в котором заключен биметаллический диск 5, поджатый с другой стороны кожухом 6, и винта настройки 7 преобразователя. Биметаллический диск 6 через толкатель 8 механически воздействует на контактодержатель 2.

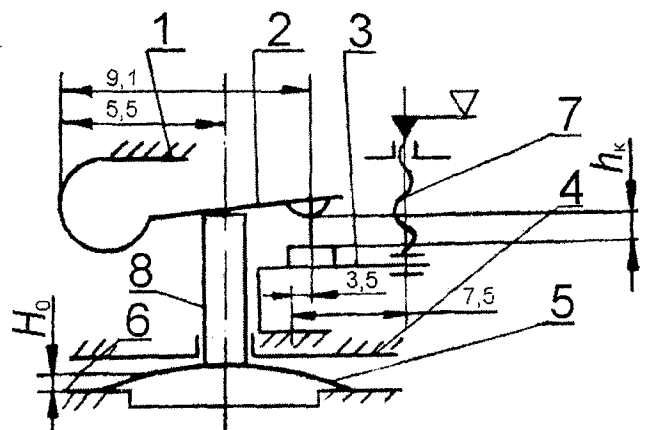


Рис. 1. Кинематическая схема преобразователя

**Расчет контактодержателя**

Расчет контактодержателя 2 (рис. 1) произведен по параметрам, представленным на рис. 2.

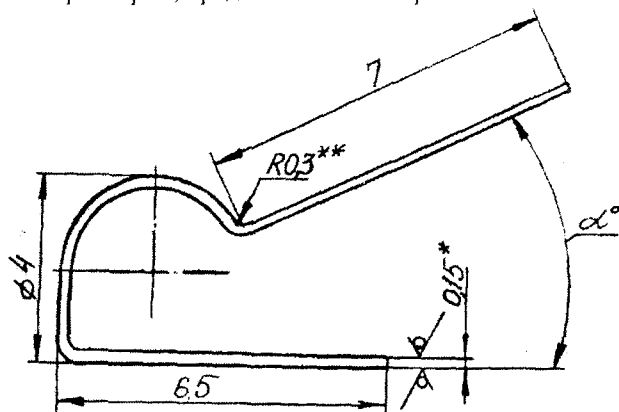


Рис. 2. Контактдержатель

Усилие контактного нажатия контактодержателя определено из выражения:

$$P_K = \frac{f_1 \cdot E \cdot b \cdot h^3}{4 \cdot l^3}, \quad (1)$$

где  $f_1$  – прогиб пружины по оси контакта при замкнутых контактах;

- $b$  – ширина контактодержателя,  $b = 3$  мм;
- $h$  – толщина контактодержателя,  $h = 0,15$  мм;
- $l$  – длина пружины до контакта,
- $l = \pi \cdot R + 5 = 3,14 \cdot 2 = 11,3$  мм;
- $E$  – модуль упругости, для бронзы БрБ2
- $E = 115000$  Н/мм<sup>2</sup>.

Расчет  $P_K$ , проведенный для прибора ТАБ–Т–3 при значениях угла  $\alpha = (30 \pm 5)^\circ$ ,  $\alpha = (15 \pm 2)^\circ$ ,  $\alpha = (15^{+5})^\circ$  (рис. 2) представлен в таблице 1.

Максимальное усилие по оси контакта при разомкнутых контактах контактодержателя определено по следующей формуле:

$$P_{MAX} = \frac{f_2 \cdot E \cdot b \cdot h^3}{4 \cdot l^3}. \quad (2)$$

Здесь  $f_2$  – прогиб пружины по оси контакта при разомкнутых контактах.

Прогиб пружины  $f_2$  определяется по формуле:

$$f_2 = f_1 + h_K, \quad (3)$$

где  $h_K$  – контактный зазор.

Контактный зазор регулируется при сборке и определяется по формуле:

$$h_K = n \cdot h_p \cdot \frac{l_3}{l_4}, \quad (4)$$

где  $h$  – шаг резьбы винта регулировки, для прибора ТАБ–Т–3  $h = 0,45$  мм;

- $n$  – число оборотов винта регулировки,  $n = 1,5$ ;
- $l_3/l_4$  – отношение плеч контактодержателя,  $l_3 = 3,5$  мм,  $l_4 = 7,5$  мм.

Приведенные исходные данные позволяют получить следующее значение контактного зазора:

$$h_K = 1,5 \cdot 0,45 \cdot \frac{7,5}{3,5} = 0,32 \text{ мм}$$

Усилие на диск при разомкнутых контактах контактодержателя определено из выражения:

$$P_{\text{диск}} = P_{MAX} \cdot \frac{l_1}{l_2}, \quad (5)$$

где  $l_1/l_2$  – отношение плеч контактодержателя,  $l_1 = 9,1$  мм,  $l_2 = 5,5$  мм.

Тогда, принимая во внимание формулы (2) – (5) получаем следующее выражение:

$$P_{\text{диск}} = \frac{\left[ \left( f_1 + n \cdot h_p \cdot \frac{l_3}{l_4} \right) \cdot E \cdot b \cdot h^3 \right]}{4 \cdot l^3} \cdot \frac{l_1}{l_2}. \quad (6)$$

Расчет усилия на диск, выполненный для прибора ТАБ–Т–3 при значениях угла  $\alpha = (30 \pm 5)^\circ$ ,  $\alpha = (15 \pm 2)^\circ$ ,  $\alpha = (15^{+5})^\circ$  (рис. 2) представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета контактодержателя биметаллического преобразователя для прибора ТАБ–Т–3

Угол, град.	Расчетный угол, град.	Усилие $P_K$ , гс		Усилие на диск $P_{\text{диск}}$ , гс	
		$h = 0,15$ мм	$h = 0,13$ мм	$h = 0,15$ мм	$h = 0,13$ мм
$30 \pm 5$	35	85	55	151	99
	30	73	47	131	86
	25	61	39	111	72
$15^{+5}$	20	48	32	90	59
	15	36	24	70	46
$15 \pm 2$	17	41	27	79	52
	13	31	21	63	41

Максимальное напряжение по оси контакта определено по формуле:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}}}{W} = \frac{6 \cdot P_{\text{max}} \cdot l}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot f_2 \cdot E \cdot h}{4 \cdot l^2}. \quad (7)$$

Максимальное напряжение по оси контакта возникает при наибольшем значении угла  $\alpha = 35^\circ$ .

$$\sigma_{\text{max}} = 93,4 \text{ кгс/мм}^2.$$

$$\sigma_{\text{max}} \leq [\sigma]_{\text{изг}} = 120 \text{ кгс/мм}^2,$$

где  $[\sigma]_{\text{изг}}$  – допустимое значение механического напряжения в контактодержателе.

**Расчет биметаллического диска**

Биметаллический диск является простым по конструкции, но очень сложным и трудоемким по технологии изготовления с необходимыми температурными и физико-механическими характеристиками, чувствительным элементом рассматриваемых преобразователей. На характеристики диска, обеспечивающие работоспособность, надежность, долговечность и циклопрочность преобразователей и приборов с его применением, влияет много факторов, которые необходимо учитывать при проектировании указанных приборов.

Температура биметаллических элементов при данных соотношениях сил определяет их деформацию, т.е. между температурой и деформацией существует однозначная зависимость. Поэтому для правильного проектирования биметаллических элементов, а также для определения их пригодности к эксплуатации очень важно знать закономерность изменения температуры устройства, которое предполагается защищать или регулировать при помощи биметаллического элемента.

При проектировании диска к основным исходным данным следует относить следующие характеристики: рабочие и предельные температуры, возникающие при эксплуатации и хранении прибора, величину релейного участка рабочей характеристики диска, условия окружающей среды, при которых диск эксплуатируется, нагрузку на диск. При малых размерах и простоте конструкции биметаллические диски развивают довольно большие усилия и не требуют закрепления.

Расчет биметаллического диска произведен согласно рекомендациям работ [1, 2].

Номограмма, представленная на рис. 3, связывает зону нечувствительности ( $\Delta t$ , °C) диска, перемещение центра сферы диска ( $h$ , мм), толщину слоя диска ( $\delta/2$ , мм) и диаметр диска ( $D$ , мм).

Например, для прибора ТАБ-Т-3, зона нечувствительности  $\Delta t = 24$  °C, толщина диска из материала R80 фирмы «ИМФИ» (Франция),  $\delta = 0,2$  мм, диаметр диска принимаем  $D = 14$  мм (из конструктивных соображений). По номограмме рис. 3 определяем перемещение центра сферы диска, для чего проводим прямую между точками диаметра диска  $D = 14$  мм и толщиной слоя диска  $\delta/2 = 0,1$  мм до пересечения с опорной линией. Далее проводим прямую от опорной линии до зоны нечувствительности  $\Delta t = 24$  °C. Пересечение данной линии со шкалой  $h$  определяет перемещение центра сферы диска, равное 3,1 мм. Из конструктивных соображений принимаем  $h_0 = 3$  мм.

Действующая сила  $P$  от прогиба диска, вызванного изменением температуры, определяется по следующей формуле:

$$P = E \cdot k \cdot \delta^2 \cdot \Delta T, \quad (8)$$

где  $E$  – модуль упругости, для термобиметаллического материала R80  $E = 166000$  Н/мм<sup>2</sup>;

$k$  – удельный изгиб, для термобиметаллического материала R80  $k = 14,3 \cdot 10^{-6}$  °C<sup>-1</sup>.

Так как в биметаллических дисках возникают относительно большие механические напряжения, а величина перемещения (прогиба) между критиче-

скими положениями биметаллического диска относительно мала, необходимо проводить проверку при расчетах возникающих напряжений в биметаллических дисках.

Максимальное напряжение  $\sigma_{max}$  в биметаллическом диске определяется по формуле:

$$\sigma_{max} = \frac{3P}{2\delta^2} = \frac{3 \cdot E \cdot k \cdot \delta^2 \cdot \Delta T}{2\delta^2} = \frac{3 \cdot E \cdot k \cdot \Delta T}{2} \quad (9)$$

При этом должно обеспечиваться условие:

$$\sigma_{max} < [\sigma_{max}],$$

где  $[\sigma_{max}]$  – допустимые напряжения в диске,  $[\sigma_{max}] = 200$  Н/мм<sup>2</sup>.

В результате расчета получено следующее значение напряжения  $\sigma_{max}$  в биметаллическом диске:

$$\sigma_{max} = \frac{3 \cdot 166000 \cdot 14,3 \cdot 10^{-6} \cdot 24}{2} = 85,5 \text{ (Н/мм}^2\text{)}$$

$$85 \text{ Н/мм}^2 < 200 \text{ Н/мм}^2.$$

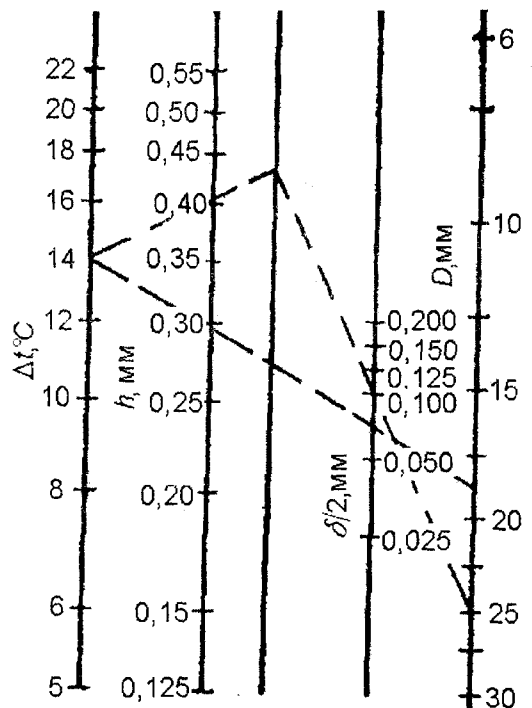


Рис. 3. Номограмма зависимостей  $\Delta T$ ,  $h$ ,  $\delta/2$ ,  $D$

Надежная конструкция, малые габариты, большой диапазон коммутируемых токов, а также ряд других преимуществ биметаллических преобразователей позволяет использовать их в различных контрольно-измерительных приборах и системах.

**Литература:**

1 Тимошенко К.Д. Приборы контроля и регулирования температуры с биметаллическим диском / К.Д. Тимошенко, В.Н. Минаев, С.Я. Гордиенко. – М.: Машиностроение, 1982. – 112 с.

2 Heary Michael F. An Investigation of awitching Stresses in bimetal disks / Michael F. Heary, Louis F. It. Coffin. – Int. G. Mech. Sel, 1972. – V. 14. – № 6. – 343-358.

## ТЕХНОЛОГИЯ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

УДК 621.923.4

Канд. техн. наук Василенко Ю.В., канд. техн. наук Подзолков М.Г., асп. Воронков А.В.  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862)419877; E-mail: [admin@mail.ostu.ru](mailto:admin@mail.ostu.ru)

## РАЗРАБОТКА СБОРНОГО ПРОДОЛЬНО-ПРЕРЫВИСТОГО ИНСТРУМЕНТА С АКСИАЛЬНО-СМЕЩЕННЫМ РЕЖУЩИМ СЛОЕМ ДЛЯ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ

*In this article description of principle of work and construction of longitudinally-irregular abrasive circle is resulted with the axial-displaced cutting layer for the flat polishing.*

Эксплуатационные показатели машин и механизмов определяются качеством поверхностного слоя деталей, формируемым на финишных отделочных операциях. В связи с этим происходит постоянный рост требований к производственным технологиям, оборудованию и инструменту.

В подавляющем большинстве случаев окончательное формирование поверхностного слоя деталей осуществляется на отделочных операциях с применением абразивного инструмента. Объем шлифовальных работ постоянно возрастает, что подчеркивает постоянную динамику развития данного вида механической обработки. Абразивная обработка отличается большим многообразием способов реализации, и охватывает широкий диапазон скоростей резания и съема припуска.

Среди различных способов шлифования, обеспечивающих выполнение высоких требований к качеству, точности формы и размеров обработанных поверхностей, важное место занимает наружное шлифование. В настоящее время наблюдается непрерывный рост в разработке новых конструкций шлифовальных станков в ведущих странах Европы. Однако, замена отечественного станочного парка шлифовального оборудования новым, работающим на высоких скоростях резания, имеющим встроенные системы активного контроля состояния технологической системы и удовлетворяющим самым высоким современным требованиям, требует значительных материальных затрат и в ближайшее время эта задача является труднореализуемой, исходя из экономических соображений.

В сложившихся условиях развития отечественного машиностроения наиболее перспективными направлениями являются разработка и проектирование новых конструкций шлифовальных кругов, процессов шлифования, совершенствование известных методов и способов абразивной обработки, создание новых схем срезания припуска.

Одним из перспективных направлений в сложившейся ситуации является совершенствование и разработка шлифовальных кругов, работающих с прерыванием зоны резания [1]. Использование такого инструмента обеспечивает снижение шероховатости обрабо-

танной поверхности, теллонапряженности процесса шлифования, что позволяет интенсифицировать режимы обработки и повысить производительность [2]. Однако прерывание зоны резания в традиционном, поперечном направлении сопровождается значительным усложнением конструкции инструмента, ударным характером процесса шлифования, повышенным уровнем вибраций технологической системы.

В этой связи одним из эффективных направлений повышения точности и качества обработанной поверхности является применение технологий, основанных на локализации взаимодействия абразивного инструмента и заготовки с обеспечением осцилляции зоны резания [3]. Локальность контакта обеспечивает снижение силы резания и трения, что приводит к снижению температуры в зоне резания и к увеличению стойкости инструмента. Осцилляция, в свою очередь, обуславливает улучшение самозатачиваемости и уменьшение «засаливаемости» рабочей поверхности абразивного инструмента, а также снижает вероятность появления структурно-фазовых изменений в поверхностном слое.

Осцилляция зоны резания может быть достигнута не только применением дополнительного привода шпинделя с кругом или заготовки, но и за счет перераспределения части функций от оборудования к инструменту, что может быть обеспечено за счет установки инструмента под углом к оси его вращения, специальной геометрией поверхности абразивного инструмента [3].

При этом изменяется схема снятия припуска: абразивные зерна, расположенные на торцевых поверхностях, снимают припуск по генераторной схеме (наподобие шнека), а в центральной части – по профильной. Кроме того, абразивные зерна каждого последующего сечения активного профиля инструмента смещены в пространстве относительно предыдущего, то есть обработка ведется «не по следу». Механизм формирования поверхности кругом с локальным бегущим контактом описывается следующим образом.

Ширина и площадь обработки увеличивается за счет установки абразивных дисков под углом, а также за счет того, что абразивные диски расположены



на определенном расстоянии друг от друга, но при этом процесс резания не прерывается, зона резания предыдущего диска перекрывается зоной резания следующего за ним.

Рабочая часть круга с локальным бегущим контактом имеет три характерных участка: два режущих участка, расположенных на торцах круга и центральный – калибрующий, обеспечивающий окончательное формирование шероховатости и геометрической точности обрабатываемой поверхности.

Абразивные зерна, расположенные в области, прилегающей к передней кромке, или задней кромке рабочих торцов абразивных дисков, воспринимают основную нагрузку при снятии припуска, что обуславливает более интенсивное их выкрашивание из связки. По мере износа круга происходит формирование профиля: на периферийных участках, граничащих с торцами круга, образуются рабочие поверхности, имеющие некоторый угол «атаки» к плоскости резания, т.е. происходит формирование заборного конуса. Угол атаки заборного конуса  $\alpha_1$  зависит от глубины шлифования, свойств обрабатываемого материала и угла наклона круга. Как правило, протяженность заборного конуса составляет не более 20 % ширины абразивного диска. Схема профиля периферийной режущей части шлифовального круга с локальным бегущим контактом показана на рис. 1.

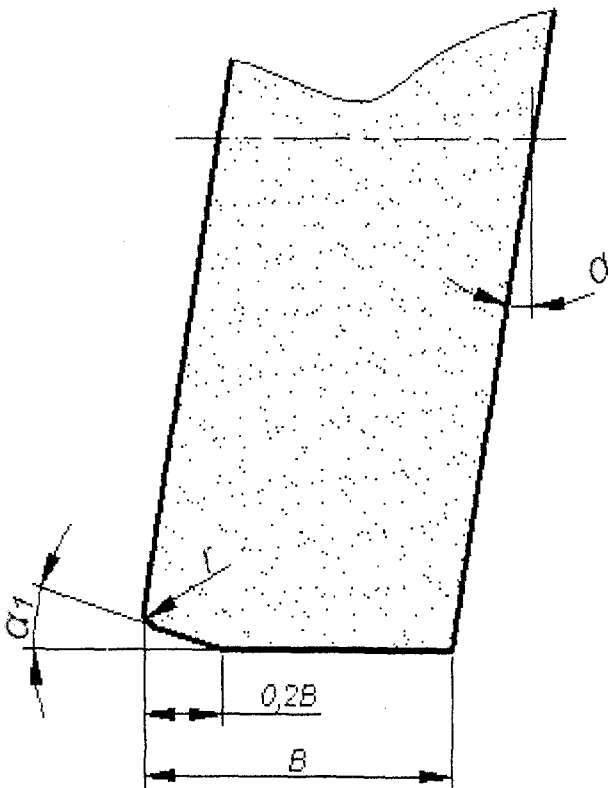


Рис. 1. Профиль периферийной режущей части шлифовального круга с локальным бегущим контактом

На торцевых участках шлифовального круга в процессе его приработки происходит скругление профиля. Радиус скругления составляет не более 2 мм. Переход радиального участка в прямолинейный

на периферии абразивного диска является границей между режущей и калибрующей частями круга.

После полного формирования профиля (аналогично приработке пар трения) условия резания кругом сохраняются стабильными.

Принципиальная кинематическая схема плоского шлифования кругами с локальным контактом основана на сочетании равномерного движения инструмента, совершаемого в плоскости, перпендикулярной к оси шлифовального круга, продольных и поперечных перемещений заготовки, а также осциллирующего возвратно-поступательного движения режущего слоя круга, реализуемого конструктивно за счет установки абразивных дисков под углом  $\alpha$ .

В результате этого траекторией относительного рабочего движения периферийных режущих зерен шлифовального круга с локальным контактом является удлиненная циклоида (трохоида), изображенная на рис. 2 (для наглядности трохоида растянута в направлении вращения заготовки). Высота синусоидальной трохоида равна диаметру шлифовального круга, а расстояние между ее петлями равно пути, проходимому заготовкой за один оборот инструмента [4].

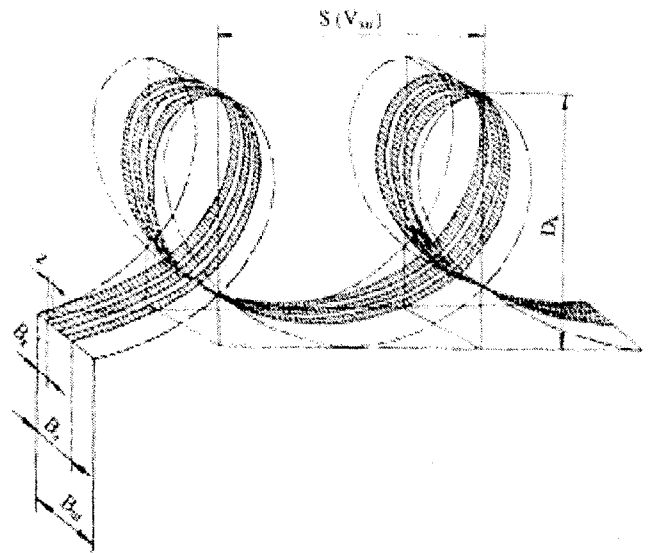


Рис. 2. Траектория относительного рабочего движения периферийных режущих зерен (удлиненная циклоида)

В Орловском государственном техническом университете (ОрелГТУ) в рамках ведомственной научной программы Федерального агентства по образованию «Развитие научного потенциала высшей школы» (2005 г.) был выполнен проект на тему «Совершенствование технологии и технологического оснащения обработки прецизионных деталей путем использования высокоэффективного шлифования с локальным контактом». Одним из результатов проекта стала разработка конструкции сборного продольно-прерывистого абразивного инструмента с аксиально-смещенным режущим слоем.

На рис. 3 показана 3-х мерная модель инструмента, на рис. 4 – фотография инструмента. На рис. 5 показан сборочный эскиз разработанного инструмента.

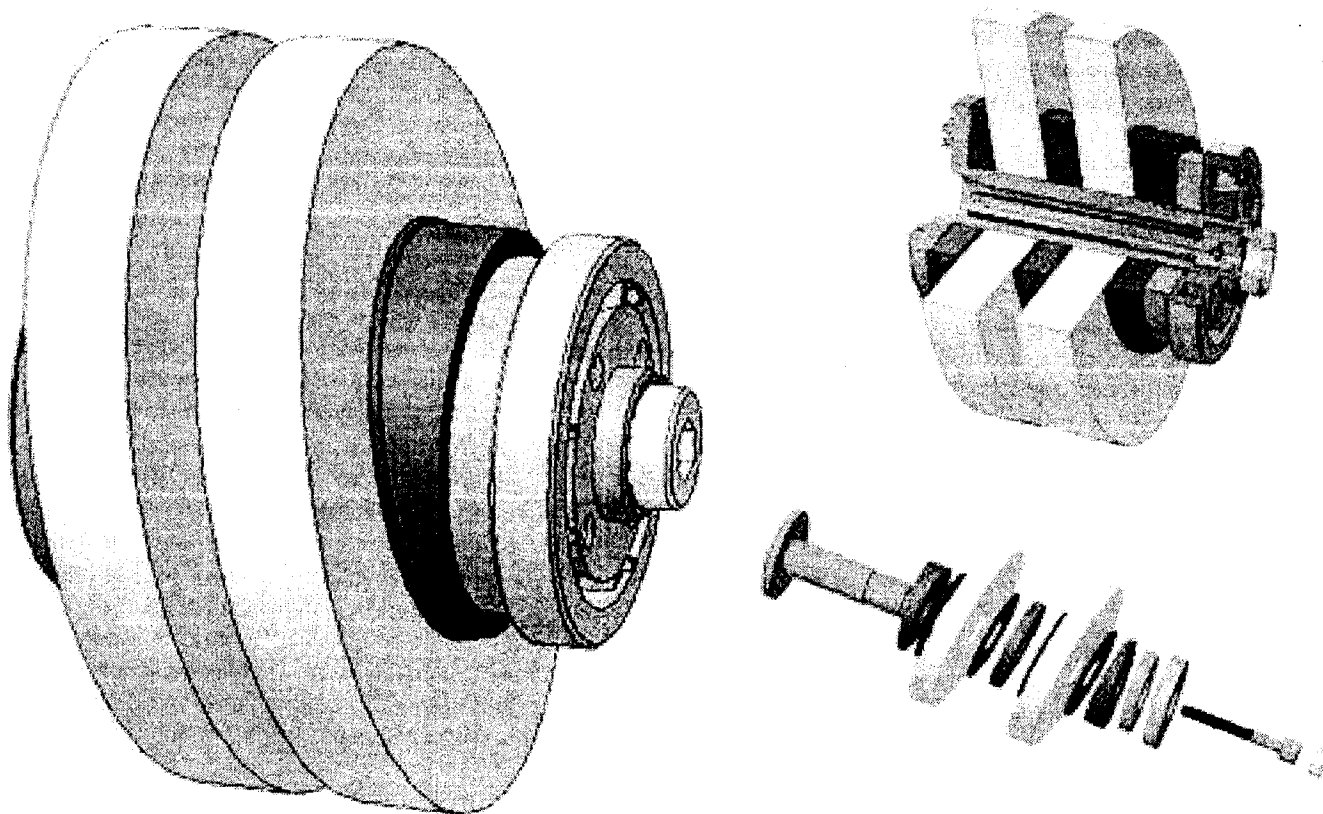


Рис. 3. Трехмерная модель спроектированного продольно-прерывистого плоскошлифовального круга с аксиально-смещенным режущим слоем

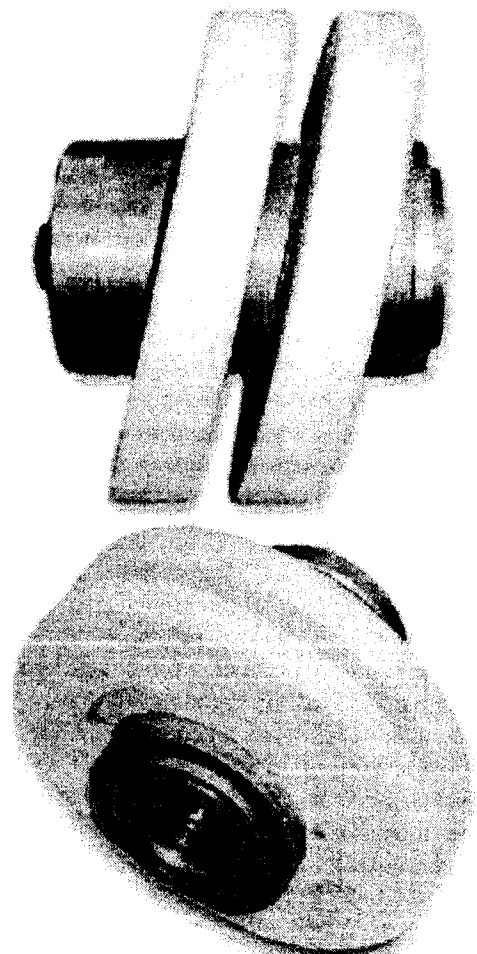


Рис. 4. Продольно-прерывистый шлифовальный круг с локальным безущим контактом

Предложенный режущий инструмент состоит из оправки 1, на которую последовательно устанавливают косую шайбу 4, абразивный круг 11, наклонную шайбу 5, второй абразивный круг 11 и еще одну косую шайбу 4, затем плоскую шайбу 8 и резьбовой прижим 2, как показано на рис. 5. Для установки режущего инструмента на шпинделе плоскошлифовального станка, оправка выполнена полый со стандартным коническим посадочным отверстием. Для закрепления режущего инструмента предназначен винт 6. Предотвращение отвинчивания винта 6 в процессе работы технологического оборудования обеспечивается пробкой 7, имеющей с винтом 6 противоположную резьбу.

С целью предотвращения царапания косых шайб 4 и 5 о поверхность шлифовального круга и обеспечения надежного закрепления наклонных кругов 11, в конструкции инструмента применены уплотнительные кольца 9 из винилискожи (рис. 5).

Для устранения дисбаланса инструмента применяются 4 специальных балансировочных элемента – шпонки 3, закрепляемых в специальных трапециевидных пазах прижима 2 посредством винтов 10.

Угол наклона кругов изначально принят равным  $10^\circ$ , однако, при необходимости, на оправку возможна установка кругов с другим наклоном. Это потребует применения соответствующих косых шайб 4 с требуемым углом наклона и промежуточных шайб 5.

Разработанный абразивный инструмент может применяться на традиционном шлифовальном оборудовании (плоскошлифовальные станки 3Е710В, 3Е711ВФ1).

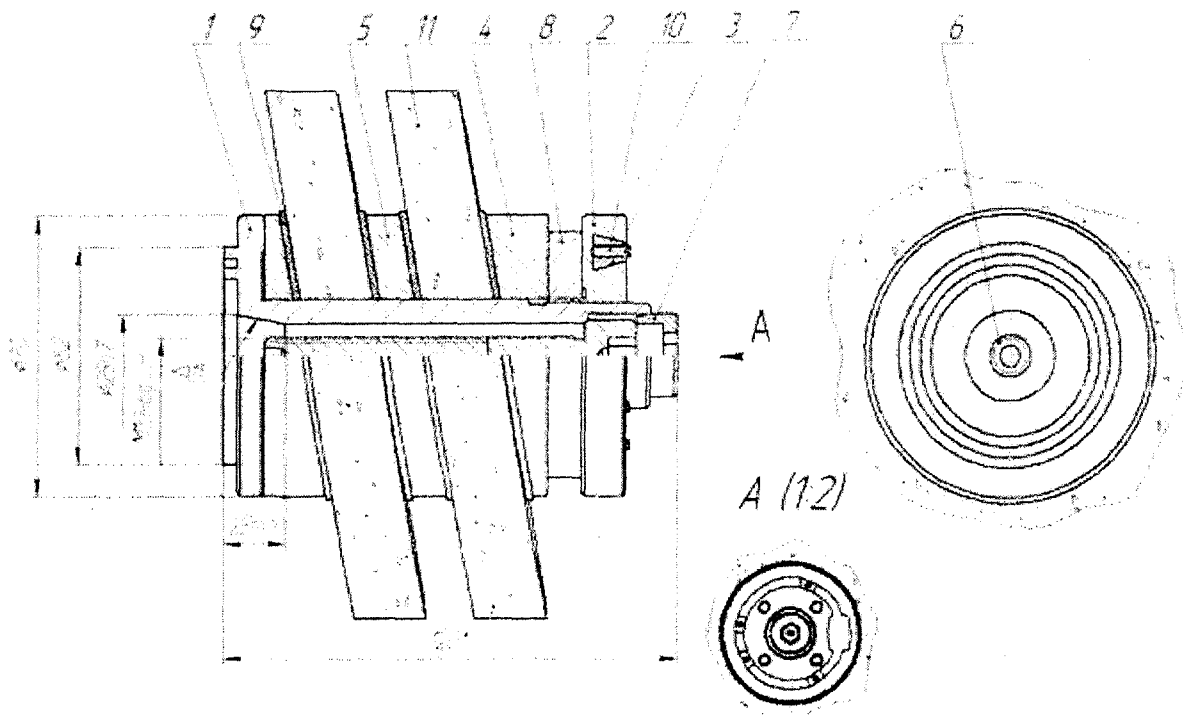


Рис. 5. Сборочный эскиз спроектированного плоскошлифовального круга с локальным бегущим контактом

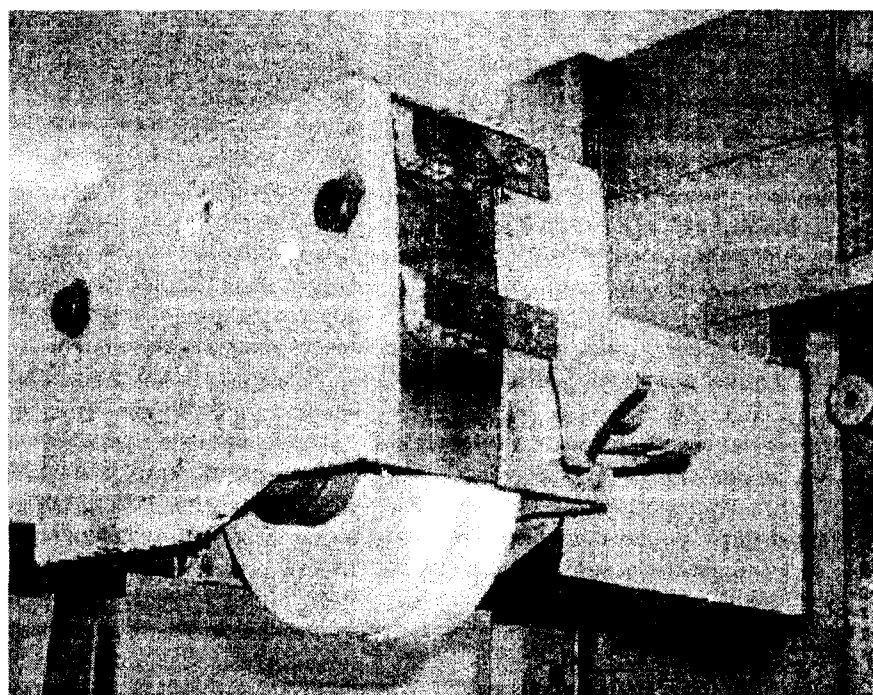


Рис. 6. Плоскошлифовальный круг с локальным бегущим контактом, установленный на шлифовальном станке модели 3Е710В

На рис. 6 показана фотография плоскошлифовального круга с локальным бегущим контактом, установленного на станке модели 3Е710В.

Разработанный инструмент позволяет решить актуальную научно-техническую задачу повышения эффективности процесса плоского шлифования путем применения продольно-прерывистых кругов с аксиально-смещенным режущим слоем на традиционном плоскошлифовальном оборудовании, что обеспечит повышение производительности обработки на 15-20 %.

**Литература:**

1 Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.  
 2 Ермаков Ю.М. Современные тенденции развития абразивной обработки / Ю.М. Ермаков, Ю.С. Степанов. – М. ВНИИТЭМР, 1991. – 52 с.  
 3 Степанов Ю.С. Кинематика процесса шлифования наклонными кругами / Ю.С. Степанов, Е.Т. Кобяков, М.Г. Подзолков // Справочник. Инженерный журнал. – М., 2003. – №6. – С. 60-64.  
 4 Подзолков М.Г. Формирование сетки следов на шлифуемой поверхности. // СТИН, 2005. – №7. – С. 29-32.

## ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

УДК 621.99

Канд. техн. наук Афонин А.Н.  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862)555524; E-mail: af@au.ru

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ РЕЗЬБОНАКАТЫВАНИИ

*In article modern ways of research of the stress condition are described at local plastic deformation. The technique regression mathematical modeling of fields of stress and deformations is resulted at thread rolling, based on computing experiment with use of a finite elements analysis.*

Методы бесстружечной обработки материалов пластическим деформированием являются одними из наиболее перспективных способов формообразования, существенно превосходя обработку резанием по производительности и качеству получаемых изделий. Однако их дальнейшее распространение в производстве требует развития теории пластической деформации, позволяющей исследовать поля напряжений и деформаций в обрабатываемых телах и определять наиболее рациональные схемы деформирования.

В науке и технике принято разделять пластическую деформацию твердых тел на объемную и поверхностную. При объемной пластической деформации происходит деформирование большей части объема тела (за исключением так называемых жестких зон). При этом изменение формы и размеров деформируемого тела достигает существенной величины. При поверхностном пластическом деформировании (ППД) деформированию подвергается только тонкий поверхностный слой тела. Изменение формы и размеров при этом практически отсутствует (как правило, оно не превышает 0,1 мм). Исследованию полей напряжений и деформаций при различных способах объемного и поверхностного пластического деформирования посвящено значительное количество научных работ, в частности [4, 5, 7], что свидетельствует о достаточной развитости теории данных процессов.

Однако, существует ряд переходных процессов, которые невозможно отнести ни к объемному, ни к поверхностному пластическому деформированию. В данных процессах пластической деформации подвергается лишь поверхностный слой деформируемого тела, однако, при этом имеет место существенное изменение его формы путем образования на поверхности тела периодически повторяющихся или единичных выступов и впадин. Величина изменения размеров при этом, как минимум, на один порядок больше, чем при процессах, относящихся к поверхностной пластической деформации, и при дальнейшем внедрении индентора локальная пластическая деформация переходит в объемную. К подобным процессам, в частности, можно отнести такой распространенный в промышленности технологический процесс, как резь-

бонакатывание. Развитая теория локальной пластической деформации при накатывании резьб в настоящее время отсутствует. Причиной этого является то, что локальная пластическая деформация при резьбонакатывании носит сложный, объемный характер. В то же время, повышение требований к эксплуатационным характеристикам деталей машин требует накатывания резьб на заготовках из труднообрабатываемых или предварительно упрочненных материалов, что невозможно без совершенствования технологии и конструкции резьбонакатного инструмента, основанного на исследовании напряженно-деформированного состояния инструмента и заготовки. Поскольку экспериментальные исследования локальной пластической деформации при резьбонакатывании весьма трудоемки и дорогостоящи, приоритет принадлежат, в основном, теоретическим методам исследований.

В настоящее время разработан ряд методик, позволяющих теоретически рассчитывать напряжения и деформации при пластическом деформировании. К ним относятся методы точного и приближенного решения уравнений теории пластичности, линий скольжения, верхней оценки, сопротивления материалов пластическому деформированию, функции тока, вариационные методы, метод конечных элементов и т.д.

Точное значение напряжений и деформаций по объему тела может быть получено на основе теории пластичности путем совместного решения системы уравнений равновесия пластически деформируемого тела, уравнения пластичности, уравнений связи между напряжениями и деформациями и уравнений неразрывности деформаций. Точное аналитическое решение подобной системы в настоящее время не найдено даже для простейших случаев.

Для практических конструкторских расчетов напряженно-деформированного состояния заготовки при различных видах обработки пластическим деформированием прибегают к приближенному решению уравнений теории пластичности, для чего вводят многочисленные упрощения физического и математического характера (сводят объемное напряженно-деформированное состояние к плоскому, разбивают очаг деформации на части, отбрасывают при интегри-

ровании некоторые члены ввиду их малости и т.д.). Применение подобных методов позволило получить достаточно универсальные решения, хорошо сходящиеся с результатами экспериментальных исследований, лишь для некоторых наиболее простых видов обработки давлением, например для асимметричного прессования [4]. Для более сложных способов, ввиду необходимости введения большого количества упрощений, удастся получить решения, удовлетворительные лишь для некоторых, конкретных случаев обработки. Однако достоинством данного метода является то, что он позволяет получить формулы в квадратурах, наглядно характеризующие сущность процесса.

Для исследования напряженно-деформированного состояния заготовки при накатывании резьб в настоящее время наибольшее применение нашел метод линий скольжения [3, 5, 6, 7, 9]. Существенным недостатком данного способа является то, что он позволяет определять только контактные давления и не имеет возможности выявить распределение напряжений и деформаций по всему объему тела. Кроме того, данный метод является приближенным. Применительно к резьбонакатыванию использование данного метода требует сведения сложного объемного напряженно-деформированного состояния к плоскому (внедрение пуансона в полуплоскость). Сравнение формул [6, 9], полученных различными исследователями методом линий скольжения для расчета сил деформации при накатывании резьб, показывает, что вычисленные по ним силы могут отличаться в 1,5...2 раза и более. Этот факт свидетельствует о том, что общая теория локальной пластической деформации при резьбонакатывании в настоящее время отсутствует, и полученные формулы справедливы только для конкретных случаев, рассматривавшихся каждым исследователем.

В последнее время, в связи с развитием вычислительной техники, широкое применение для расчета напряженно-деформированного состояния тел нашел метод конечных элементов (МКЭ) [1, 8], разработанный на основе матричных методов расчета механических конструкций. Идея МКЭ состоит в том, что любую непрерывную величину можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе областей. Кусочно-непрерывные функции определяются с помощью значений непрерывной величины в конечном числе точек рассматриваемой области. Аппроксимирующие функции могут быть как линейными (для конечных элементов первого порядка), так и нелинейными (для конечных элементов более высоких порядков).

При расчете с помощью МКЭ тело разбивается на простые по форме составные части, называемые конечными элементами и имеющие ограниченное число степеней свободы. Конечные элементы соединены между собой в отдельных точках – узлах, куда прикладываются фиктивные силы, эквивалентные поверхностным напряжениям, распределенным по границам элементов. Параметры приведенной идеализированной системы определяются из соответствующих вариационных решений.

Наиболее важными преимуществами МКЭ, благодаря которым он может быть использован для исследования полей напряжений и деформаций при резьбонакатывании, являются следующие:

1 Свойства материалов смежных элементов могут быть различными. Это позволяет применять метод к телам, составленным из нескольких материалов. В частности, при моделировании резьбонакатывания МКЭ позволяет одновременно определять поля напряжений в инструменте, материал которого является упругим, и в заготовке, материал которой обладает упруго-пластическими свойствами.

2 Криволинейная область может быть аппроксимирована с помощью прямолинейных элементов или описана точно с помощью криволинейных элементов. Это позволяет моделировать контактное взаимодействие при резьбонакатывании инструментов и заготовок, имеющих сложные геометрические формы.

3 Размеры элементов могут быть переменными. Это позволяет укрупнить или измельчить сеть разбиения области на элементы, что является важным при исследовании области локальной деформации.

В настоящее время создано множество программных продуктов для ПЭВМ, реализующих МКЭ. Из них наибольшую известность получили универсальные системы инженерного анализа: ANSYS, MSC.NASTRAN, ABAQUS и др. Однако возможности данных программ при исследовании локальной пластической деформации ограничены. Причиной этого является сильное искажение формы конечных элементов в деформируемой области заготовки, ведущее к снижению точности расчетов. Решением этой проблемы является применение специализированных программных пакетов, имеющих функции «ремэшинга», т.е. переразбиения конечноэлементной модели после каждого шага нагружения, позволяющего исправлять форму деформированных элементов. К таким программным продуктам относятся LS-DYNA, MSC.SuperForm, DEFORM 3D и др.

МКЭ, несомненно, является одним из наиболее перспективных способов исследования пластической деформации при резьбонакатывании [2]. Однако он обладает рядом недостатков, свойственных всем численным методам. В частности, при решении существенно нелинейных задач он требует обязательной экспериментальной проверки надежности полученных результатов.

Одним из наиболее существенных недостатков МКЭ как численного метода является то, что он позволяет получать лишь частные решения для конкретных условий деформации [1]. В то же время, для определения рациональной схемы деформации при резьбонакатывании необходимо выявить закономерности влияния параметров процесса накатывания (геометрии контактирующих тел, текущих и накопленных радиальных обжатий, механических свойств материала заготовки) на поля напряжений и деформаций в инструменте и заготовке.

Решить данную проблему можно с помощью построения регрессионных математических моделей напряжений и деформаций в инструменте и заготовке

при резбонакатывании. Регрессионное моделирование позволяет исследовать характер влияния на исследуемую величину независимых переменных при наличии массива экспериментальных данных путем нахождения уравнения приближенной регрессии (как правило, в виде полинома). Нахождение коэффициентов регрессионного полинома производится, как правило, методом наименьших квадратов. При регрессионном моделировании на ПЭВМ целесообразно использовать специализированные программные пакеты, например *Statistica*. Для получения массива экспериментальных данных необходимо провести спланированный вычислительный эксперимент по моделированию технологического процесса накатывания резьб с помощью МКЭ, варьируя основные параметры процесса: механические характеристики материала заготовки, геометрию контактирующих тел, текущие и накопленные радиальные обжатия в диапазоне, установленном планом эксперимента. Замена натурального эксперимента вычислительным позволит значительно снизить трудоемкость и стоимость исследований. Адекватность результатов вычислительного эксперимента в некоторых характерных точках факторного пространства необходимо проверить натурными экспериментами по накатыванию резьб и, при необходимости, скорректировать полученные регрессионные математические модели.

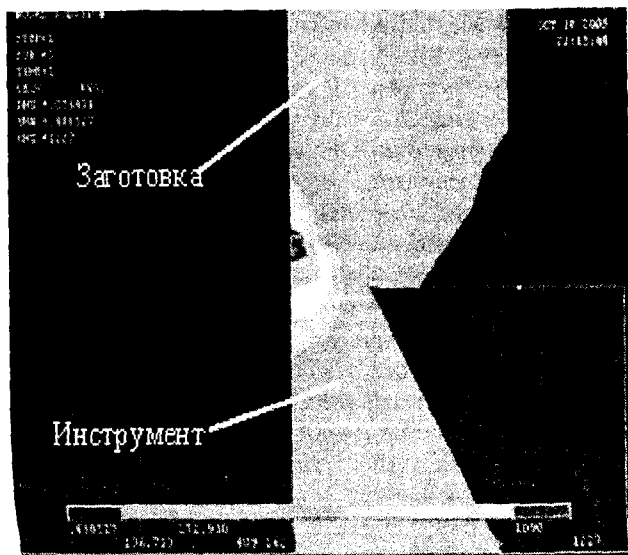
Простейшим примером подобных моделей являются математические модели распределения напряжений по глубине при накатывании метрических резьб. Результаты расчета полей эквивалентных напряжений с помощью МКЭ при величине накопленного радиального обжатия 0,05 и 0,2 мм приведены на рис. 1 (материал заготовки – сталь 45 ГОСТ 1050-92, шаг резьбы – 2 мм). По результатам вычислительного эксперимента получена регрессионная математическая модель распределения эквивалентных напряжений в инструменте (1) и заготовке (2) по глубине  $H$ , соответственно, в выступе и во впадине в зависимости от радиального обжатия  $h$  (при варьировании его в пределах 0,05...0,25 мм).

$$\sigma = 643,4 - 800,2H + 336,5H^2 + 5931,8h - 41481,5h^2 + 81007,7h^3 \quad (1)$$

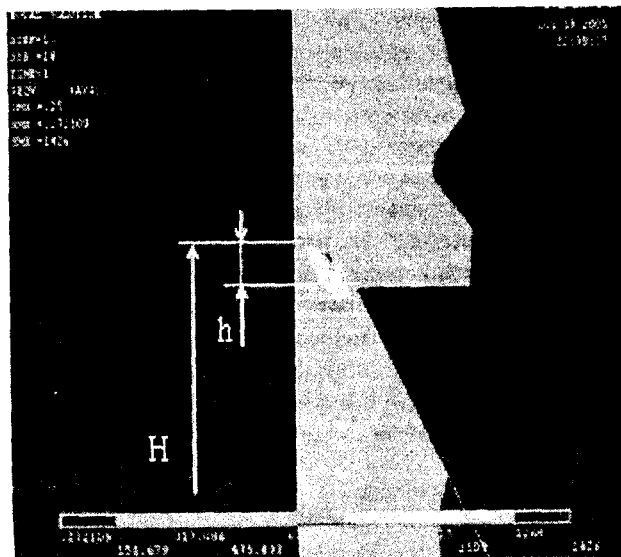
$$\sigma = 908,1 + 117,3h - 659,2H + 13,3H^2 - 452,1h^3 \quad (2)$$

Графики зависимости эквивалентных напряжений в инструменте и заготовке при накатывании метрической резьбы шагом 2 мм от накопленного радиального обжатия и глубины рассматриваемого слоя, полученные при расчете по формулам (1) и (2) соответственно, приведены на рис. 2.

Из данных зависимостей, в частности, можно сделать вывод о том, что вершина витка инструмента является максимально нагруженной только в начальный момент внедрения его в заготовку. При увеличении радиального обжатия максимум напряжений в инструменте смещается в направлении боковой стороны профиля. Данная закономерность является важной при выборе технологии изготовления резбонакатного инструмента. Резбонакатные ролики с накатанным профилем резьбы часто имеют на вершинах профиля дефект в виде складки (закат). Устранение данного дефекта вызывает серьезные технологические трудности и во многих случаях устранить его полностью невозможно. В то же время, себестоимость изготовления резбонакатных роликов со шлифованным профилем резьбы, не имеющим подобных дефектов, приблизительно в 1,5 раза выше себестоимости изготовления роликов с накатанной резьбой. Тот факт, что вершина витка резьбы инструмента не является наиболее нагруженной его частью, свидетельствует о том, что во многих случаях (при накатывании пластичных материалов) следы закатов на вершинах витков резьбы роликов могут быть допущены, что, в свою очередь, существенно снизит себестоимость их изготовления.



$h = 0,05 \text{ мм}$



$h = 0,20 \text{ мм}$

Рис. 1. Эквивалентные напряжения в инструменте и заготовке при накатывании метрической резьбы

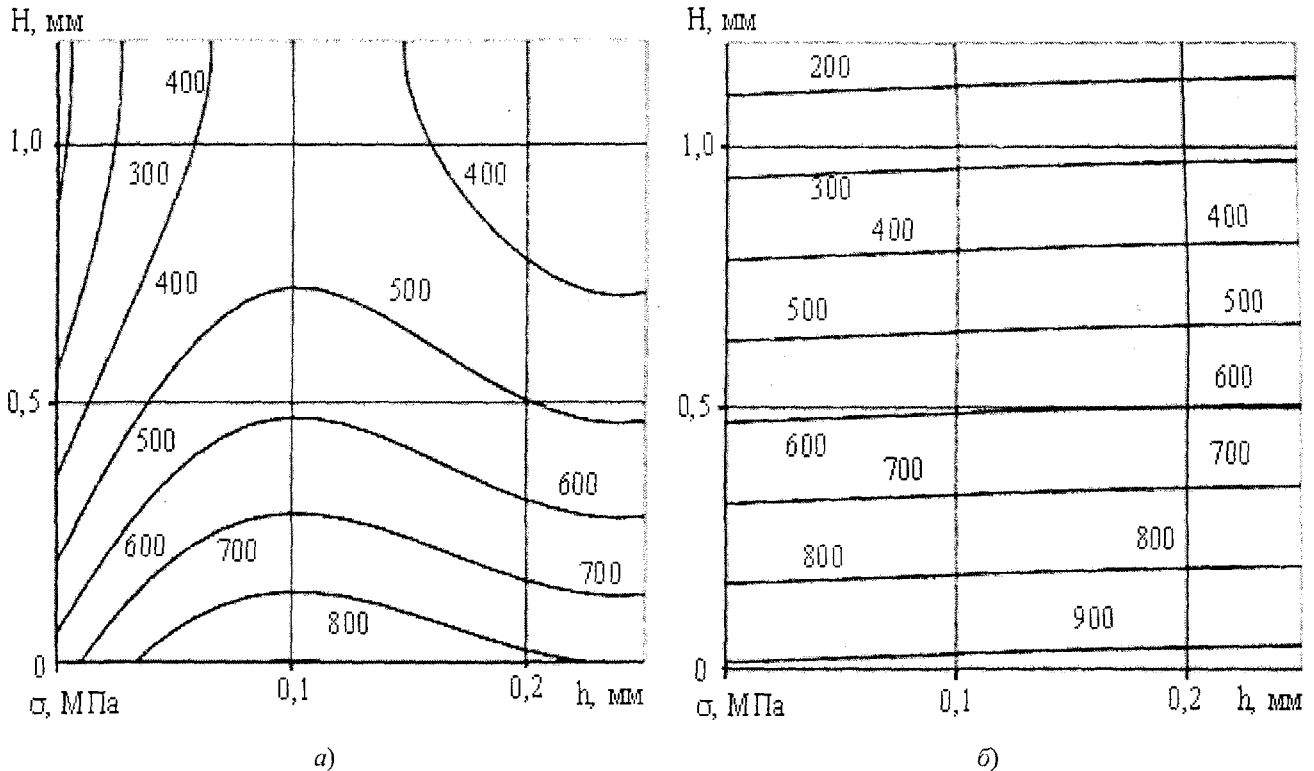


Рис. 2. Зависимость распределения эквивалентных напряжений по глубине от накопленного радиального обжатия при накатывании метрических резьб: а – инструмент; б – заготовка

Для заготовки следует отметить то, что радиальное обжатие не оказывает существенного влияния на распределение напряжений по глубине во впадине нарезаемой резьбы

Подобные математические модели целесообразно построить для всех наиболее распространенных типов резьб: метрических, трапецидальных, круглых и т.д. На основании регрессионных математических моделей напряженно-деформированного состояния предполагается создать методику определения рациональной схемы деформации при резьбонакатывании, дающую возможность:

а) проектировать рациональный профиль заборной части резьбонакатных роликов, плоских плашек и других резьбонакатных инструментов, обеспечивающий равномерную нагруженность витков резьбы инструмента на всех этапах резьбонакатывания и уменьшение максимальных сил деформации;

б) рассчитывать рациональный закон подачи, обеспечивающий снижение сил деформирования и повышение качества накатываемой резьбы при накатывании с радиальной подачей;

в) определять рациональную геометрию комплектов режущих инструментов при многопроходном накатывании резьб;

г) определять рациональные размеры предварительно прорезанной на заготовке винтовой канавки.

Результаты исследований позволят использовать накатывание для получения резьб на заготовках из труднообрабатываемых и предварительно упрочненных материалов, а также крупных резьб.

Исследования проводятся при поддержке гранта президента Российской Федерации МК-2575.2005.8.

**Литература:**

- 1 Воронцов А.Л. Сопоставление применения метода конечных элементов и аналитических методов решения задач обработки давлением // Вестник машиностроения. – М., 2003. – №4. – С.67-71.
- 2 Киричек А.В. Перспективы применения методов теоретического расчета пластической деформации для исследования накатывания резьб / А.В. Киричек, А.Н. Афонин // Известия ОрелГТУ. – Сер. Машиностроение. Приборостроение. – Орел: ОрелГТУ, 2004. – № 1. – С. 32-33.
- 3 Кузьменко А.Ф. Закономерности распределения контактных напряжений при накатывании резьбы // Автомобильная промышленность. – М., 2004. – №2. – С. 25-28.
- 4 Осадчий В.Я. Теория и расчеты технологических параметров штамповки выдавливанием / В.Я. Осадчий, А.Л. Воронцов, И.И. Безносиков. – М.: МГАПИ, 2001. – 307 с.
- 5 Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
- 6 Соколов Н.В. Исследование методов получения трапецидальных резьб в условиях производства судовой арматуры. Дисс... канд. техн. наук. – Л.: ЛПИ, 1962.
- 7 Томленов А.Д. Теория пластического деформирования металлов. М.: Машиностроение, 1983. – 200 с.
- 8 Чернавский А.О. Метод конечных элементов. Основы практического применения / Справочник. Инженерный журнал. – М., 2003. – №11. Приложение.
- 9 Herold K. Kraftberechnung beim Gewindewalzen. – Fertigungstechnik und Betrieb. – В., 1981. – № 11. – P 661-663.

ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ

УДК 621.914.7+621.992.5

Канд. техн. наук Брусков С.И., д-р техн. наук, проф. Тарапанов А.С., д-р техн. наук, проф. Харламов Г.А.  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862)555524; E-mail: batishchev@mail.ostu.ru

**ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ МНОГОПРОХОДНОЙ ОБРАБОТКЕ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

*In the issue, the method of cutting force calculation at multiphase processing of helix surfaces is submitted based on the analysis mathematical representation of the cutting scheme. The restrictions excluding errors on a formed surface are given. The influence of parameters of a cutting process and size of a layer on the subsequent passes on cutting force is considered.*

Основным отличием в определении динамических характеристик при многопроходной обработке от однопроходной является методика расчета составляющих силы резания на втором и последующих проходах. Для этого необходимо определить силу резания на каждом элементарном участке всех зубьев фрезы, участвующих в резании. Сложность представляет определение участков режущих лезвий винторезного инструмента, снимающих оставшийся после предыдущего прохода припуск.

Наибольшее влияние на силу резания оказывает толщина срезаемого слоя. Методика определения толщины срезаемого слоя в любой момент резания изложена в работе [1].

Координаты точек профиля инструмента в случае обработки винтовой поверхности дисковой фрезой можно определить по следующим зависимостям (в случае, когда инструмент перемещается в направлении межосевого перпендикуляра, и обработка на всех проходах ведется инструментом одинакового профиля):

$$\begin{aligned} x_i &= (\varphi(L) + \Delta\varphi(L)) \cos \omega + (r_i + \Delta r) \sin \varphi(V) \sin \omega + p \varphi(S); \\ y_i &= [A_\omega + h_j - (r_i + \Delta r) \cos \varphi(V)] \cos \varphi(S) - \\ &\quad - [(\varphi(L) + \Delta\varphi(L)) \sin \omega - (r_i + \Delta r) \sin \varphi(V) \cos \omega] \sin \varphi(S); \\ z_i &= [A_\omega + h_j - (r_i + \Delta r) \cos \varphi(V)] \sin \varphi(S) + \\ &\quad + [(\varphi(L) + \Delta\varphi(L)) \sin \omega - (r_i + \Delta r) \sin \varphi(V) \cos \omega] \cos \varphi(S). \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\varphi(L)$  – расстояние от  $i$ -ой секущей плоскости, перпендикулярной оси фрезы, до центра фрезы;  
 $r_i$  – радиус фрезы в  $i$ -ой секущей плоскости, перпендикулярной оси фрезы;  
 $\varphi(V)$  – угол поворота фрезы;  
 $\Delta\varphi(L)$  – приращение расстояния от секущей плоскости до центра фрезы;  
 $\Delta r$  – приращение радиуса фрезы;  
 $\omega$  – угол подъема винтовой линии;  
 $A_\omega$  – расстояние между осью фрезы и осью винта;  
 $\varphi(S)$  – угол поворота винта;  
 $p$  – винтовой параметр, связанный с шагом винтовой поверхности соотношением  $p = P/2\pi$  ( $P$  – шаг винтовой поверхности);  
 $h$  – величина припуска, оставляемого на последующие проходы.

При этом должны выполняться условия:

$$r_i > \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}; a_i > 0, \quad (2)$$

где  $x_i, y_i, z_i$  – координаты профиля дисковой фрезы в  $i$ -ом сечении;  
 $r_n$  – наружный диаметр заготовки;  
 $a_i$  – величина толщины, срезаемая  $i$ -ым участком профиля инструмента.

Математическое отображение схемы резания при фрезеровании винтовой поверхности на последнем проходе [1]:

$$\begin{aligned} x &= (\varphi(L) + \Delta\varphi(L)) \cos \omega + (r_i + \Delta r) \sin \varphi(V) \sin \omega + p \varphi(S); \\ y &= [A_\omega - (r_i + \Delta r) \cos \varphi(V)] \cos \varphi(S) - \\ &\quad - [(\varphi(L) + \Delta\varphi(L)) \sin \omega - (r_i + \Delta r) \sin \varphi(V) \cos \omega] \sin \varphi(S); \\ z &= [A_\omega - (r_i + \Delta r) \cos \varphi(V)] \sin \varphi(S) + \\ &\quad + [(\varphi(L) + \Delta\varphi(L)) \sin \omega - (r_i + \Delta r) \sin \varphi(V) \cos \omega] \cos \varphi(S). \end{aligned} \quad (3)$$

При этом необходимо выполнение следующего дополнительного условия:

$$r_i^{j-1} > \sqrt{(x_i^j)^2 + (y_i^j)^2 + (z_i^j)^2}, \quad (4)$$

где  $r_i^{j-1}$  – радиус винтовой поверхности в  $i$ -ой точке после предыдущего прохода;  
 $j$  – номер прохода.

Методика определения толщины срезаемого слоя и кинематических изменений переднего и заднего углов представлена в работе [2].

Выражение для определения составляющих силы резания имеет вид:

$$\begin{aligned} P_z &= \sum \Delta P_z \Delta b K_{ct}; \\ P_y &= \sum \Delta P_y \cos \sigma \cos \omega \Delta b K_{ct}; \\ P_x &= \sum \Delta P_y \sin \sigma \sin \omega \Delta b K_{ct}. \end{aligned} \quad (5)$$

В выражении (5) использованы следующие условные обозначения:  $\Delta P_z, \Delta P_y$  – удельная сила резания, приходящаяся на единицу длины режущего лезвия;  $\Delta b$  – элемент длины режущего лезвия, в пределах которого значения толщины срезаемого слоя,



переднего и заднего углов с учетом кинематических изменений считаются постоянными;  $K_{ср}$  – коэффициент сложности формирования стружки, учитывающий условия стружкообразования при несвободном резании;  $\sigma$  – угол между межосевым перпендикуляром и нормалью к режущему лезвию в пределах рассматриваемого элемента.

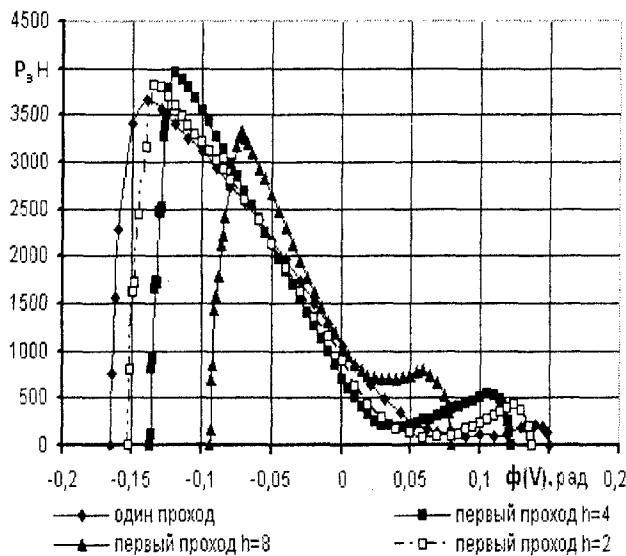


Рис. 1. Составляющая силы резания  $P_z$  при обработке винтовой поверхности дисковой фрезой при различных величинах припуска на второй проход ( $r_{max}/d_n = 4$ ;  $S_z = 0,25$  мм/зуб)

Расчеты и графики составляющих силы резания приведены для случая двухпроходной обработки дисковой фрезой ротора ведущего трехвинтового насоса 3В16/2,5 с параметрами: профиль боковых поверхностей винтовой канавки описан по укороченной эллипсоиде; число заходов  $k = 2$ ; угол подъема винтовой поверхности  $\omega = 0,7536$  рад, наружный диаметр фрезы  $d_n = 55$  мм, внутренний диаметр  $d_s = 33$  мм, шаг винтовой линии  $P = 110$  мм; материал заготовки – сталь 18ХГТ, геометрические характеристики инструментов  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ , частота вращения фрезы  $n = 200$  об/мин, частота вращения заготовки  $n_s = 1$  об/мин. Профиль дисковой фрезы определен в соответствии с методикой, изложенной в работах [3, 4].

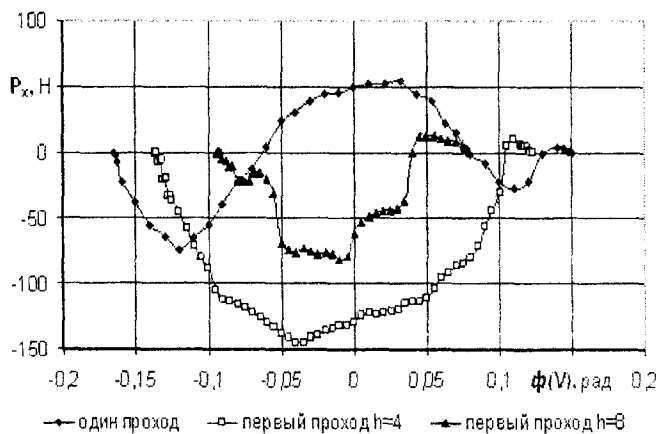


Рис. 2. Составляющая силы резания  $P_x$  при различных величинах припуска на второй проход ( $r_{max}/d_n = 4$ ;  $S_z = 0,25$  мм/зуб)

На графиках рис. 1 и 2 представлено изменение составляющих силы резания при обработке винтовой поверхности на первом проходе; на рис. 3 – на втором проходе в зависимости от припуска на первый проход; на рис. 4 – на втором проходе в зависимости от размера дисковой фрезы; на рис. 5 – изменение составляющей силы резания  $P_y$  в зависимости от размера припуска на второй проход.

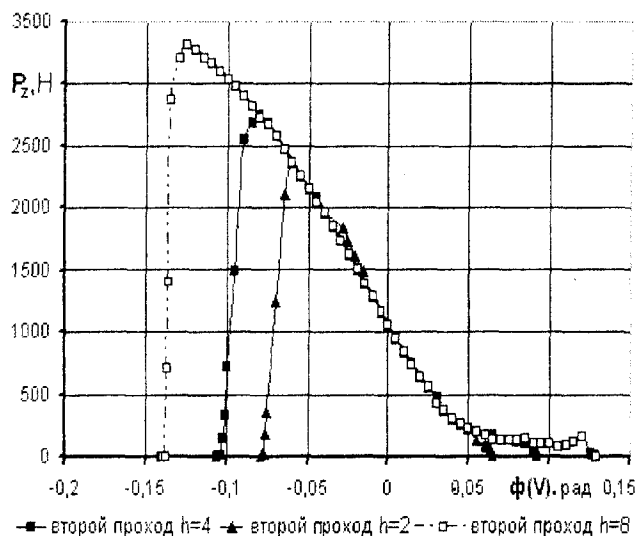


Рис. 3. Изменение составляющей силы резания  $P_z$  дисковой фрезой при обработке винтовой поверхности ( $r_{max}/d_n = 4$ ;  $S_z = 0,25$  мм/зуб; второй проход;  $h = 4$  мм)

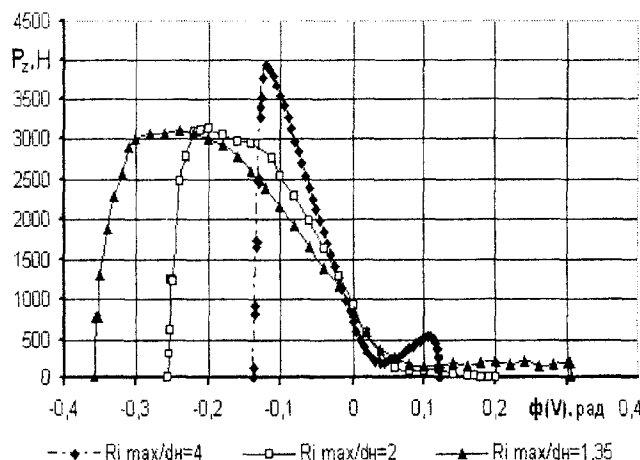


Рис. 4. Изменение составляющей силы резания  $P_z$  в зависимости от размера дисковой фрезы ( $S_z = 0,25$  мм/зуб;  $z = 12$ ; второй проход;  $h = 4$  мм)

Как следует из графиков, на первом проходе не происходит значительного изменения составляющей силы резания  $P_z$ , а происходит лишь уменьшение угла контакта инструмента и винтовой поверхности, происходит уменьшение величины  $P_y$  вследствие того, что не все участки боковых режущих лезвий работают при первом проходе. Из рис. 2, описывающего изменение составляющей силы резания  $P_x$  при первом и втором проходах, следует, что на первом проходе обработка ведется преимущественно входным лезвием, а на втором – преимущественно выходным. По сравнению с однопроходной обработкой,

составляющие силы резания на первом и втором проходах снижаются в зависимости от величины припуска  $h$  на 10 – 25 %, что позволяет увеличить подачу и скорость резания или достичь более высокого качества получаемой винтовой поверхности.

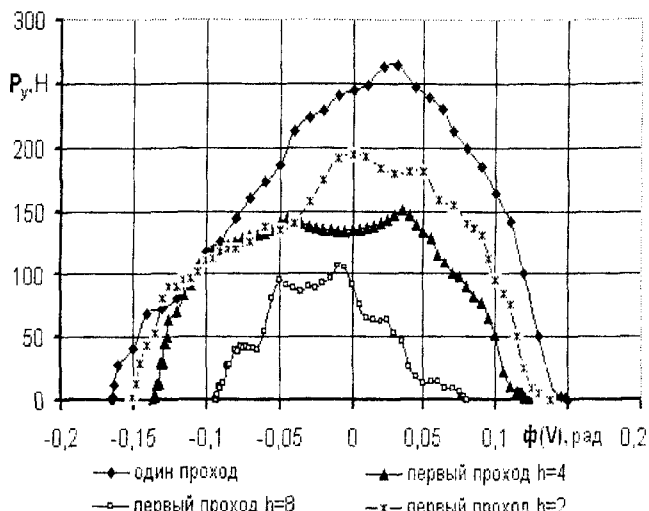


Рис. 5. Составляющая силы резания  $P_y$  при различных величинах припуска на второй проход ( $r_{\phi}/d = 4$ ;  $S_Z = 0,25$  мм/зуб)

Методика определения составляющих силы резания при многопроходной обработке винтовых по-

верхностей позволяет определить максимальную и минимальную величину составляющих силы резания при произвольном количестве проходов в любой момент времени. Методика может быть использована для расчета сил резания при других методах обработки винтовых поверхностей, необходимо только вместо зависимостей и ограничений (1 – 5) взять математические отображения, соответствующие кинематике рассматриваемого метода обработки.

**Литература:**

- 1 Брусов С.И. Управление процессами обработки винтовых поверхностей на основе фрактального анализа / С.И. Брусов, А.С. Тарапанов // Известия Орел ГТУ. – Сер. Машиностроение. Приборостроение. – Орел: ОрелГТУ, 2000. – № 4. – С. 130-136.
- 2 Брусов С.И. Комплексный анализ и управление механической обработкой винтовых поверхностей / С.И. Брусов, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов // Справочник. Инженерный журнал. – М.: Машиностроение, 2002. – №11. – С. 27-29.
- 3 Балденко Д.Ф. Винтовые насосы. – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.
- 4 Лащнев С.И. Профилирование инструмента для обработки винтовых поверхностей. – М.: Машиностроение, 1965. – 152 с.

УДК 621.914.15

Д-р техн. наук, проф. Тарапанов А.С., д-р техн. наук, проф. Харламов Г.А., канд. техн. наук Полохин О.В. (Орловский государственный технический университет) Россия, г. Орел, тел. (4862)416733

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТОВ ЧЕРВЯЧНОГО ТИПА НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ЗУБЬЕВ

*Suggested is the calculation variant of profile roughness provided by geometry and kinematics of test portion of worm-type tools, based on the analysis of mathematical reflection of cutting. Consideration was given to the influence of tool parameters and gear cutting modes by the rate of profile roughness constituent.*

Шероховатость поверхности и состояние материала поверхностного слоя являются основными параметрами качества обработанной поверхности. В зубчатых колесах шероховатость поверхности зубьев определяет контактную прочность и долговечность этих деталей.

Сформировавшееся в последние годы учение об инженерии поверхности позволяет расчетно-аналитическим путем определить основные параметры шероховатости и связать их с параметрами режима резания и эксплуатационными характеристиками получаемой поверхности. Так как на формирование профиля шероховатости при всех методах оказывают влияние одни и те же факторы, в каждом конкретном случае различающиеся лишь интенсивностью воздействия, то данный подход с успехом может быть

применен как для методов лезвийной и абразивной обработки, так и для поверхностно-пластического деформирования.

Общая формула для определения средней высоты профиля шероховатости для всех методов механической обработки имеет следующий вид [1]:

$$R_Z = h_1 + h_2 + h_3 + h_4,$$

где  $h_1, h_2, h_3, h_4$  – составляющие профиля шероховатости, обусловленные, соответственно, геометрией и кинематикой перемещения рабочей части инструмента, колебаниями инструмента относительно обрабатываемой поверхности, пластическими деформациями в зоне контакта инструмента и заготовки, шероховатостью рабочих поверхностей инструмента.

Для методов обработки со сложной кинематикой, к которым относится процесс формообразования зубьев зубчатых колес, особый интерес вызывает определение составляющей профиля шероховатости  $h_1$ .

При изготовлении зубчатых колес для формирования эвольвентного профиля зубьев широко используется схема огибания, которая характеризуется тем, что профилирующие режущие кромки зубьев инструмента последовательно касаются эвольвентного профиля в различных по его высоте точках  $K_1, K_2, \dots, K_n$  (рис. 1).

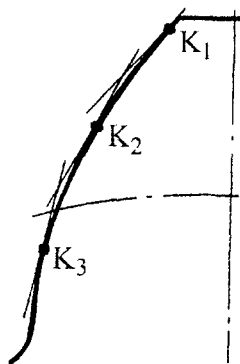


Рис. 1. Ограничение профиля нарезаемого зуба режущими лезвиями

Схема огибания может быть реализована либо за счет кинематики процесса зубонарезания (схема кинематического огибания), либо за счет конструкции инструмента, который выполняется с конструктивной подачей режущих кромок зубьев (схема конструктивного огибания).

Такое огибание эвольвентного профиля является центроидным и имеет место при зубонарезании червячными фрезами, зуботочении, зуборезными долбками или гребенками.

Использование схемы кинематического или конструктивного огибания приводит к тому, что профиль зуба колеса образуется в форме ломаной линии, которая имеет отклонения от эвольвентного профиля в виде гребешков огранки, высотой  $h_1$ . Количество гребешков огранки на единицу превышает число профилирующих резцов, а высота каждого гребешка огранки определяется от точки его излома до эвольвентного профиля по нормали к этому профилю. Вид гребешка огранки зависит также от формы профилирующих режущих кромок инструмента, которые для повышения технологичности их изготовления обычно выполняются с прямолинейным профилем.

Составляющая профиля шероховатости  $h_1$  является одной из основных составляющих параметра точности зубчатого колеса – погрешности профиля зуба. Поэтому при проектировании зуборезных инструментов необходимо учитывать  $h_1$ , определять закономерность ее изменения по высоте эвольвентного профиля, а также выявлять параметры, с помощью которых можно управлять ее значением.

Величина  $h_1$  может быть определена геометрически при следующих допущениях:

- обрабатываемый материал считается абсолютно недеформируемым;
- технологическая система принимается абсолютно жесткой;

– лезвия инструмента представляют собой геометрические линии.

Для определения величины  $h_1$  боковая поверхность зуба разбивается точками  $K$ , соответствующими углу развернутости эвольвенты  $\phi_K$ , на  $n$  отрезков. Полученные отрезки будут разной длины. Каждый из них заменяется дугой окружности с радиусом, равным проводящей прямой. Погрешность от такой замены будет ничтожно мала, т.к. угол  $\phi_K$  незначителен.

Величину  $h_1$  (рис. 2) определяем, используя математическое отображение кинематической схемы резания, позволяющее установить координаты точек  $K_1(X_{K_1}; Y_{K_1}); K_2(X_{K_2}; Y_{K_2})$  соприкосновения с теоретическим профилем. Эти точки определяются в результате анализа схемы резания при толщинах срезаемого слоя, близких к нулю ( $<5 \cdot 10^{-4}$ ) [2].

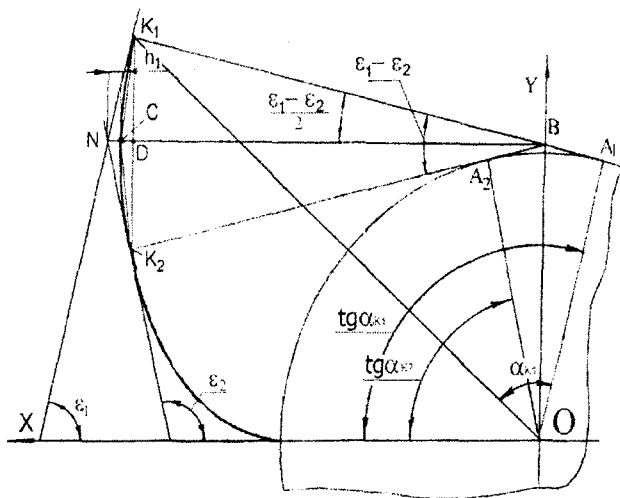


Рис. 2. Графическое изображение для определения размеров высот расчетных неровностей на зубьях

Для определения высоты гребешка  $h_1$  рассмотрим треугольник  $K_1NK_2$  (рис. 2). Вершинами неровностей являются точки пересечения двух соседних резцов (точка  $N$ ).

$$h_1 = NC = \sqrt{K_1N^2 + \left(\frac{K_1K_2}{2}\right)^2} - \frac{K_1K_2}{2} \operatorname{tg}\left(\frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{2}\right). \quad (1)$$

Координаты точки  $N$  вычисляется, как координаты точки пересечения двух соседних резцов режущих кромок  $AB$  и  $CD$  (рис. 3).

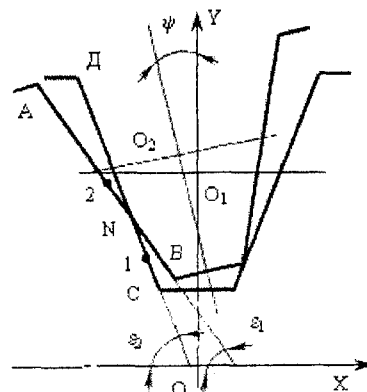


Рис. 3. Схема определения координат точки пересечения профилирующих резцов

Углы  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  (рис. 3) можно определить по следующим формулам:

$$\varepsilon_1 = 70^\circ \pm \psi_1; \varepsilon_2 = 70^\circ \pm \psi_2,$$

где  $\psi_1, \psi_2$  (в градусах) – углы между осью ОУ и линией, проходящей через середину зуба инструмента, обрабатывающего впадину колеса соответственно в 1 и 2 положениях, выраженные в градусах;

«±» – входная или выходная кромка.

Координаты точки N можно определить из системы уравнений:

$$\begin{cases} (X_{K1} - X_N) \operatorname{tg} \varepsilon_1 = (Y_{K1} - Y_N) \\ (X_N - X_{K2}) \operatorname{tg} \varepsilon_2 = (Y_{K2} - Y_N) \end{cases} \quad (2)$$

Решив систему (2) и подставив решение в формулу (1) получаем конечную формулу для определения величины  $h_1$  при обработке зубьев инструментами червячного типа:

$$h_1 = \sqrt{\frac{(X_{K1} - X_N)^2 + (Y_{K1} - Y_N)^2 - (X_{K1} - X_{K2})^2 + (Y_{K1} - Y_{K2})^2}{4}} + \frac{\sqrt{(X_{K1} - X_{K2})^2 + (Y_{K1} - Y_{K2})^2}}{2} \operatorname{tg} \left( \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{2} \right) \quad (3)$$

Была исследована зависимость размеров огранки от модуля нарезаемого колеса, числа реек и числа заходов инструмента. В качестве примера рассмотрим обработку зубчатого колеса с числом зубьев  $z_1 = 30$ , модулем  $m = 3$  мм, режущим инструментом с числом зубьев  $z_0 = 10$ . Результаты расчетов представлены в виде графиков (рис. 4 – 7).

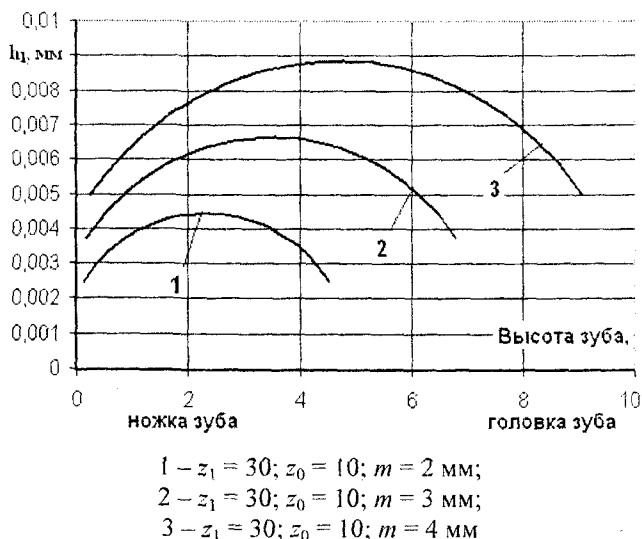


Рис. 4. Зависимость значения  $h_1$  от модуля

Анализ графиков (рис. 4 – 7) показывает, что при формировании эвольвентного профиля значение  $h_1$  монотонно возрастает, а затем также монотонно убывает.

Это можно объяснить следующим образом: у ножки зуба треугольник  $K_1NK_2$  (рис. 2) имеет осно-

вание  $K_1K_2$  меньше, чем у головки зуба, однако кривизна эвольвенты меньше у головки, и отрезок CD тоже меньше. Следовательно, величина огранки будет наибольшей в какой-то средней точке, находящейся между ножкой и головкой зуба.

Рост  $h_1$  с увеличением модуля нарезаемого колеса (рис. 4) с сохранением остальных параметров инструмента и колеса обусловлен увеличением длины эвольвенты, формируемой тем же количеством профилирующих резцов.

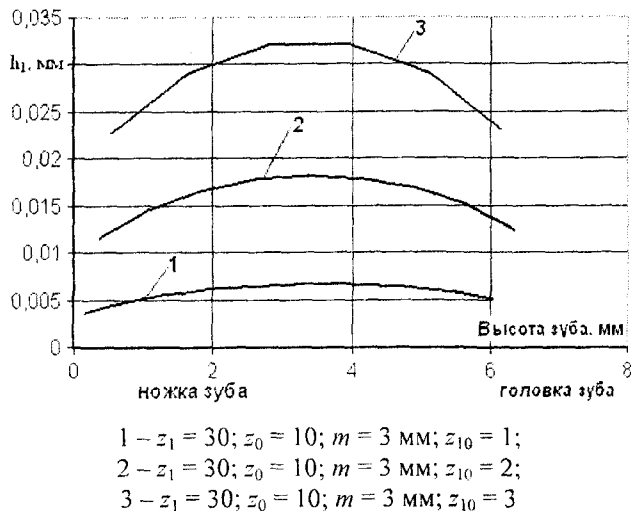


Рис. 5. Зависимость значения  $h_1$  от числа заходов инструмента

Рассматривая зависимость  $h_1$  от числа заходов инструмента, можно отметить, что увеличение числа заходов приводит к значительному повышению составляющей профиля шероховатости, связанному с уменьшением числа профилирующих резцов. Особенно это заметно на кривой 3 (рис. 5), где отчетливо видно, что в формировании кривой участвует меньше точек, соответствующих числу выступов на боковой поверхности зуба колеса.

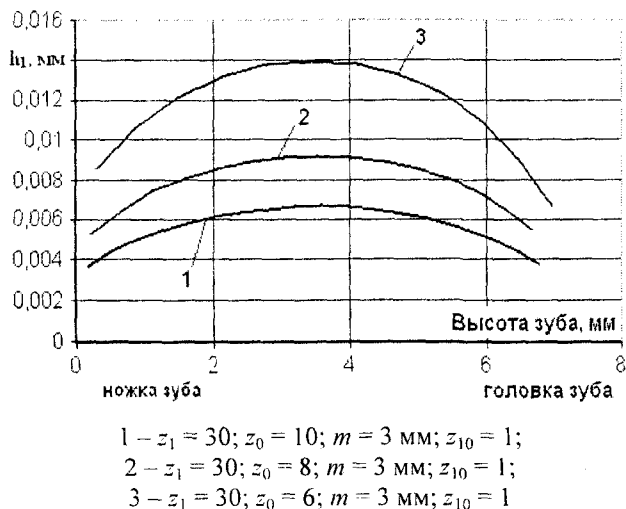


Рис. 6. Зависимость значения  $h_1$  от числа реек инструмента

Влияние числа реек (зубьев) инструмента на величину огранки не прямо пропорционально (рис. 6). Как видно из графиков, увеличение  $h_1$  при изменении числа реек инструмента с 10 (кривая 1) до 8 (кривая

2) значительно меньше, чем при уменьшении с 8 до 6 (кривая 3) реек.

В связи с вышесказанным, можно найти оптимальное соотношение числа заходов и числа реек инструмента для достижения требуемой величины огранки.

Увеличение числа заходов режущего инструмента с одновременным увеличением числа реек инструмента приводит к незначительному повышению значения  $h_1$  (рис. 7).

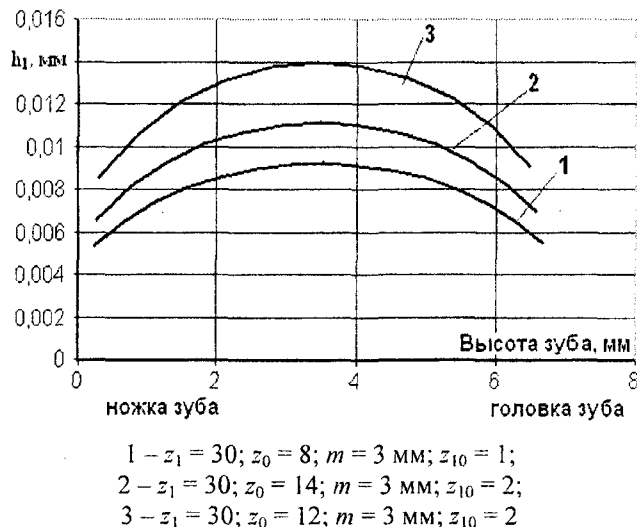


Рис. 7. Влияние конструктивных элементов инструмента на значение  $h_1$

При нарезании зубьев инструментами червячного типа в направлении продольной подачи по длине зуба наблюдаются регулярные неровности, которые зависят от величины подачи и размеров инструмента (рис. 8). Рассмотрим влияние этих факторов с использованием математического отображения кинематической схемы резания.

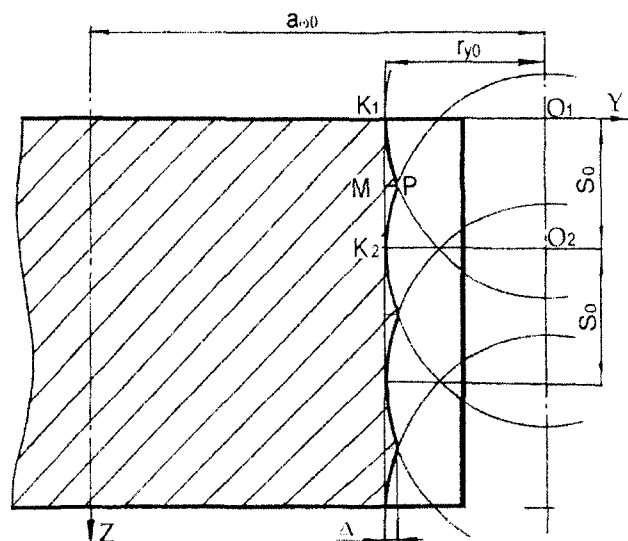


Рис. 8. Схема для расчета волнистости по длине зуба в направлении продольной подачи

Для определения волнистости  $\Delta$  рассмотрим треугольник  $K_1PM$  (рис. 8):

$$\Delta = MP = (Y_p - Y_k)^2 + (Z_p - Z_k)^2 - \frac{S_0^2}{4}. \quad (4)$$

При пересечении двух резов инструмента в направлении продольной подачи координаты точки их пересечения можно определить по формуле:

$$\begin{cases} Y_p = a_{a0} - \sqrt{r_{y0}^2 - \frac{S_0^2}{4}}, \\ Z_p = Z_k + \frac{S_0}{2}. \end{cases} \quad (5)$$

Результаты расчета волнистости  $\Delta$  представлены в виде графиков, показанных на рис. 9.

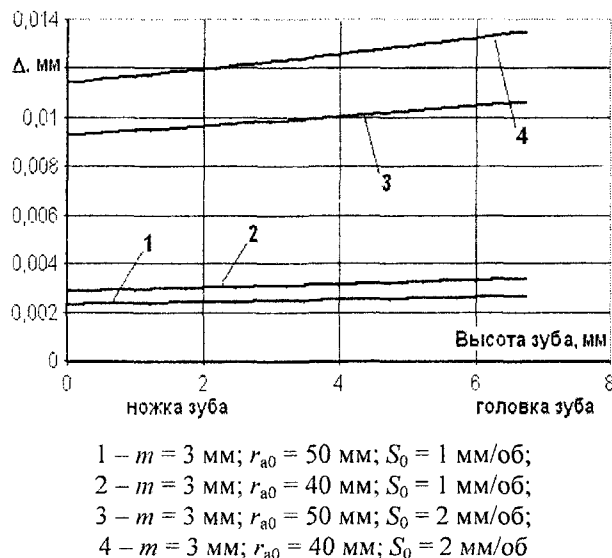


Рис. 9. Размеры волнистости при нарезании зубьев инструментом с различными параметрами

На основании графиков (рис. 9) можно отметить:

– размеры  $\Delta$  по высоте зуба не одинаковые, волнистость у ножки зуба колеса меньше, чем у головки (вследствие обработки участка с меньшим диаметром инструмента);

– на значение  $\Delta$  наибольшее влияние, в интервале наиболее часто используемых диаметров инструмента и режимов обработки, оказывает осевая подача (изменение диаметра инструмента с 80 мм до 100 мм приводит к снижению  $\Delta$  на 0,004 мм, а снижение подачи с 2 мм/об до 1 мм/об снижает волнистость на 0,011 мм).

Данные, полученные в результате расчетов, дают возможность выбора элементов инструментов червячного типа (числа заходов, числа зубьев, схемы резания), которые обеспечили бы требуемую шероховатость зуба колеса. Вышеизложенная методика может быть применена не только для расчета конструктивных параметров инструмента, но и для назначения режимов обработки.

Литература:

1 Сулов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.  
 2 Полохин О.В. Разработка и анализ математического отображения кинематической схемы резания зубьев инструментами червячного типа / О.В. Полохин, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов // Справочник. Инженерный журнал. М.: Машиностроение, 2000. – № 8. – С. 11-14.

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 681.5.08

Канд. техн. наук Углова Н.В., канд. техн. наук, доц. Лисовская З.П.

(Орловский государственный технический университет)

Россия, г. Орел, тел. (4862)419876; E-mail: pms35@mail.ostu.ru

### КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ УСЛУГ И ИХ НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ БАЗА

*The article considers the questions of quality and safety services of auto-transportation enterprises as well as medical and tourist services. Various kinds of services are shown in it. A number of legal documents in corresponding spheres is regarded. Modern trends of certain service development are indicated.*

#### Актуальность проблемы

Безопасность и качество услуги – это самая важная проблема, фактически выпавшая из поля зрения Федерального закона (ФЗ) «О техническом регулировании».

Услуга – результат непосредственного взаимодействия исполнителя и потребителя, а также собственной деятельности по удовлетворению запросов потребителя. Услуга – это некий симбиоз процесса оказания услуги и конечной продукции, ибо, с одной стороны, услуга – явный процесс взаимодействия исполнителя и потребителя, с другой – конечный продукт этого процесса (например, изготовленная по индивидуальному проекту мебель, отремонтированные автомобиль, бытовая техника, прошедшая химчистку одежда). Услугу можно представить как процесс, направленный на удовлетворение той или иной потребности (парикмахерские, оздоровительные услуги). Тем не менее, если понимать услугу таким образом, то она и тогда вправе претендовать на то, чтобы быть «объектом технического регулирования». Ведь ст.1 ФЗ «О техническом регулировании» утверждает, что «настоящий ФЗ регулирует отношения, возникающие при... разработке, принятии, применении и исполнении на добровольной основе требований к ... оказанию услуг...»

Нормативно-правовая база в области сертификации услуг РФ сегодня находится в стадии формирования. Процесс идет недостаточно высокими темпами, и еще нельзя говорить о достаточном нормативном обеспечении процесса сертификации услуг. Разработка стандартов и других нормативных документов на услуги – относительно новая проблема. Эти документы могут значительно отличаться от традиционных стандартов на продукцию, они часто носят более общий характер и разрабатываются в соответствии с желаниями покупателя или потребителя.

Кроме того, Конституция нашей страны предусматривает ответственность государства за обеспечение безопасности своих граждан, а многие виды услуг – и в этом никто не сомневается – потенциальная угроза здоровью и имуществу потребителей. И

вот на них, в зависимости от степени риска (категории опасности), и должны разрабатываться соответствующие технические регламенты [1].

Сегодня возникают сомнения: нужны ли национальные стандарты на конкретные услуги типа ритуальных или услуги ломбардов? Быть может на целый блок услуг, скажем, по пошиву и ремонту швейных или меховых изделий, достаточно норматива вида общих технических условий?

В настоящее время успешно действуют стандарты на парикмахерские услуги. Но надо ли дробить их, вычленив косметические услуги? Было выдвинуто предложение, что дробить услуги не стоит, следует разрабатывать национальные стандарты, что называется, по-крупному, на виды услуг. А на виды услуг, что представляют собой потенциальную опасность, разрабатывать технические регламенты. Что касается разработки стандартов коммерческими, общественными, научными организациями, то это можно только приветствовать.

Сегодня, до вступления в силу соответствующих технических регламентов, и, несмотря на отсутствие в ФЗ «О техническом регулировании» прямой нормы, государственный контроль и надзор в сфере услуг может осуществляться применительно:

1) к продукции, полученной в результате оказания услуги, на соответствие продукции обязательным требованиям, обеспечивающим безопасность ее эксплуатации (потребления);

2) к производственным и иным процессам оказания услуги;

3) к оборудованию, применяемому в процессе оказания услуги.

Понятно, что речь идет не обо всех услугах, а лишь о тех, что представляют реальную угрозу жизни и здоровью потребителей, окружающей среде: по ремонту и техническому обслуживанию бытовой радиоэлектронной аппаратуры, электробытовых приборов, холодильников, стиральных машин, услуг общественного питания, пассажирского автотранспорта, прачечных, парикмахерских и химической чистки, медицинских услуг и т.д. [2].

Один из технических комитетов выступил инициатором разработки трех технических регламентов: «Безопасность окружающей среды, изделий, процессов производства и эксплуатации оборудования при оказании услуг химической чистки и стирки», «Безопасность изделий, процессов производства при оказании услуг по установке, ремонту и техническому обслуживанию бытовой техники» и «Безопасность производственных процессов при оказании парикмахерских услуг». Дело за их финансированием.

Сегодня услуги настолько разнообразны, что вопросы обеспечения качества и безопасности их становятся особенно актуальными. Рассмотрим специфику оказания ряда услуг.

#### *Услуги предприятий транспортного комплекса*

Следует отметить, что транспортное средство, как участник дорожного движения, содержит потенциальную угрозу не только для владельца автомобиля, но и для всех участников процесса, не имеющих возможности повлиять на его эксплуатацию. Поэтому чрезвычайно важно обеспечить объективные условия, гарантирующие поддержание транспортного средства в технически исправном состоянии и его безопасную эксплуатацию, установив обязательные требования к организации, их обеспечивающих, с подтверждением соответствия таким требованиям. Следовательно, сама идеология ФЗ, направленная на снижение рисков вне зависимости от предполагаемого вида сертификации работ по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава и перевозочной деятельности, требует наличие сертификата соответствия на их проведение. Окончательный ответ на вопрос, будут ли подлежать работы по техническому обслуживанию, ремонту автотранспортных средств и перевозке пассажиров автомобильным транспортом в перспективе обязательной или добровольной сертификации, можно получить только после окончания переходного периода, в течение которого должна быть завершена разработка технических регламентов.

Если процесс эксплуатации транспортного средства, в частности, поддержание его в технически исправном состоянии, будет установлен техническим регламентом, что было бы логично, и, соответственно, требования к нему станут обязательными, то вопрос об обязательной сертификации будет снят.

Документальной основой сертификации услуг по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств и перевозке пассажиров автомобильным транспортом являются: Закон РФ «О безопасности дорожного движения», «Положение об обеспечении безопасности дорожного движения в предприятиях, учреждениях и организациях, осуществляющих перевозки пассажиров и грузов» и ряд стандартов с требованиями безопасности технического состояния автотранспортных средств.

Все перечисленные документы целиком посвящены вопросам обеспечения безопасности здоровья, имущества граждан и окружающей среды. Так, в ст. 1 Закона РФ «О безопасности дорожного движения» задачи, решаемые его принятием, формулируются

следующим образом: «охрана жизни, здоровья и имущества граждан, защита их прав и законных интересов, а также защита интересов общества и государства путем предупреждения дорожно-транспортных происшествий и снижения тяжести их последствий».

Таким образом, законодательная и нормативная база сертификации услуг предприятий автотранспортных комплексов полностью сохраняется и не претерпевает изменений. Более того, сами услуги, руководствуясь принципом ФЗ минимизации рисков, должны проходить процедуру подтверждения соответствия требованиям безопасности, т. е. сертификацию.

В отношении услуг по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств подтверждение этому находится в ст. 18 Закона РФ «О безопасности дорожного движения», гласящей, что юридические лица и индивидуальные предприниматели, выполняющие работы и предоставляющие услуги по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств, обязаны иметь сертификат соответствия на выполнение этих работ и услуг, обеспечивать их проведение в соответствии с установленными нормами и правилами.

Необходимость сертификации услуг по перевозочной деятельности вытекает из содержания ст. 5 Закона РФ «О безопасности дорожного движения». Эта статья устанавливает, что «обеспечение безопасности дорожного движения осуществляется посредством обязательной сертификации объектов, продукции и услуг транспортного и дорожного хозяйства». Руководствуясь этим положением, подтверждению соответствия требованиям безопасности должны подлежать не только перевозки пассажиров, но и перевозки грузов.

Отказ от необходимости сертификации услуг предприятия автотранспортного комплекса может привести к парадоксальной ситуации, сделав этот вид потенциально опасной деятельности практически бесконтрольным. Таким образом, появляется вероятность проведения этих работ с низким качеством, не обеспечивающим эксплуатационное состояние транспортных средств, соответствующее требованиям нормативного документа.

Последствия введения в 1993 г. обязательной сертификации услуг по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств и перевозке пассажиров автомобильным транспортом носили бесспорно позитивный характер и способствовали повышению качества и безопасности их выполнения. Сертификация способствовала повышению уровня укомплектованности предприятия оборудованием и персоналом, документальному обеспечению реализуемых процессов, внедрению мероприятий, направленных на обеспечение технически исправного, пригодного к эксплуатации состояния оборудования и транспортных средств и повышению уровня квалификации производственного персонала и водительского состава.

Сегодня чрезвычайно важно, чтобы органы исполнительной власти со своей стороны установили контроль за наличием сертификата соответствия на выполнение работ, непосредственно связанных с риском

причинения вреда жизни, здоровью и имуществу граждан и окружающей среде и оказывали предпочтение предприятиям, им располагающим [3].

#### Медицинские услуги

В настоящее время состояние материально-технической базы здравоохранения РФ оставляет желать лучшего. Высокоспециализированная помощь, несмотря на ее развитие в субъектах РФ, по-прежнему малодоступна многим в ней нуждающимся, в том числе из-за необходимости ее оплаты в большинстве специализированных клиник за счет собственных средств пациента. Государство по-прежнему не в состоянии обеспечить всех нуждающихся бесплатным лечением.

В медицину стремительно внедряются рыночные отношения. Иными словами, медицинская услуга становится товаром, который по законам рынка нужно производить дешевле – продавать дороже. Подразумевается, что эта услуга должна быть качественной: А как же иначе – потребителю-то жить хочется!

Сегодня качество медицинской услуги рассматривается с разных позиций: эффективности, адекватности, экономичности, морально-этических норм. Когда говорят о целях здравоохранения, имеют в виду, как основную цель, повышение уровня здоровья населения и удовлетворение его потребности в квалифицированной и качественной медицинской услуге. Поскольку медицинские услуги в государственных медицинских учреждениях многих не удовлетворяют, а улучшить ее качество предьявлением лишь одних жалоб пока не удается, пациенты пытаются решить свои проблемы в платных медицинских учреждениях.

Медицинская услуга – это комплекс мероприятий, проводимых при заболеваниях или при непосредственной угрозе развития заболевания, направленных на восстановление здоровья или на предупреждение болезни, имеющих самостоятельное, законченное значение и определенную стоимость.

Медицинские услуги обладают рядом специфических свойств. Они неосознаемы и невидимы, их нельзя ощутить до момента приобретения, и пациент, пришедший на прием к врачу, не может заранее знать результат посещения; он вынужден верить врачу на слово. Они неотделимы от источника услуги, в качестве которого могут выступать врач, медсестра, медицинское оборудование или медицинский центр в целом. Медицинские услуги характеризуются непостоянством качества, их зависимостью от поставщиков и места оказания услуги, несохраняемостью и невозможностью демонстрации самой услуги. Кроме того, большая часть из них не может быть осуществлена через посредников. Возможности транспортировки большинства услуг ограничены.

Тенденция к увеличению среднего возраста населения, а также к росту доходов граждан способствует возрастанию спроса на медицинские услуги.

Данные о рынке медицинских услуг ограничены. Рынок медицинских услуг в нашей стране сегодня можно охарактеризовать следующим образом:

- государство не может в полной мере гарантировать адекватную медицинскую услугу населению и передает часть этих функций свободному рынку;
- число компаний – продавцов медицинских услуг – ограничено;
- медицинская услуга неоднородна, индивидуальна, уникальна;
- информация о предложении на рынке медицинских услуг несовершенна;
- сопоставление цены и качества предоставляемых услуг невозможно или затруднительно;
- нет единых критериев определения качества медицинской услуги.

Медицинские услуги, предоставляемые населению, условно можно разделить на две части. Первая – это те виды услуг, которые гарантированы населению и финансируются государством, т.е. «бесплатные» (условно некоммерческий сектор). Вторая – это платные услуги (коммерческий сектор). На нем представлены государственные учреждения, частные предприятия и учреждения со смешанной формой собственности. В целом, оба сектора практически непрозрачны, и провести четкую грань между ними достаточно сложно, так как и в государственном, и в коммерческом секторе потребители оплачивают медицинские услуги из собственных средств. Различные исследования показывают, что население будет скорее платить, чем не платить за медицинские услуги, независимо от того, платные они или нет. По данным ВЦИОМ, доля населения, готовая платить за медицинские услуги (легально или неформально), превышает 50% [4].

Причинами обращения к платным медицинским услугам 64 % опрошенных граждан назвали более качественную медицинскую помощь, 38 % – более высокий уровень обслуживания, 32 % – высокую скорость обслуживания и т.д.

Таким образом, население нашей страны, готовое платить за медицинские услуги, официально или неофициально, в первую очередь ждет более качественных услуг.

В нашей стране сегодня сформировалось несколько сегментов медицинских услуг с развитыми конкурентными рынками. Среди них можно выделить стоматологические. Это один из наиболее прозрачных и динамично развивающихся сегментов рынка и его можно охарактеризовать как высококонкурентный.

Качество оказания медицинских услуг напрямую зависит от профессионального уровня работающих, морально-психологического климата в коллективе, материального стимулирования работников, социальной защиты сотрудников и т.д.

Среди критериев оценки качества медицинских услуг наиболее значимыми пациенты, принявшие участие в социологическом исследовании, считают уровень врачебной квалификации – 67 %, полноту выполнения лечебно-диагностических мероприятий – 24 %, оптимальные условия лечения и ухода – 4 %. Все это включается в стоимость медицинской услуги [5].



Для оценки качества медицинской услуги в настоящее время широко используется анкетирование. Социологический опрос пациентов показал, что происходящие неблагоприятные процессы в экономике страны, углубление дефицита функционирования здравоохранения приводят к ухудшению качества медицинской услуги.

### *Туристические услуги*

Туризм и, соответственно, индустрия гостеприимства – это бизнес людей, ухаживающих за другими людьми. Естественно, важнейшими элементами являются гостеприимство, качество при обслуживании, при предоставлении услуг. С обслуживанием сопряжена концепция качества. Качество – это тот уровень обслуживания, который предприятие сферы услуг решает предоставлять для удовлетворения своей целевой и потенциальной клиентуры. Соответственно, уровень качества будет разным в 5-звездной гостинице, и в сельской гостинице.

Важным элементом качества услуг является степень их постоянства, которую организация, предприятие, фирма предоставляет для удовлетворения потребностей своей целевой аудитории. Качество всегда должно быть постоянным. В этом плане качества туризм является одним из самых сложных продуктов. Потому что потребление происходит вне обычной среды. Зачастую речь идет о другой стране, другой языковой обстановке, других морально-этических и религиозных нормах, и поэтому очень важно, чтобы клиент чувствовал себя комфортно при получении услуги на предприятии гостеприимства [6].

Российский туристический бизнес только формируется. Закон РФ 1996 г. «Об основах туристической деятельности в Российской Федерации» сыграл свою положительную роль, определил приоритетные направления развития. Сейчас он нуждается в существенной доработке, и поэтому в концепции развития туризма, утвержденной постановлением Правительства, зафиксирована необходимость издания нового закона. Пока нового закона нет, вводятся изменения и дополнения к существующему.

Летом 2005 г. был принят Федеральный закон «О концессионных соглашениях». Объектами концессии становятся предприятия, предназначенные для отдыха, оздоровления и туризма. Второй важный закон, который был принят – «Об особых экономических зонах в Российской Федерации». Существуют две программы «Туристические центры России» и «Развитие туристско-рекреационного комплекса южных регионов России в 2006-2008 г.г.». Развивая туризм, мы укрепляем государство, открываем новые рабочие места, даем людям возможность работать и зарабатывать, а миллионам людей – пользоваться предоставляемыми услугами.

Отношения, возникающие при оказании услуг в России регулирует ФЗ «О техническом регулировании», гармонизированный с международными нормами. Госстандартом зарегистрированы и успешно работают «Правила функционирования Системы добровольной сертификации услуг». Действующий в

рамках Системы добровольной сертификации услуг «Порядок сертификации услуг средств размещения» позволяет проводить комплексную оценку соответствия услуг средств размещения требованиям национальных стандартов, международных договоров, контрактов и т.д. Причем при сертификации проводятся работы не только по классификации средств размещения (классификация – результат работы по сертификации), но и оценивается весь процесс оказания услуг. Это существенно, так как потребителей гостиничных услуг не устраивает не столько количество звезд у отеля, сколько низкий уровень квалификации персонала, экономия на мелочах в обслуживании, неоправданно высокие цены на услуги, изношенная материальная база и т.д. [7].

Таким образом, туризм сегодня – один из наиболее развивающихся секторов экономики, и гостиничная сфера является основной в туризме.

В мае 2004 г. Совет Российской ассоциации социального туризма (РАСТ) принял и утвердил разработанный Московским Центром содействия развитию туризма Гостиничный стандарт. Стандарт устанавливает классификационные группы гостиниц, мотелей, пансионатов и т.д. по материально-техническому обеспечению, номенклатуре услуг, качеству в целях их последующей классификации и категоризации, методы оценки качества и предназначен для субъектов туристической индустрии. Стандарт может быть применен в качестве нормативного документа при добровольной сертификации услуг средств размещения всеми субъектами российской туристской индустрии, признающими его положения и организующими свою деятельность в соответствии с его принципами.

Введена двойная классификация гостиниц (и вообще всех средств размещения) по категориям и по классам. Такая система позволяет гостиницам, мотелям и другим средствам размещения, категория которых не отвечает минимальным «звездным» нормативам конкурировать между собой по параметрам качества. При невыполнении минимальных норм любое средство размещения, сколько бы звезд оно не получило по нормативам материально-технического оснащения, снимается с сертификации. Таким образом, подтверждается принятое в основу стандарта положение: главное – качество. В приложении к стандарту в качестве справочных приведены материалы для разработки руководств по внутргостиничной проверке качества обслуживания и обеспечения безопасности гостиницы, ее клиентов и ее работников, поскольку во многих небольших туристских гостиницах и базах такие документы отсутствуют [8].

Сервис московских гостиниц «Националь», «Балчуг Кемпински», «Шератон», «Редиссон Славянская» и других, работающих по международным стандартам гостеприимства, качественно отличается от уровня услуг, предоставляемых другими гостиницами. В некоторых московских гостиницах, к сожалению, полное отсутствие знаний о стандартах обслуживания, которые регламентируют деятельность всего персонала – от генерального менеджера до рядового сотрудника, а их неукоснительное соблюдение

позволяет поддерживать высокий уровень сервиса, что напрямую влияет на положительную динамику доходов. Сегодня персонал гостиницы должен владеть знаниями нормативно-правовых документов в сфере гостиничного бизнеса. Одним из таких документов являются «Правила предоставления гостиничных услуг в РФ».

В последние годы гости стали предъявлять большие требования к качеству сервиса. Да и интерес, и склонность гостей стали более разнообразными. А рынок гостиничных услуг все больше зависит от спроса и потребителя. Ведь именно потребитель решает для себя, где ему разместиться. Потребитель гостиничных услуг имеет право знать необходимую и достоверную информацию об услугах, обеспечивающую ему возможность их правильного выбора, а именно: об обеспечении безопасности в средстве размещения; о перечне дополнительных услуг и их ценах; о получении льгот при оказании услуг, если такие льготы предусмотрены законами и иными нормативно-правовыми актами; о получении компенсации за моральный вред, причиненный жизни, здоровью гостя, нарушением прав потребителя и т.д.

Главная проблема, которая стоит сегодня перед руководителями средств размещения: «Что необходимо принять, чтобы быть конкурентоспособными на рынке гостиничных услуг?». Сегодня упор делается на качество оказываемых услуг, воспринимаемое как гарантированное представление определенного уровня обслуживания. Основное правило гостиничного бизнеса – привлекательность гостиниц должна постоянно повышаться, для чего необходимо тщательно изучать интересы потребителей, а также иметь собственные стандарты обслуживания по всем службам [9].

Владельцам средств размещения не стоит забывать, что в средствах размещения нет ни одной детали, которой можно было бы пренебречь, особенно когда это касается вопросов безопасности. Здесь кто-то называет новое поколение замков революционерами в области гостиничных систем безопасности. Кто-то отмечает, что и лифт не является исключением. Ведь даже по плавности хода лифтовой кабины и времени ее ожидания уже можно определить уровень обслуживания и категорию гостиницы. Использование лифтов в зданиях любой высоты стало по настоящему безопасным. Обеспечение физической безопасности пассажира изначально закладывается в технологию лифта. Особенности и качество производства обеспечивают повышенную надежность оборудования, а именно отказоустойчивость, пожароустойчивость, автоматическое раскрытие дверей при помехе, оперативную эвакуацию людей при возникновении нештатной ситуации, сейсмоустойчивость и т.д. Например, некоторые виды лифтов позволяют при внезапном отключении энергии довести кабину до ближайшего этажа, открыть двери и выпустить пассажиров.

Среди перспективных направлений развития санаторно-курортных услуг следует назвать развитие лечебно-оздоровительных услуг в отелях, с примене-

нием СПА-технологий. Например, в 2004 г. в Сочи внедрена концепция управления развития курортного комплекса, который на данный момент является одним из лучших в России. Концепция построена на разделении услуг на три направления: комплекс оздоровительных и медицинских услуг, комплекс услуг по организации и проведению корпоративных мероприятий, комплекс услуг для отдыха. Все три направления успешно функционируют.

Разработка стандартов обслуживания будет способствовать развитию и совершенствованию деятельности средств размещения. Повышение качества их обслуживания окажет положительное влияние на развитие отрасли в целом, еще выше поднимет статус наших городов на международном рынке гостиничных услуг, и как следствие, увеличит поток туристов в Россию.

Качество услуги, как это было отмечено выше, стало определяющим фактором ее конкурентоспособности. Вот почему сертификация услуг как объективная оценка их качества достаточно широко развита в зарубежных странах.

Для любой количественной или качественной оценки важно определить объективные критерии оценивания. Выбор критерия сертификации услуг – важная, но наиболее трудная ступень оценки соответствия услуги. Интересен подход к качеству услуг в Японии. Японские специалисты по вопросам качества предлагают условно классифицировать параметры качества услуг на основе их значимости для потребителей. С этой точки зрения следует различать:

- «внутреннее» качество, которое не находится в поле зрения потребителя (например, техническое обслуживание);
- «материальное» качество, видимое потребителем (качество товара, гостиничного обслуживания, ресторанного питания и т.д.);
- «нематериальное» качество, видимое потенциальным потребителем (правдивость рекламы, грамотно оформленная документация, доступные понятные инструкции по пользованию, информационное этикетирование и т.д.);
- «психологическое» качество (гостеприимство, вежливость, внимательность и т.д.);
- время обслуживания.

Подобный подход позволяет вырабатывать соответствующие критерии для сертификации. В этом плане определенным достижением мирового опыта по оценке услуг можно считать принятие ИСО международного стандарта ИСО 9004-2 «Руководящие указания по услугам».

#### **Заключение**

На основании краткого обзора всего лишь трех видов оказываемых услуг, можно отметить, что рынки услуг стремительно развиваются, наступая широким фронтом. Появляются новые виды услуг, возникают актуальные вопросы обеспечения их качества и безопасности. и, следовательно, нужна нормативно-правовая база, которая бы все это отражала.

**Литература:**

- 1 *Симонов Ю.А. Техническое регулирование в сфере услуг // Стандарты и качество. М., 2004. – №5. – С. 44-45.*
- 2 *Сюткин Г.Н. Сертификация безопасности и качества услуг. – М.: Издательство стандартов. – 2003. – 231 с.*
- 3 *Харазов А.А. Сертификация услуг (работ) предприятий автотранспортного комплекса / А.А. Харазов, И.Н. Фанталов // Стандарты и качество. – М., 2004. – №5. – С. 46-48.*
- 4 *Виноградов В.А. Эффективный брэндинг на российском рынке медицинских услуг // Ремедиум. – М., 2005. – №5. – С. 19-21.*
- 5 *Красильников А.В. Анкетирование пациентов как критерий оценки качества медицинской услуги // Проблемы управления здравоохранением. – М., 2005. – №1. – С. 34-38.*
- 6 *Парпара О.А. Время собирать кадры // Отель. – М., 2004. – №6. – С. 4-16.*
- 7 *Трофимова Н.Н. Хотели как лучше, а получились... / Н.Н. Трофимова, С.А. Бубнов // Отель. – М., 2004. – №2. – С. 30-31.*
- 8 *Тереценко А.С. Звезда звезде рознь // Отель. – М., 2004. – №4. – С. 56-59.*
- 9 *Нестерук М.В. Коротко о главном // Отель. – М., 2004. – №4. – С. 50-52.*

УДК 681.5

*Канд. техн. наук, доц. Киселева Т.П.  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862)419876; E-mail: [pms35@mail.ostu.ru](mailto:pms35@mail.ostu.ru)*

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ВУЗЕ

*In this article is give an account of the principles the total quality management (TQM), and the show, which how they is realization in the conditions of the technical university.*

В условиях уменьшающегося количества абитуриентов конкурентоспособность вуза является обязательным условием его существования на рынке образовательных услуг.

Решающим фактором, определяющим конкурентоспособность вуза в соответствии с принципами TQM (Total Quality Management – Всеобщий менеджмент качества) является высокий уровень качества по доступной цене. Как показала практика – нет мелочей в организации системы управления образованием, эффективность деятельности даже преподавателя высочайшего уровня близка к нулю, если его деятельность не является частью отлаженного механизма управления качеством образования.

Мировая практика выдвинула на первый план восемь принципов, невыполнение хотя бы одного из которых (как и в любой организации) определит неэффективность функционирования всей системы.

1 – «Ориентация на потребителя». Внешними потребителями процесса образования в вузе являются предприятия, получающие прошедших обучение специалистов. «Неориентация» на предприятия осложнит трудоустройство молодых специалистов, их работу и отказ потенциальных абитуриентов от поступления. Следование принципу подразумевает получение объективной информации от потребителя и гибкое реагирование на их не столько настоящие, сколько будущие потребности. Осуществить ориентацию на потребителя в вузе значительно сложнее,

чем на промышленном предприятии. Реальная валидация процесса подготовки специалиста осуществляется после окончания им вуза, т.е. от составления программы обучения до получения результатов валидации процесса обучения проходит около десяти лет. Поэтому ориентация на потребителя в вузе не может базироваться только на опросе предприятий о том, какого специалиста им хотелось бы иметь. В данном вопросе большое значение имеет прогнозирование развития не только сферы производства товаров и услуг, но и всего общества в целом. Если для предприятия, производящего продукцию или услуги вполне приемлем прогноз желаний потребителей на 10 лет, то для вуза прогноз должен быть как минимум на вдвое больший срок и в значительно более широкой области.

Текущую «ограниченную» валидацию получаемого студентом образования может дать деятельность студента на последних курсах вуза в качестве инженера по выбранной специальности. Через работающего студента можно получить ценнейшую информацию, позволяющую поддерживать учебный процесс на должном уровне, гибко ориентируясь на запросы потребителей.

2 – «Лидерство руководителя»; 3 – «Вовлечение персонала».

Эти два принципа неразрывно связаны, т.к. именно высшее руководство отвечает за вовлеченность сотрудников в деятельность организации.

Отсутствие четкого видения руководством всех уровней обернется «размытостью» критерия принятия управленческих решений, отсутствием четкой структуры и расплывчатостью обязанностей и прав, что приведет к тому, что работа не будет доставлять удовольствия сотрудникам, их деятельность придется тотально контролировать с применением карательных мер, при этом в качестве вознаграждения возможны только деньги. К преподавателю при этом руководство относится как к безответственному субъекту, не имеющему право не только на ошибку, но и на отступление от регламента даже с целью улучшения учебного процесса. Реакция на такое отношение соответствует принципу «Лучший способ не ошибаться – ничего не делать». При этом высшее руководство не выполняет своих прямых служебных обязанностей – стратегического планирования и совершенствования деятельности вуза и его основного процесса – учебного, так как оно посвящает себя тотальному контролю над сотрудниками. В результате руководство получит даже при высокой зарплате персонала текучесть кадров, отсутствие инициативы и предложений по улучшению со стороны преподавателей.

4 – «Процессный подход»; 5 – «Системный подход». Основной процесс вуза – учебный процесс – объединяет множество кафедр, деканатов и других служб. Блестящая организация работы на отдельных кафедрах и других службах вуза не обеспечат получение хорошо обученного и воспитанного специалиста, проходящего в процессе всего обучения сквозь множество подразделений вуза. Отсутствие системного подхода приводит к постоянным конфликтам между подразделениями, сваливанию ответственности на того, кто менее «голосист», к постоянным выяснениям отношений между сотрудниками и службами, приводит к тому, что студент в этом процессе оказывается лишним, себестоимость его подготовки – высокой, а обученность студента – весьма скромной и «лоскутной».

6 – «Постоянное улучшение». Улучшения – это всегда перемены и связанные с этим разного рода проблемы. Но, в любом деле, как и в природе, выживает тот, кто успевает приспособиться к внешней среде и к ее изменениям. Лавинообразный технический прогресс, свободный обмен информацией, перспективы интеграции во Всемирную торговую организацию требуют подготовки специалистов по новым специальностям, изменения учебных программ существующих специальностей, закрытия устаревших. При этом закрытие устаревших специальностей или их переориентация должны быть тщательно рассчитаны и спланированы, должны проходить, не травмируя профессорско-преподавательский состав и учебно-вспомогательный персонал. Любой опытный преподаватель обладает большим объемом разносторонних знаний, уникальным методическим опытом. Задача вуза – использовать эти знания и опыт на новых направлениях обучения студентов. Только в этом случае необходимые изменения будут поддерживаться персоналом и обеспечат постоянное улучшение деятельности вуза.

7 – «Принятие решений на основе фактов». Вузу реально следовать этому принципу особенно сложно, т.к. истинным критерием оценки деятельности вуза, его эффективности является количество студентов, входящих на вступительные экзамены, но когда их становится мало, то начинать что-либо менять уже поздно. Самым важным критерием, по которому оценивает вуз его потенциальный потребитель – это его имидж, который зарабатывается не годами, а десятилетиями. Поэтому очень важно создать внутри высшего учебного заведения систему критериев, позволяющую адекватно оценивать деятельность каждого отдельного преподавателя, каждого подразделения, системы обучения в целом. Цель этого – получение руководством объективной информации о деятельности вуза не для наказания или поощрения сотрудников и подразделений, а для формирования стратегии развития вуза, для постановки целей для каждого субъекта организации и, наконец, для планирования ресурсов, необходимых для эффективной деятельности организации.

8 – «Взаимовыгодные отношения с поставщиками». Продукцию высокого качества невозможно изготовить из материалов плохого качества. Поставщиком для вуза является средняя школа, в которой в настоящее время весьма много проблем. Естественная инерционность системы обучения не дает возможности быстрого решения накопившихся проблем. Организация вузом подготовительных курсов – проверенная и наиболее доступная форма улучшения исходного «человеческого материала», но заменить систему образования, к сожалению, не может. Взаимовыгодность отношений подразумевает, что вуз, со своей стороны, должен участвовать в деятельности школы. В производстве существует понятие «сертификация второй стороной», что означает участие потребителя в деятельности поставщика. При этом имеется в виду не только участие в выходном контроле (на экзаменах), но и в самом процессе производства. Цели, при этом преследуемые – помочь поставщику понять конкретные требования потребителя и помочь оптимально организовать процесс обучения. Очень часто потребителю более выгодно вкладывать средства не только в свое производство, но и в производство своего поставщика. Такой многолетний опыт имеет и российская высшая школа. При многих элитных вузах многие годы функционируют специальные школы, в которых преподают не только специалисты средней школы, но и преподаватели вуза.

Вуз, как и любая другая организация, может существовать, не реализуя какой-либо из этих принципов, но, в этом случае, никогда его деятельность не будет успешной и конкурентоспособной.

#### Литература:

- 1 Мхитарян В.С. *Статистические методы в управлении качеством продукции*. – М.: Финансы и статистика, 1982.
- 2 Гличев А.В. *Управление качеством продукции / А.В. Гличев, М.И. Круглов*. – М.: Экономика, 1979.
- 6 Парнара О.А. *Время собирать кадры // Отель*. – М., 2004. – №6. – С. 4-16.

УДК 338.1

Канд. экон. наук Степанова Е.Ю.  
(Орловский государственный технический университет)  
Россия, г. Орел, тел. (4862)416684, E-mail: [upk@ostu.ru](mailto:upk@ostu.ru)

## НЕМАТЕРИАЛЬНЫЕ АКТИВЫ В ВЕРТИКАЛЬНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ КОМПАНИЯХ

*In this article is shown importance technical resource and intellectual property for development modern organization.*

Экономика России постепенно встает на инновационный путь развития. Это означает, что страна переходит к интеллектуальной экономике. Знания воплощаются в инновации – новые технологии, технику, оборудование, приборы, материалы. Для их создания работают большие группы ученых и инженеров десятков специальностей, выполняются расчеты, чертежи, проекты, опытные образцы, проводятся испытания, патентование и многое другое. Таким образом, любая инновация начинается с нематериальных активов (НМА), основанных на знаниях.

Еще 30 лет назад, по оценкам специалистов, интеллектуальная составляющая в стоимости продукции составляла 3 %, а теперь уже 35 %. Аналитики прогнозируют к 2010 г. рост этого показателя до 65-70 %. На долю новых или усовершенствованных технологий, продукции, оборудования в развитых странах приходится от 70 до 85 %, а по некоторым оценкам – и до 95 % прироста ВВП. НМА становятся важнейшей составной частью активов предприятия.

Интенсивность инновационной деятельности сегодня отражается на уровне экономического развития. Страны, обеспечивающие благоприятные условия для инновационной деятельности, выигрывают в глобальной экономической конкуренции.

Вопрос глобальной конкуренции и ее результатов мы здесь не обсуждаем, но заметим, что это явление видно невооруженным глазом в быту и окружающей действительности: практически все механизмы, бытовая, аудио- и видеотехника, бытовая химия, автомобили, компьютерная техника и многое другое являются, в большинстве случаев, продукцией крупнейших транснациональных корпораций, которые вытесняют отечественного производителя; всемирная паутина открыла почти все границы, сняла многие территориальные, государственные и иные ограничения на получение информации.

За рубежом давно оценили важность и существование НМА для функционирования компаний в конкурентной среде. Так, например, рыночная стоимость НМА знаменитой компании «The Walt Disney» оценена фондовым рынком почти в 8 раз выше балансовой стоимости [1]. По методике оценки Л. Эдвинсона в среднем рыночная стоимость НМА превышает балансовую стоимость материальных активов компании более чем в 4 раза. В стоимости таких компаний как «Ericsson» и «SAP» доля материальных активов составляет лишь 5 %, а рыночная стоимость компании «Microsoft» превышает ее балансовую стоимость практически в 30 раз.

Источник [2] сообщает, что две трети семитриллионной рыночной стоимости открытых компаний США заключается в НМА. Соотношение материальных и нематериальных активов составляет: в «British Petroleum» – 29 % к 69 %, «IBM» – 17 % к 83 %, «Coca Cola» – 4 % к 96 %.

Конечно, различия между балансовой и рыночной стоимостью – это не результат несовершенства международных и отечественных стандартов финансового учета, а проявление новых всеобъемлющих экономических явлений, новых рыночных механизмов. Во многом это стало следствием серьезного отношения к НМА этих компаний, ставшим доминирующим ресурсом, определяющим их конкурентоспособность.

Что же относят к НМА? Приведем определения.

*Нематериальные активы* – это не имеющие физической, осязаемой формы управленческие, организационные, технические ресурсы, репутация в финансовом мире, капитализированные права, привилегии, конкурентные преимущества, контроль над сбытовой сетью, защита, обеспечиваемая страховкой, патенты и торговые марки, фирменные знаки, «ноу-хау», другие виды интеллектуальной собственности, право на пользование [3].

В словаре «Бухгалтерский учет, налоги, хозяйственное право» [4] к НМА относят активы, для которых выполнены одновременно следующие условия:

- отсутствие материально-вещественной структуры;
- возможность идентификации организацией;
- использование в производстве продукции, при выполнении работ или оказании услуг, либо для управленческих нужд организации;
- использование в течение длительного времени, т.е. срока полезного использования, продолжительностью свыше 12 месяцев или обычного операционного цикла, если он превышает 12 месяцев;
- организацией не предполагается последующая перепродажа данного имущества;
- способность приносить организации экономические выгоды в будущем;
- наличие документов, подтверждающих существование самого актива и исключительного права у организации на результаты интеллектуальной деятельности (патенты, свидетельства и т.п.).

К НМА могут быть отнесены следующие объекты интеллектуальной собственности (ОИС):

- исключительное право патентообладателя на изобретение, промышленный образец, полезную модель;
- исключительное авторское право на программы для ЭВМ, базы данных;

- имущественное право автора или иного правообладателя на топологию интегральных микросхем;
- исключительное право владельца на товарный знак и знак обслуживания, наименование места происхождения товаров;
- исключительное право патентообладателя на селекционные достижения.

В состав НМА не включаются интеллектуальные и деловые качества персонала организации, их квалификация и способность к труду, поскольку они неотделимы от своих носителей и не могут быть использованы без них (Положение по бухгалтерскому учету «Учет нематериальных активов» ПБУ 14/2000, утв. Приказом Минфина РФ от 16.10.2000).

*Интеллектуальная собственность*, согласно законодательству РФ, это [4]:

- исключительные права на литературные, художественные и научные произведения, программы для электронно-вычислительных машин и базы данных;
- смежные права на изобретения, промышленные образцы, полезные модели, а также приравненные к результатам интеллектуальной деятельности средства индивидуализации юридического лица (фирменные наименования, товарные знаки, знаки обслуживания).

*Интеллектуальная собственность* [4] – это общее понятие, охватывающее права, относящиеся к литературным, художественным и научным произведениям, исполнительской деятельности артистов, звукозаписи, радио- и телевизионным передачам; изобретениям во всех областях человеческой деятельности; научным открытиям; промышленным образцам, товарным знакам, знакам обслуживания, фирменным наименованиям и т.п. То есть речь идет о правах на результаты творческой деятельности.

Существует еще ряд определений понятий НМА и интеллектуальной собственности. Автор считает своей задачей в этой работе не получение однозначного ответа по терминам и определениям, а обеспечение понимания важности и необходимости учета, оценки и использования этих категорий в экономической практике для получения значительных преимуществ в рыночной среде.

Термин «интеллектуальная собственность» в правовом плане следует отличать от традиционного понимания права собственности на имущество.

НМА и ОИС имеют некоторые отличия [2].

1 ОИС обязательно должны иметь охранный документ, который подтверждает признание исключительных прав. Для остальных видов НМА наличие охранного документа не обязательно.

2 ОИС – это исключительные права на результаты творческой деятельности. При создании других видов НМА творчество – не основной критерий.

3 Под НМА, в частности, под «гудвиллом», понимают какие-либо нематериальные объекты, которые не отражены в балансе, но способствуют увеличению стоимости действующей компании. Наличие прав на ОИС обязательно должно быть зафиксировано документально и отражено в балансе организации.

По оценке западных специалистов [5] предприятие со штатом не более 100 человек и годовым оборотом, не превышающим 1 млн. долларов, для удержания довольно скромных позиций в конкурентной борьбе должно в течение года защищать от 10 до 40

патентов. Более крупное предприятие для достижения аналогичных целей за год должно защищать несколько сотен патентов. Крупные корпорации за тот же период времени должны защищать несколько тысяч патентов, затрачивая на это до 1 млрд. долларов. Тактика западных компаний заключается в том, что еще на этапе закрепления авторских прав они максимально охватывают рыночный сектор, в котором впоследствии будет работать продукт. Обычно формируются портфель патентов, который должен защитить от возможных конкурентов весь сектор рынка. Часто финансируются в больших объемах научные исследования в «пограничных» областях деятельности с целью защиты патентами от потенциальных конкурентов и эти рынки. При этом только 5 – 7 % патентов из портфеля находят практическое применение, и именно они дают основной сверхдоход предприятию. Остальное – это либо оснастка, инструменты, оборудование, либо иное обеспечение.

Грамотно составленный портфель патентов – один из эффективных способов страхования инвестиций. Например, портфель запатентованных объектов интеллектуальной собственности, имеющих первоначальную стоимость (по затратам) менее 1 % от защищаемых инвестиций может принести предприятию доход в размере 1000 %. Таким образом, НМА, в особенности ОИС, – это капитал, который на законных основаниях позволяет предприятию получать сверхдоходы, не опасаясь антимонопольных санкций. Ведущие компании мира имеют портфель из десятков тысяч патентов [6].

Пренебрежительное отношение к НМА существенно занижает стоимость компании, себестоимость продукции, ее конкурентоспособность и прибыль, ухудшает стратегические позиции при холдинговании и при совершении сделок, снижает инвестиционную привлекательность.

И хотя проблема оценки НМА очень сложна, в России постепенно формируется нормативная база, стандарты оценки, накапливается опыт, которые позволяют надеяться на успешное решение этой чрезвычайно важной задачи, особенно в преддверии вхождения в ВТО.

#### Литература:

1 Эдвинсон Л. *Корпоративная долгота. Навигация в экономике знаний, основанной на знаниях* / Л. Эдвинсон. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 248 с.

2 WWW.nikagroup.ru].

3 Фукина С.П. *Оценка стоимости нематериальных активов* / С.П. Фукина, А.В. Тимирясова, З.А. Ахметьянова, Л.И. Найденкова // Изд-во «Таджимат» Института экономики, управления и права. – Казань, 2003. – 96 с.

4 *Экономические и финансовые словари* / WWW.glossary.ru.

5 Козлов В.В. *Нематериальные, но активные* / В.В. Козлов // Дело. – 2002. – № 35. – С. 42-43.

6 Степанова Е.Ю. *Инновационная деятельность и интеллектуальная собственность: проблемы и решения* / Е.Ю. Степанова // *Повышение эффективности использования объектов интеллектуальной собственности в управлении инновационно-инвестиционными процессами*. – М.: Машиностроение-1, 2005. – С. 86-90.