

Редакционный совет

Голенков В.А. д-р техн. наук, проф., председатель
Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф., зам. председателя
Борзенков М.И. канд. техн. наук, доц., секретарь
Астафичев П.А. д-р юрид. наук, проф.
Иванова Т.Н. д-р техн. наук, проф.
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф.
Колчунов В.И. д-р техн. наук, проф.
Константинов И.С. д-р техн. наук, проф.
Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.
Попова Л.В. д-р экон. наук, проф.
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф.

Редколлегия

Главный редактор
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки Российской Федерации
Заместители главного редактора
Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф.
Подмастерьев К.В. д-р техн. наук, проф.

Члены редколлегии

Бабичев А.П. д-р техн. наук, проф.
Вдовин С.И. д-р техн. наук, проф.
Дмитриев А.М. д-р техн. наук, проф., член-корр. РАН
Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф.
Зубарев Ю.М. д-р техн. наук, проф.
Зубчанинов В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.
Иванов Б.Р. д-р техн. наук, проф.
Колесников К.С. д-р техн. наук, проф., академик РАН
Копылов Ю.Р. д-р техн. наук, проф.
Корндорф С.Ф. д-р техн. наук, проф.
Малинин В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.
Мулюкин О.П. д-р техн. наук, проф.
Осадчий В.Я. д-р техн. наук, проф.
Панин В.Е. д-р техн. наук, проф., академик РАН
Распопов В.Я. д-р техн. наук, проф.
Смоленцев В.П. д-р техн. наук, проф.

Ответственный за выпуск
Григорьева О.Ю.

Адрес редакции

302020, г. Орел, Нагорское шоссе, 29
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03,
43-48-90
www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций. Свидетельство: ПИ № ФС77-35719 от 24 марта 2009 года

Подписной индекс **29504** по объединенному каталогу «Пресса России»

© Госуниверситет – УНПК, 2011

Содержание

Естественные науки

<i>Корнеев Ю.С., Гордон В.А., Корнеева Е.Н.</i> Динамика разгона исполнительного органа технологической машины с пускозащитной муфтой при установившемся движении.....	3
<i>Солдаткин В.М.</i> Модели количественной оценки уровня опасности отказов интегрированного комплекса бортового оборудования.....	8
<i>Куценко С.А., Хрулева Ж.В., Алимova Ю.В.</i> Реагентное обессоливание сточных вод, содержащих сульфаты тяжелых металлов.....	15
<i>Перельгин В.Н., Лукьянов А.В.</i> Исследования температурных полей оборудования электровозов во время движения.....	19
<i>Гоголев И.Г., Николаева Т.А., Дроконов А.М.</i> К расчету нестационарных аэродинамических сил в проточной части турбомашин.....	27

Моделирование технологических процессов

<i>Захарычев С.П., Иванов В.А., Гончаров С.В.</i> Исследование свойств градиентных эпокси-дофторопластов, полученных центробежным способом формирования.....	35
<i>Галаган П.В.</i> Определение режимов управления на основе компьютерной обработки экспериментальных данных многоканального регистрирующего потенциометра.....	45
<i>Корчак А.В.</i> Автоматизация расчета упорных лепестковых подшипников при проектировании.....	54

Конструирование, расчеты, материалы

<i>Трофимов В.В., Несмеянов Е.А.</i> Применение демпфирующих систем для многошпиндельных станков.....	63
<i>Агеенко А.В.</i> Методика настройки параметров УЧПУ токарных станков для обеспечения заданной точности контура детали.....	70

Машиностроительные технологии и инструменты

<i>Дорохов Д.О.</i> Управляемое формирование механических свойств в изделиях методами комплексного локального деформирования.....	76
<i>Амбросимов С.К.</i> Определение конструкторско-технологических параметров деформирующе-режущих протяжек с упруго-пластическим нагружением зоны резания.....	85
<i>Иванов В.В., Булгаков Я.С.</i> Оксидирование алюминия и его сплавов вибрационным механохимическим способом.....	90
<i>Осеков А.Н., Козлов А.М., Кузнецов И.Ю.</i> Комбинированное маркирование деталей с диэлектрическим покрытием.....	93
<i>Яшков В.А., Силин Л.В.</i> Технологический подход к сокращению продолжительности приработки.....	100

Инновации и кадры в машиностроении

<i>Калашикова Н.Г., Борзова М.В.</i> Модульные технологии преподавания графических дисциплин.....	104
---	-----

Приборостроение и биотехнические системы

<i>Мишин В.В., Подмастерьев К.В., Марков В.В.</i> Приборная база для комплексного диагностирования подшипников.....	111
<i>Новиков А.А.</i> Повышение эффективности комплексных информационно-измерительных и управляющих систем в обеспечении бесперебойного энергообеспечения дизель - электрических подводных лодок.....	121

Испытания, контроль, диагностика и управление качеством

<i>Пахолкин Е.В., Гниздох С.В.</i> Проблемы исследования граничной смазки электрическим методом.....	128
<i>Никитин В.С., Ломанов А.Н., Данилов Е.А.</i> Методика и результаты испытаний полимерных микроджойстиков на основе электропроводных элементов.....	133
<i>Цуканова О.А.</i> Концептуальные положения управления процессом повышения качества услуг.....	138



The journal is published since 1995
The journal is published 6 times a year

№ 4 (288) 2011
July-August

Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology

The founder – The Federal State Higher Education Professional Institution
«State University – Education-Scientific-Production Complex»
(State University – ESPC)

Editorial council

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
president

Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president

Borzenkov M.I. Candidate Sc.
Tech., Assistant Prof., secretary

Astafichev P.A. Doc. Sc. Law., Prof.

Ivanova T.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Novikov A.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Popova L.V. Doc. Sc. Ec., Prof.

Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editorial Committee

Editor-in-chief

Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.,
honored worker of science of Russian
Federation

Editor-in-chief Assistants

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Podmasteryev K.V. Doc. Sc. Tech.,
Prof.

Member of editorial board

Babichev A.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Vdovin S.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Dmitriev A.M. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Corresponding Member of RAS

Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof.

Zubarev Y.M. Doc. Sc. Tech., Prof.

Subchaninov V.G. Doc. Sc. Ph.-Math. Prof.

Ivanov B.R. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kolesnikov K.S. Doc. Sc. Tech.,
Prof., Academician of RAS

Korndorf S.F. Doc. Sc. Tech., Prof.

Malinin V.G. Doc. Sc. Ph.-Math., Prof.

Mulyukin O.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Osadchy V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof.

Panin V.E. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Academician of RAS

Raspopov V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof.

Smolenzev V.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Responsible for edition

Grigorieva O.Yu.

Address

302020 Orel,
Naugorskoye Chaussee, 29
(4862) 43-48-90, 41-98-48, 55-55-24,
41-98-21
www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Journal is registered in Federal Department for Mass Communication. The certificate of registration III № ФС77-35719 from 24.03.2009

Index on the catalogue of the «Pressa Rossi» 29504

©, 2011

Contents

Natural science

<i>Korneev Y.S., Gordon V.A., Korneeva E.N.</i> Dynamics of dispersal of an executive office of the technological machine with a protective clutch at the established movement.....	3
<i>Soldatkin V.V.</i> Models for quantitative estimation of the failure danger of the integrated airborne equipment complex.....	8
<i>Kutzenko S.A., Hruleva Zh.V., Alimova U.V.</i> Reagent desalting of wastewater containing heavy metal sulfates.....	15
<i>Perelygin V.N., Lukiynov A.V.</i> Researches of temperature fields of the equipment of electric locomotives during driving.....	19
<i>Gogolev I.G., Nickolaeva T.A., Drokonov A.M.</i> For estimations of non-stationary aerodynamic force in rotordynamic machine liquid end.....	27

Process modeling

<i>Zaharyithev S.P., Ivanov V.A., Potters C.B.</i> Research of properties gradient epoxyfluorine-plast, received in the centrifugal way of formation.....	35
<i>Galagan P.V.</i> Plasma spraying mode determination based on electronic data processing.....	45
<i>Korchak A.V.</i> Automation of designing calculation of thrust foil bearings.....	54

Construction, calculation, material

<i>Trofimov V.V., Nesmeyanov E.A.</i> Application damping of systems for it is a lot of spindle machine tools.....	63
<i>Ageenko A.V.</i> Methodics of nc controller parameter setting of lathe machines for assurance of given accuracy of part profile.....	70

Machine building technology and toolware

<i>Dorohov D.O.</i> Operated formation of mechanical properties in products methods of complex local deformation.....	76
<i>Ambrosimov S.K.</i> Definition designer of technological parameters deformation-cutting broach with elastic - plastic loading zones of cutting.....	85
<i>Ivanov V.V., Bulgakov Y.S.</i> Oxidation aluminium and his alloys vibrating mechanic-chemistry in the way.....	90
<i>Osekov A.N., Kozlov A.M., Kuznetsov I.Y.</i> Combined marking of dielectric-coated parts.....	93
<i>Yashkov V.A., Silin L.V.</i> The technological approach to reduction of duration extra earnings	100

Innovation and frame in machine building

<i>Kalashnikova N.G., Borzova M.V.</i> Modular technologies for teaching graphic disciplines.....	104
---	-----

Instrument making and biotechnological system

<i>Podmasteryev K.V., Mishin V.V., Markov V.V.</i> Instrument base for complex diagnosing of bearings.....	111
<i>Novikov A.A.</i> Increase of efficiency of complex information-measuring and operating systems in maintenance of uninterrupted power supply the diesel engine – electric submarines	121

Tests, control, diagnostics and quality control

<i>Pakholkina E.V., Gnizdyukh S.V.</i> Problems of research of boundary greasing by electric method.....	128
<i>Nikitin V.S., Lomanov A.N., Danilov E.A.</i> Methodics and research results of oplymeric microjoysticks on the basis of electroconductive elements.....	133
<i>Tsukanova O.A.</i> The conceptual positions of management the process of improvement the quality of services.....	138

Journal is included into the list of the Higher Examination Board for publishing the results of theses for competition the academic degrees.

УДК 621.838.222

Ю.С. КОРНЕЕВ, В.А. ГОРДОН, Е.Н. КОРНЕЕВА

**ДИНАМИКА РАЗГОНА ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МАШИНЫ С ПУСКОЗАЩИТНОЙ
МУФТОЙ ПРИ УСТАНОВИВШЕМСЯ ДВИЖЕНИИ**

В работе рассмотрены приближенное и уточненное решения дифференциальных уравнений разгона привода с пускозащитной муфтой при установившемся движении машинного агрегата.

Ключевые слова: технологическая машина, привод, муфта, дифференциальное уравнение.

Пускозащитные муфты [1] являются наиболее перспективными устройствами в приводах технологических машин благодаря своей простоте и надежности. Наиболее значимым в их работе является период установившегося движения, когда ведущая полумуфта 1 вместе с электродвигателем и ведомая полумуфта 3 вместе с рабочей машиной не начнут вращаться как одно целое [2].

Дифференциальное уравнение движения агрегата с учетом динамической характеристики имеет вид:

$$\frac{dT_{\partial}}{dt} = \frac{1}{vT} - \frac{T_{\partial}}{T} - \frac{\omega}{v\omega_0 T}; \tag{1}$$

$$I_{np} \frac{d\omega}{dt} + \frac{1}{2} \omega^2 \frac{dI_{np}}{d\varphi} = T_{\partial} - T_c. \tag{2}$$

Для приближенного решения используем только уравнение (2).

Пусть: $I_{np} = const$; $T_c = const$; $T_{\partial} = k_1 + k_2\omega$.

Для этого распространенного случая уравнение (2) примет вид:

$$I_{np} \frac{d\omega}{dt} = k_1 + k_2\omega - T_c.$$

Разделяем переменные:

$$\frac{I_{np} d\omega}{k_1 - T_c + k_2\omega} = dt, \quad \frac{I_{np}}{k_2} \ln(k_2\omega + k_1 - T_c) = t + c;$$

В начале установившегося движения $t = 0$, $\omega = \omega_{III}$, где ω_{III} – угловая скорость в конце предыдущего этапа, когда начинает движение ведомая полумуфта 3 вместе с рабочей машиной [2].

$$\frac{I_{np}}{k_2} \ln(k_2\omega_{III} + k_1 - T_c) = C;$$

$$\frac{I_{np}}{k_2} \ln(k_2\omega + k_1 - T_c) = t + \frac{I_{np}}{k_2} \ln(k_2\omega_{III} + k_1 - T_c);$$

$$\frac{I_{np}}{k_2} \ln \frac{k_2\omega + k_1 - T_c}{k_2\omega_{III} + k_1 - T_c} = t;$$

$$\omega = \frac{1}{k_2} \left\{ T_c - k_1 + (k_2\omega_{III} + k_1 - T_c) e^{\frac{tk_2}{I_{np}}} \right\}. \tag{3}$$

Рассмотрим второй важный случай:

$$T_c = T_{cm} + n\omega^2, \quad I_{np} = const, \quad T_o = k_1 + k_2\omega,$$

Тогда

$$I_{np} \frac{d\omega}{dt} = k_1 + k_2\omega - T_{cm} - n\omega^2, \quad \frac{I_{np} d\omega}{k_1 - T_{cm} + k_2\omega - n\omega^2} = dt.$$

Перепишем уравнение в виде:

$$\frac{I_{np} d\omega}{n\omega^2 - k_2\omega - k_1 + T_{cm}} = -dt.$$

Используя работу [3], решаем интеграл, для чего сначала находим корни уравнения:

$$-n\omega^2 + k_2\omega + k_1 - T_{cm} = 0;$$

$$\omega^2 - \frac{k_2}{n}\omega - \frac{k_1}{n} + \frac{T_{cm}}{n} = 0;$$

$$\omega = \frac{k_2}{2n} \pm \sqrt{\frac{k_2^2}{4n^2} + \frac{k_1}{n} - \frac{T_{cm}}{n}}.$$

Исследуем знак $-4n(k_1 - T_{cm})$. Знак сложно угадать, поэтому имеем два решения:

$$1) \quad -4n(k_1 - T_{cm}) > k_2^2; \quad 4n(T_{cm} - k_1) - k_2^2 > 0;$$

$$\frac{2I_{np}}{\sqrt{4nT_{cm} - 4nk_1 - k_2^2}} \operatorname{arctg} \frac{2n\omega - k_2}{\sqrt{4nT_{cm} - 4nk_1 - k_2^2}} = -t + C;$$

$$2) \quad -4n(k_1 - T_{cm}) < k_2^2; \quad 4n(T_{cm} - k_1) - k_2^2 < 0;$$

$$\frac{2I_{np}}{\sqrt{k_2^2 - 4nT_{cm} + 4nk_1}} \ln \left| \frac{2\omega - k_2 - \sqrt{k_2^2 - 4nT_{cm} + 4nk_1}}{2n\omega - k_2 + \sqrt{k_2^2 - 4nT_{cm} + 4nk_1}} \right| = -t + C.$$

Начальные условия $t = 0, \omega = \omega_{III}$.

В 1-ом случае:

$$C = \frac{2I_{np}}{\sqrt{4nT_{cm} - 4nk_1 - k_2^2}} \operatorname{arctg} \frac{2n\omega_{III} - k_2}{\sqrt{4nT_{cm} - 4nk_1 - k_2^2}}.$$

Во 2-ом случае:

$$C = \frac{I_{np}}{\sqrt{k_2^2 - 4nT_{cm} + 4nk_1}} \ln \left| \frac{2n\omega_{III} - k_2 - \sqrt{k_2^2 - 4nT_{cm} + 4nk_1}}{2n\omega_{III} - k_2 + \sqrt{k_2^2 - 4nT_{cm} + 4nk_1}} \right| \times \frac{2I_{np}}{4nT_{cm} - 4nk_1 - k_2^2} \times$$

$$1) \quad \times \left(\operatorname{arctg} \frac{2n\omega - k_2}{\sqrt{4nT_{cm} - 4nk_1 - k_2^2}} - \operatorname{arctg} \frac{2n\omega_{III} - k_2}{\sqrt{4nT_{cm} - 4nk_1 - k_2^2}} \right) = -t, \quad (4)$$

$$2) \quad \frac{I_{np}}{\sqrt{k_2^2 - 4nT_{cm} + 4nk_1}} \times \times \ln \left| \frac{\left(2n\omega - k_2 - \sqrt{k_2^2 - 4nT_{cm} + 4nk_1} \right) \left(2n\omega_{III} - k_2 + \sqrt{k_2^2 - 4nT_{cm} + 4nk_1} \right)}{\left(2n\omega - k_2 + \sqrt{k_2^2 - 4nT_{cm} + 4nk_1} \right) \left(2n\omega_{III} - k_2 - \sqrt{k_2^2 - 4nT_{cm} + 4nk_1} \right)} \right| = -t. \quad (5)$$

Если момент сил сопротивления задан в общем виде $T_c = T_c(\varphi, \dot{\varphi}, t)$ и $I_{np} = I_{np}(\varphi)$, то уравнение (2) можно решить только численным способом. В таком случае можно применить метод интегрирования по шагам [4].

Имеем:

$$I_{np} \frac{d\omega}{dt} = I_{np_i} \left(\frac{d^2\varphi}{dt^2} \right)_i = I_{np_i} \omega_i \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{\Delta\varphi};$$

$$\frac{1}{2} \omega_i^2 \left(\frac{\Delta I_{np}}{\Delta\varphi} \right)_i = \frac{I_{np_{i+1}} - I_{np_i}}{2\Delta\varphi} \omega_i^2;$$

тогда:

$$I_{np_i} \omega_i \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{\Delta\varphi} + \frac{I_{np_{i+1}} - I_{np_i}}{2\Delta\varphi} \omega_i^2 = (T_\delta - T_c)_i,$$

откуда:

$$\omega_{i+1} = \frac{\Delta\varphi}{I_{np_i} \omega_i} \left\{ (T_\delta - T_c)_i - \frac{I_{np_{i+1}} - I_{np_i}}{2\Delta\varphi} \omega_i^2 + \frac{I_{np_i}}{\Delta\varphi} \omega_i^2 \right\}. \quad (6)$$

Для уточненного решения уравнений движения на этапе установившегося движения используем систему уравнений (1) и (2). Удобнее всего решить ее или методом Рунге или методом Штермера.

По методу Рунге лучше всего найти 4-5 начальных точек. Числа Рунге имеют вид:

$$m_{i1} = f_i(t_k, T_{\delta k}, \omega_k)$$

или

$$m_{11} = \frac{1}{vT} - \frac{T_{\delta III}}{T} - \frac{\omega_{III}}{v\omega_0 T};$$

$$m_{21} = -\frac{\omega_{III}^2}{2I_{np_{III}}} \left(\frac{dI_{np}}{d\varphi} \right)_{III} + \frac{T_{\delta III} - T_{c_{III}}}{I_{np_{III}}}.$$

Все величины со значком «III» берутся в конце предыдущего этапа, когда начинается движение ведомая полумуфта 3 вместе с рабочей машиной.

$$m_{i2} = f_i \left(t_k + \frac{h}{2}; T_{\delta k} + \frac{hm_{11}}{2}; \omega_k + \frac{hm_{21}}{2} \right)$$

или

$$m_{12} = \frac{1}{vT} - \frac{T_{\delta III} + 0,5hm_{11}}{T} - \frac{\omega_{III} + 0,5hm_{21}}{v\omega_0 T};$$

$$m_{21} = -\frac{(\omega_{III} + 0,5hm_{21})^2}{2I'_{np_{III}}} \left(\frac{dI_{np}}{d\varphi} \right)_{III} + \frac{T'_{\delta III} - T'_{c_{III}}}{I'_{np_{III}}}.$$

Величины со штрихом должны быть взяты в период $t'_k = 0 + 0,5h$,

где h – выбранный шаг интегрирования.

Числа:

$$m_{i3} = f_i \left(t_k + \frac{h}{2}; T_{\delta k} + \frac{hm_{12}}{2}; \omega_k + \frac{hm_{22}}{2} \right)$$

или

$$m_{13} = \frac{1}{vT} - \frac{T_{\delta III} + 0,5hm_{12}}{T} - \frac{\omega_{III} + 0,5hm_{22}}{v\omega_0 T};$$

$$m_{23} = -\frac{(\omega_{III} + 0,5hm_{22})^2}{2I'_{np_{III}}} \left(\frac{dI_{np}}{d\varphi} \right)_{III} + \frac{T'_{\delta III} - T'_{c_{III}}}{I'_{np_{III}}}.$$

Числа:

$$m_{i4} = f_i(t_k + h; T_{\delta k} + hm_{13}; \omega_k + hm_{23})$$

или

$$m_{14} = \frac{1}{vT} - \frac{T_{\partial_{III}} + hm_{13}}{T} - \frac{\omega_{III} + hm_{23}}{v\omega_0 T};$$

$$m_{24} = -\frac{(\omega_{III} + hm_{23})^2}{2I''_{np_{III}}} \left(\frac{dI_{np}}{d\varphi} \right)_{III} + \frac{T''_{\partial_{III}} - T''_{c_{III}}}{I''_{np_{III}}}.$$

Теперь можно найти:

$$T_{\partial_{i+1}} = T_{\partial_i} + \frac{h}{6}(m_{11} + 2m_{12} + 2m_{13} + m_{14});$$

$$\omega_{i+1} = \omega_i + \frac{h}{2}(m_{21} + 2m_{22} + 2m_{23} + m_{24}).$$

Далее, после 4-5 точек рационально перейти к методу Штермера и находить $T_{\partial_{i+1}}$ и ω_{i+1} по следующим формулам:

$$T_{\partial_{i+1}} = T_{\partial_i} + \left(\frac{dT_{\partial}}{dt} \right)_i h + \frac{1}{2} \Delta T_{\partial_{i-1}} + \frac{5}{12} \Delta^2 T_{\partial_{i-2}} + \dots$$

$$\omega_{i+1} = \omega_i + \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_i h + \frac{1}{2} \Delta \omega_{i-1} + \frac{5}{12} \Delta^2 \omega_{i-2} + \dots$$

В этих формулах величины $\left(\frac{dT_{\partial}}{dt} \right)_i$ и $\left(\frac{d\omega}{dt} \right)_i$ надо находить по правой части формул

(1) и (2) при известных значениях параметров при шаге i .

$$\left. \begin{aligned} \Delta T_{\partial_{i-1}} &= \left(\frac{dT_{\partial}}{dt} \right)_i - \left(\frac{dT_{\partial}}{dt} \right)_{i-1} \\ \Delta \omega_{i-1} &= \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_i - \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_{i-1} \end{aligned} \right\} \text{— разности 1 - го порядка.}$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta^2 T_{\partial_{i-2}} &= \Delta T_{\partial_{i-1}} - \Delta T_{\partial_{i-2}} \\ \Delta^2 \omega_{i-2} &= \Delta \omega_{i-1} - \Delta \omega_{i-2} \end{aligned} \right\} \text{— разности 2 - го порядка и т.д. далее.}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 418645 СССР. Центробежная пусковая муфта / Б.Г. Кобцев, В.Н. Коськин (СССР). – № 1741625/25 – 27; заявл. 31.01.72; опубл. 05.03.74.
2. Корнеева, Е.Н. Численные методы решения уравнений движения / Е.Н. Корнеева, Ю.С. Корнеев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2009. – №4/276(575). – С. 10 – 14.
3. Двайт, Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Пер. с англ. Н.В. Леви, под ред. К.А. Семендяева. – 6 – е изд. – М.: Наука, 1983. – с. 172.
4. Баранов, Г.Г. Курс теории механизмов и машин / Г.Г. Баранов. – М.: Машиностроение, 1967. – 508с.

Корнеев Юрий Степанович

ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
Кандидат технических наук, доцент
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: 41-98-96

Гордон Владимир Александрович

ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Высшая математика»
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: 41-98-48

Корнеева Елена Николаевна

ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
Кандидат технических наук, доцент
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: 41-98-48

Y.S. KORNEEV, V.A. GORDON, E.N. KORNEEVA

DYNAMICS OF DISPERSAL OF AN EXECUTIVE OFFICE OF THE TECHNOLOGICAL MACHINE WITH A PROTECTIVE CLUTCH AT THE ESTABLISHED MOVEMENT

Article is devoted to approximated and specified decisions of the differential equations of dispersal of a drive gear with a protective clutch at the established movement of the technological machine.

Keywords: *technological machine, drive gear, clutch, differential equation.*

BIBLIOGRAPHY

1. A. s. 418645 SSSR. Centrobezhnaja puskovaja mufta / B.G. Kobcev, V.N. Kos'kin (SSSR). – № 1741625/25 – 27; zajavl. 31.01.72; publ. 05.03.74.
2. Korneeva, E.N. Chislennye metody reshenija uravnenij dvizhenija / E.N. Korneeva, Ju.S. Korneev // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2009. – №4/276(575). – S. 10 – 14.
3. Dvajt, G.B. Tablicy integralov i drugie matematicheskie formuly / Per. s angl. N.V. Levi, pod red. K.A. Semendjaeva. – 6 –e izd. – M.: Nauka, 1983. – s. 172.
4. Baranov, G.G. Kurs teorii mehanizmov i mashin / G.G. Baranov. – M.: Mashinostroenie, 1967. –508s.

Korneev Yury Stepanovich

State University – Education Science Production Complex
Candidate of technical science, associate professor
302020, Orel, Naugorskoe shosse, 29
Tel: 41-98-96

Gordon Vladimir Aleksandrovich

State University – Education Science Production Complex
Doctor of technical science, professor, head of department “High mathematics”
302020, Orel, Naugorskoe shosse, 29
Tel: 41-98-48

Korneeva Elena Nickolaevna

State University – Education Science Production Complex
Candidate of technical science, associate professor
302020, Orel, Naugorskoe shosse, 29
Tel: 41-98-48

В.М. СОЛДАТКИН

МОДЕЛИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ОПАСНОСТИ ОТКАЗОВ ИНТЕГРИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Раскрывается методика построения моделей количественной оценки влияния отказов систем и блоков бортового оборудования на уровень безопасности полета и использования их в каналах информационно-управляющей системы контроля и парирования отказов бортового оборудования.

Ключевые слова: бортовое оборудование, комплекс, отказы, информативные функции опасности, методика, формирование, использование.

ВВЕДЕНИЕ

Возрастание сложности интегрированного комплекса бортового оборудования (ИК-БО) современных самолетов приводит к увеличению вероятности отказа техники, усложняет деятельность экипажа, является причиной дополнительных ошибок пилотирования. Это обуславливает возрастание роли средств автоматизированного контроля и парирования отказов систем и блоков, входящих в состав ИКБО.

С позиции обеспечения уровня безопасности полета, регламентируемого Авиационными правилами (АП) и Нормами летной годности самолетов (НЛГС) [1], бортовые средства автоматизированного контроля состояния ИКБО должны выполнять функции информационно-управляющей системы контроля и парирования отказов бортового оборудования (ИУС КПО БО) [2], т.е. не только обнаруживать отказы, но и принимать управленческие решения по их парированию с учетом уровня опасности возникшей нештатной ситуации.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ВЛИЯНИЯ ОТКАЗОВ

Используя подход, рассмотренный в работе [3], процесс функционирования ИКБО за время полета представим в виде последовательности определенных этапов: рулежка, разбег, взлет, набор высоты, крейсерский полет, маневрирование, снижение, приземление, пробег и останов.

Если принять, что события A_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), заключающиеся в успешном (безопасном) завершении i -го этапа, независимы, тогда безопасным завершением полета в целом будет являться событие A , определяемое как конъюнкция событий

$$A = A_1 \cap A_2 \cap A_3 \dots \cap A_n. \quad (1)$$

Поскольку на каждом этапе полета состав используемых функциональных систем и блоков бортового оборудования (БО) различен, то каждое событие A_i может быть выражено через логическую сумму событий B_{ji} , представляющих собой факты нормального функционирования каждой j -ой комбинации используемых функциональных систем и блоков БО на i -м этапе полета. При $j = 1, 2, \dots, m$ имеем

$$A_i = B_{1i} \cap B_{2i} \cap B_{3i} \dots \cap B_{mi}, \quad (2)$$

где m – число возможных комбинаций основных функциональных систем и блоков бортового оборудования, используемых на i -м этапе полета.

Каждое событие B_{ji} представим в виде совместного наступления события S_{lji} , при котором каждая l -я функциональная система (блок) БО в j -ой комбинации на i -м этапе выполняет свои функции, (т.е. работоспособна).

При $l = 1, 2, \dots, k$, получим

$$B_{ji} = S_{1ji} \cap S_{2ji} \cap \dots \cap S_{kji}, \quad (3)$$

где k – число используемых бортовых систем в j -ой комбинации на i -м этапе полета.

Тогда, учитывая соотношения (1) – (3), получим выражение для вероятности $P(A)$ обеспечения уровня безопасности $P_{\text{он}}$ в процессе всех этапов полета в виде

$$P(A) = P_{\sigma_n} = 1 - \prod_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \prod_{l=1}^k P(\bar{S}_{lji}) P(H/\bar{S}_{lji}), \quad (4)$$

где $P(\bar{S}_{lji})$ – вероятность отказа l -ой функциональной системы, обеспечивающей i -ый этап полета в j -ой комбинации;

$P(H/\bar{S}_{lji})$ – условная вероятность летного происшествия (нештатной ситуации) при отказе l -ой функциональной системы бортового оборудования в j -ой комбинации на i -м этапе полета.

Анализ выражения (4) позволяет оценить влияние вероятности отказа l -ой функциональной системы на изменение уровня безопасности полета на различных этапах полета. Кроме того, можно определить количество вспомогательных (резервных) систем, необходимых для обеспечения заданного уровня безопасности на i -м этапе полета, связанного с отказами используемой техники.

Если известна вероятность безотказной работы $P(B)$ вспомогательных (резервных) систем, то уровень безопасности полета P_T из-за возможных отказов техники может быть оценен выражением [4]

$$P_T = [1 - [1 - P(A)][1 - P(B)]].$$

На практике более удобно использовать величину, определяющую уровень опасности (аварийности) полета из-за отказов техники [5]:

$$P_{on} = [1 - P_m] = [1 - P(A)][1 - P(B)].$$

Находя для $P(B)$ выражение, аналогичное (4), получим

$$P_{on} = \left[1 - \prod_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \prod_{l=1}^k P(\bar{S}_{lji}) P(H/\bar{S}_{lji}) \right] \times \left[1 - \prod_{i=1}^n \sum_{r=1}^M \prod_{q=1}^N P(\bar{S}_{qri}) P(H/\bar{S}_{qri}) \right], \quad (5)$$

где r – комбинация вспомогательных систем на i -м этапе полета;

M – число возможных комбинаций вспомогательных систем на i -х этапах;

q – одна из вспомогательных систем в комбинации r на i -м этапе полета;

N – число вспомогательных систем в комбинации r на i -м этапе полета;

$P(\bar{S}_{qri})$ – вероятность отказа q -й вспомогательной системы, обеспечивающей i -й этап полета в комбинации r ;

$P(H/\bar{S}_{qri})$ – условная вероятность нештатной ситуации при отказе q -й вспомогательной системы, обеспечивающей i -й этап полета в комбинации r .

Следовательно, используя выражение (5) на каждом этапе полета для каждой комбинации задействованных систем и агрегатов можно выбрать l систем и агрегатов, отказы которых с определенной вероятностью могут стать причиной возникновения летных происшествий или нештатных ситуаций [6].

Для их отбора можно использовать оценку вероятности $P(H)_l$ того, что летное происшествие произойдет из-за отказа данной l -й системы, контролируемой системой контроля бортового оборудования

$$P(H) = \frac{P(\bar{S}_l) P(H/\bar{S}_l)}{\sum_{l=1}^k P(\bar{S}_l) P(H/\bar{S}_l)} = \frac{P(\bar{S}_l) P(H/\bar{S}_l)}{P(H)}, \quad (6)$$

где $P(\bar{S}_l)$ – вероятность отказа l -ой функциональной системы;

$P(H/\bar{S}_l)$ – условная вероятность нештатной ситуации (летного происшествия) при отказе l -ой функциональной системы;

$P(H)$ – полная вероятность летного происшествия по всем отказам функциональных систем данной комбинации l .

ИНФОРМАТИВНЫЕ ФУНКЦИИ ОПАСНОСТИ ОТКАЗОВ

Условные вероятности $P(\bar{S}_l)$ и $P(H/\bar{S}_l)$ в выражении (6) определяются по значениям

условных вероятностей парирования экипажем последствий отказов бортовых систем. Указанные значения определяются путем моделирования отказов бортовых систем на стендах, тренажерах и в условиях полета, или по статистическим данным эксплуатации однотипных систем бортового оборудования [5,7].

При проектировании ИУС КПО БО оценивается влияние следующих основных факторов: отказов техники с вероятностью P_T ; ошибочных действий летного состава (экипажа) с вероятностью $P_{Л}$; исправной работы информационно-управляющей системы, определяемой вероятностью $P_{СК}$; воздействия внешних возмущений, возникающих с вероятностью P_B , которые составляют полную группу событий.

За счет реализации организационно-технических мероприятий по поддержанию соответствующей квалификации летного состава уровень частного показателя $P_{Л}$ нормируется условием $P_{Л} \geq P_{Л}^{зад}$. При работе информационно-управляющей системы предотвращения критических режимов уровень показателя P_B поддерживается не ниже $P_B^{зад}$. Поэтому при работе информационно-управляющей системы контроля и парирования отказов бортового оборудования уровень безопасности отдельного полета может быть оценен показателем безопасности $P_{он}$, равным

$$P_{он} = P_T P_{СК} = (1 - P_{он}) > P_{он}^{HЭУ}, \quad (7)$$

где $P_{он}^{HЭУ}$ – нормированное НЛГС значение уровня безопасности, соответствующее нормальным эксплуатационным условиям полета;

$P_{он}$ – вероятность неблагоприятного исхода полета, определяющая уровень опасности данного состояния БО.

Как отмечается в работе [7], наиболее сложной проблемой при оценке влияния отказов функциональных систем на летную годность самолета и, следовательно, уровень безопасности полета, является исследование последствий этих отказов и определение степени опасности возникающей нештатной ситуации. При этом задача состоит в определении степени опасности неблагоприятного фактора отказа i -го функционального элемента (системы) или условной вероятности его непарирования P_{H_i} и установления вида особой ситуации H_i , к которому приводят последствия этого отказа.

Предлагается распространить этот подход для оценки изменения уровня опасности полета самолета при отказах функциональных систем бортового оборудования.

Определим пороговые значения степени опасности отказов функциональных систем БО, по которым можно провести идентификацию их по особым ситуациям, регламентируемым нормами летной годности самолетов (НЛГС).

Вероятности появления различных особых ситуаций $P_{он}^{H_i}$ регламентированы НЛГС, поэтому количественно условные вероятности P_{H_i} непарирования этих ситуаций H_i , связанные с отказами техники, можно найти из предположения, что за время полета самолета каждая из четырех регламентируемых особых ситуаций ((КС), (АС), (СС) и (УУП)) дает один и тот же уровень риска, равный вероятности возникновения катастрофической ситуации:

$$P_{он} = P_T P_{СК} = 1 - P_{он} = Q = \text{const} = 10^{-9}.$$

При этом ИУС КПО БО в ожидаемых условиях полета при возможных отказах систем БО должна обеспечивать удовлетворение требований НЛГС к уровню безопасности полета [7]:

– возникновение катастрофической ситуации должно оцениваться как событие не более частое, чем практически невероятное, то есть вероятность $P_{КС}$ возникновения КС для самолета не должна превышать $P_{КС} < 10^{-9}$ за 1 час полета или за полет в целом;

– суммарная вероятность $P_{АС}$ аварийной ситуации для самолета не должна превышать $P_{АС} < 10^{-7}$ за 1 час или за полет в целом, при этом возникновение АС должно рассматриваться

как событие не более частое, чем крайне маловероятное ($10^{-9} < P_{AC} < 10^{-7}$);

– суммарная вероятность P_{CC} сложной ситуации для самолета не должна превышать $P_{CC} < 10^{-5}$ за 1 час или за полет в целом, при этом возникновение СС должно рассматриваться как событие не более частое, чем маловероятное ($10^{-7} < P_{CC} < 10^{-5}$);

– суммарная вероятность P_{YUP} усложнения условий полета (УУП) самолета не должна превышать $P_{YUP} < 10^{-3}$ за 1 час или за полет в целом, при этом возникновение УУП должно рассматриваться как событие умеренно вероятное и не повторяющееся ($10^{-5} < P_{YUP} < 10^{-3}$).

В соответствии с регламентируемыми требованиями к ИУС КПО БО определим регламентируемые значения условных вероятностей $P_{on}^{H_i}$ непарирования неблагоприятных факторов (отказов в работе БО) r_i в H_i особой ситуации. Частота появления H_i особой ситуации регламентирована НЛГС, поэтому значения условных вероятностей $P_{on}^{H_i}$ можно найти из предположения, что в течение одного часа полета или за полет в целом каждая из возможных при отказах бортового оборудования нештатных ситуаций (КС, АС, СС, УУП) не должны превышать уровень опасности P_{on} , равный по величине регламентируемой НЛГС вероятности возникновения катастрофической ситуации, т.е.

$$P_{on} = P_{H_i} P_{on}^{H_i} = \text{const} = 10^{-9}. \quad (8)$$

С учетом (8), уровни опасности $P_{on}^{H_i}$ непарирования нештатных ситуаций, обусловленных отказами БО, за 1 час или за полет в целом принимают следующие значения: $P_{on}^{KC} = 1$ – для катастрофической ситуации; $10^{-2} \leq P_{on}^{AC} < 1$ – для аварийной ситуации; $10^{-4} \leq P_{on}^{CC} < 10^{-2}$ – для сложной ситуации; $10^{-6} \leq P_{on}^{YUP} < 10^{-4}$ – для усложненных условий полета.

При этом условная вероятность $P_{on}^{HЭУ}$ при полете в нормальных эксплуатационных условиях (при отсутствии отказов) будет определяться неравенством $10^{-9} \leq P_{on}^{HЭУ} < 10^{-6}$.

Полученные уровни опасности $P_{on}^{H_i}$ режима полета при отказах БО на границах перехода от одной особой ситуации в работе БО к другой принимают фиксированные количественные значения: при переходе от нормального (безотказного) полета к УУП $P_{on}^{H_i} = 10^{-6}$, на границе УУП и СС $P_{on}^{H_i} = 10^{-4}$, на границе СС и АС – $P_{on}^{H_i} = 10^{-2}$, на границе АС и КС – $P_{on}^{H_i} = 1$, что можно использовать при реализации ИУС КПО БО.

Как указано выше, определяющими признаками влияния отказов БО на возникновение нештатных ситуаций на данном режиме полета являются превышения характерных (критических) параметров состояния самолета x_i известных для каждой нештатной ситуации эксплуатационных ограничений (пороговых значений) x_{Pi} . Основные критерии нештатных ситуаций, связанных с отказами агрегатов и систем БО, на каждом режиме полета самолета однозначно известны (например, см. [5, 7]), поэтому могут быть однозначно определены количественные значения $x_{Pi}^{H_i}$ критических параметров x_i на границах каждой из рассмотренных выше особых ситуаций H_i . Тогда каждая из особых ситуаций H_i в полете, обусловленная критическим параметром x_i , может быть идентифицирована следующими уравнениями: катастрофическая ситуация – $x_i > x_{Pi}^{KC}$, $P_{on}^{x_i} = 1$; аварийная ситуация – $x_{Pi}^{AC} \leq x_i < x_{Pi}^{KC}$, $10^{-2} \leq P_{on}^{x_i} < 1$; сложная ситуация – $x_{Pi}^{CC} \leq x_i < x_{Pi}^{AC}$, $10^{-4} \leq P_{on}^{x_i} < 10^{-2}$; усложнение условий полета – $x_{Pi}^{YUP} \leq x_i < x_{Pi}^{AC}$, $10^{-6} \leq P_{on}^{x_i} < 10^{-4}$; нормальный эксплуатационный режим – $x_i < x_{Pi}^{YUP}$, $10^{-9} \leq P_{on}^{x_i} < 10^{-6}$.

Так как на границах особых ситуаций H_i связь значений критических параметров x_i состояния БО и вероятностных показателей опасности режима полета $P_{on}^{x_i}$ однозначна, то по граничным точкам может быть построена детерминированная непрерывная информативная функция

$$F_{on}^{x_i} = f(x_i), \quad (9)$$

однозначно характеризующая изменение уровня опасности режима полета при отказе i -ой системы БО, приводящем к изменению критического параметра x_i .

При формировании информативной функции опасности $F_{on}^{x_i}$ учитывается отказ функциональной системы, приводящий к изменению параметра x_i , в предположении, что другие системы БО не отказали и другие параметры x_j движения самолета находятся в пределах эксплуатационной области и не оказывают заметного влияния на изменение вероятностного показателя опасности $P_{on}^{x_i}$. При отказах нескольких функциональных систем и обусловленных ими изменениями различных критических параметров $x_i, i = 1, 2, \dots, n$ уровень опасности режима полета, обусловленный состоянием БО в целом может быть построена интегральная информативная функция опасности всех отказов БО $F_{on}(x_1, x_2, \dots, x_n)$, определяющая изменение уровня опасности режима полета в целом, вида

$$F_{on}(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_{on}^{x_i}) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - f(x_i)] \quad (10)$$

Параметры x_i на каждом режиме полета взаимосвязаны через динамику движения самолета, поэтому эти связи учитываются и в полученной информативной функции опасности. Если в соответствии с регламентируемыми НЛГС нештатными ситуациями (НЭУ, УУП, СС, АС, КС) и динамикой изменения критических параметров $x_i(t)$ по зависимостям вида (9), (10)

построить графики изменения во времени частных $F_{on}^{x_i}$ и интегральной F_{on} информативных функций достоверности контроля состояния систем и подсистем БО, то по их положению относительно границ регламентируемых НЛГС особых ситуаций можно оценить текущий уровень безопасности режима полета, идентифицировать вид и степень опасности отказов бортовых функциональных систем, вызвавших возникновение нештатной ситуации, и, следовательно, сформировать сигналы предупреждения экипажа и принять меры по восстановлению отказавшей системы за счет реконфигурации бортового оборудования, перестройки штурвального и автоматического управления, принятия других оперативных решений по парированию последствий отказов.

В более общем случае при отказе функциональных систем бортового оборудования дополнительным фактором, который может осложнить возникающую особую ситуацию, в основном, являются ошибочные действия экипажа. Поэтому при оценке опасности такой особой ситуации в соотношении (7) в общем случае должна учитываться вероятность P_{Δ} отклонения действий летного состава (экипажа) от предписанных руководством по летной эксплуатации.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ФУНКЦИЙ ОПАСНОСТИ ОТКАЗОВ

Рассмотренный подход позволяет решать задачу оценки состояния бортового оборудования и летательного аппарата в целом с помощью предложенных информативных функций $F_{on}^{x_i}$ опасности отказа i -ой функциональной системы и обобщенной (интегральной) функции $F_{on}(x_1, x_2, \dots, x_m)$ опасности всех отказов бортового оборудования, т.е. отклонения контролируемых параметров x_i от нормальных эксплуатационных значений всех m контролируемых параметров. При этом с учетом взаимосвязи параметров вектора состояния

объекта $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$, частных $F_{on}^{x_i}$ и обобщенной $F_{on}(x_1, x_2, \dots, x_m)$ информативных функций опасности можно оценить текущий уровень безопасности полета летательного аппарата и степень опасности возникшей из-за отказов нештатной (особой) ситуации.

Так если за состояние H_0 принять нормальный режим полета (без отказов), соответствующий нормальным эксплуатационным условиям (НЭУ), регламентируемым нормами летной годности самолета (НЛГС), то нахождение функций опасности $F_{on}^{x_i}$ и $F_{on}(x_1, x_2, \dots, x_m)$ в области H_0 означает, что их значения удовлетворяют условию

$$F_{on}^{x_i} \leq F_{on}^{\text{Э}x_i}, F_{on}(x_1, x_2, \dots, x_m) \leq F_{on}^{\text{Э}},$$

где $F_{on}^{\text{Э}}$ регламентируемое НЛГС значение информативной функции опасности отказов, которое не приводит к нарушению нормального эксплуатационного режима полета.

Тогда состоянию H_1 будет соответствовать регламентируемая НЛГС нештатная ситуация – усложнение условий полета и выполняются неравенства

$$F_{on}^{\text{УУП}} \leq F_{on}^{x_i} < F_{on}^{\text{СС}}; F_{on}^{\text{УУП}} \leq F_{on} < F_{on}^{\text{СС}},$$

где $F_{on}^{\text{УУП}}$ и $F_{on}^{\text{СС}}$ значения информативных функций опасности отказов, соответствующие границам возникновения регламентируемых НЛГС УУП и сложной ситуации.

Состоянию H_2 будет соответствовать регламентируемая НЛГС СС, когда имеют место неравенства вида

$$F_{on}^{\text{СС}} \leq F_{on}^{x_i} < F_{on}^{\text{АС}}; F_{on}^{\text{СС}} \leq F_{on} < F_{on}^{\text{АС}},$$

где $F_{on}^{\text{АС}}$ – значения информативных функций отказов, соответствующие границе возникновения аварийной ситуации.

Состояния H_3 и H_4 будут соответствовать регламентируемой НЛГС аварийной и катастрофической ситуаций, когда имеют место неравенства

$$F_{on}^{\text{АС}} \leq F_{on}^{x_i} < F_{on}^{\text{КС}}; F_{on}^{\text{АС}} \leq F_{on} < F_{on}^{\text{КС}}; \\ F_{on}^{x_i} \geq F_{on}^{\text{КС}}, F_{on} \geq F_{on}^{\text{КС}}.$$

Так как в процессе полета возникновение АС и КС недопустимо, то при исследовании бортовой информационно-управляющей системы контроля состояния бортового оборудования необходимо исследовать только ситуации, характеризующиеся функциями опасности $F_{on}^{x_i}$ и $F_{on}(x_1, x_2, \dots, x_m)$, а именно H_0 , H_1 и H_2 , соответствующие нормальным эксплуатационным условиям полета, усложнению условий полета и сложной ситуации.

Следовательно, задача бортовой ИУС КПО БО сводится к построению и определению в полете текущих значений информативных функций опасности отказов $F_{on}^{x_i}$ и $F_{on}(x_1, x_2, \dots, x_m)$ и сравнение их с допустимыми эксплуатационными значениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по результатам измерения текущих значений контролируемых параметров бортовых систем можно определить как состояние контролируемой функциональной системы, так и, в случае его отклонения от нормальных эксплуатационных значений, по построенным информативным функциям опасности оценить степень влияния возникшего отказа на уровень безопасности полета и идентифицировать возникновение регламентируемых нормами летной годности самолета особых ситуаций. При этом может быть выделена функциональная система, отказ которой оказывает наибольшее влияние на изменение уровня безопасности полета (т.е. приводит к опасному изменению параметров движения) и определить управление, которое (парирование отказа за счет резервирования). С помощью информативных функций опасности можно прогнозировать возникновение и развитие особых ситуаций, связанных с отказами функциональных систем бортового оборудования, а также

решать задачи синтеза алгоритмов автоматического и штурвального управления по выводу летательного аппарата из возникшей нештатной ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиационные правила. Ч.25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. М.: Изд. Международного авиационного комитета, 1994. – 321с.
2. Солдаткин, В.М. Методы и средства построения информационно-управляющих систем обеспечения безопасности полета / В.М. Солдаткин. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2004. – 350с.
3. Макаров, Н.Н. Теоретические основы построения интегрированной системы обеспечения безопасности функционирования бортового эргатического комплекса / Н.Н. Макаров // Изв. вузов. Авиационная техника. – 2007. – №4. – С. 48 – 52.
4. Майоров, А.В. Безопасность функционирования автоматизированных объектов / А.В. Майоров, Г.Н. Москатов, Г.П.Шибанов. – М.: Машиностроение, 1998. – 264с.
5. Безопасность полетов / Р.В. Сакач, Б.В. Зубков, М.Ф. Давиденко и др.; под ред. Р.В. Сакача. М.: Транспорт, 1989. – 239с.
6. Кудрицкий, В.Д. Автоматизация контроля радиоэлектронной аппаратуры / В.Д. Кудрицкий, М.А. Сеница, П.И. Чинаев; под ред. П.И. Чинаева. – М.: Сов. радио, 1977. – 256с.
7. Воробьев, В.Г. Технические средства и методы обеспечения безопасности полетов / В.Г. Воробьев, Б.В. Зубков, Б.Д. Уриновский. – М.: Транспорт, 1989. – 151с.

Солдаткин Владимир Михайлович

Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Приборы и информационно-измерительные системы»

Тел. (843) 236-51-21

E-mail: xli@piis.rstu-kai.ru

V.V.SOLDATKIN

MODELS FOR QUANTITATIVE ESTIMATION OF THE FAILURE DANGER OF THE INTEGRATED AIRBORNE EQUIPMENT COMPLEX

Reveal a technique for consisting models of quantitative estimation of the influence of airborne equipment systems and units failures on the flight safety level and their application in the channels of a information-control system for inspection and counteraction of airborne equipment failures.

Keywords: *airborne equipment, complex, failures, informative functions of danger, technique, formation, application.*

BIBLIOGRAPHY

1. Aviacionnye pravila. Ch.25. Normy letnoj godnosti samoletov transportnoj kategorii. M.: Izd. Mezhdunarodnogo aviacionnogo komiteta, 1994. – 321s.
2. Soldatkin, V.M. Metody i sredstva postroenija informacionno-upravljajuwih sistem obespechenija bezopasnosti poleta / V.M. Soldatkin. – Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tehn. un-ta, 2004. – 350s.
3. Makarov, N.N. Teoreticheskie osnovy postroenija integrirovannoj sistemy obespechenija bezopasno-sti funkcionirovanija bortovogo jergaticheskogo kompleksa / N.N. Makarov // Izv. vuzov. Aviacionnaja tehnika. – 2007. – №4. – S. 48 – 52.
4. Majorov, A.V. Bezopasnost' funkcionirovanija avtomatizirovannyh ob#ektov / A.V. Majorov, G.N. Moskatov, G.P.Shibanov. – M.: Mashinostroenie, 1998. – 264s.
5. Bezopasnost' poletov / R.V. Sakach, B.V. Zubkov, M.F. Davidenko i dr.; pod red. R.V. Sakacha. M.: Transport, 1989. – 239s.
6. Kudrickij, V.D. Avtomatizacija kontrolja radioelektronnoj apparatury / V.D. Kudrickij, M.A. Sinica, P.I. Chinaev; pod red. P.I. Chinaeva. – M.: Sov. radio, 1977. – 256s.
7. Vorob'ev, V.G. Tehnicheskie sredstva i metody obespechenija bezopasnosti poletov / V.G. Vorob'ev, B.V. Zubkov, B.D. Urinovskij. – M.: Transport, 1989. – 151s.

Soldatkin Vladimir Mihaylovich

Kazan State technical university named after A.N.Tupolev

Doctor of technical science, professor, head of department “Devices and information and measuring systems”

Tel. 843-236-54-21

E-mail: xli@piis.rstu-kai.ru

РЕАГЕНТНОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФАТЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Рассмотрены способы подбора реагентов и технологических приёмов для осаждения ионов тяжелых металлов и связывания сульфат-иона, приведены расчетные и экспериментальные данные.

Ключевые слова: сточная вода, обессоливание, тяжелые металлы, сульфаты металлов.

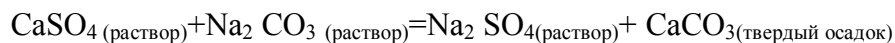
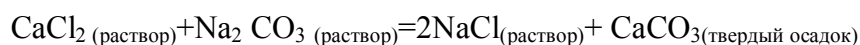
Сточные воды машиностроительных предприятий часто содержат соединения тяжелых металлов в концентрациях, превышающих предельно допустимые нормы. Наибольший удельный вес среди таких соединений имеют сульфаты цинка, меди и железа. На сегодняшний день предложено много путей решения данной проблемы, но наиболее перспективным направлением является очистка сточных вод с целью возвращения их в производство [1].

В настоящее время на предприятиях широко используются следующие методы очистки сточных вод от тяжелых металлов: реагентные, электрохимические, ионообменные. При высоких исходных концентрациях загрязняющих веществ (более 10 г/л) экономически предпочтительно использовать для очистки реагенты, наиболее дешевыми из которых являются оксид кальция и гашеная известь. В таблице 1 представлены усредненные составы кислых сточных вод Орловского сталепрокатного завода (ОСПАЗ) по итогам 2003-2004г. Результаты анализов показывают, что снижение солесодержания поступающих на станцию нейтрализации сточных вод после обработки известковым молоком с одновременной аэрацией снижается всего на 0,4 г/л. Использование воздуха позволяет резко снизить содержание железа в нейтрализованных водах.

Таблица 1 – Состав заводских сточных вод до и после нейтрализации

Общая жесткость ммоль/л	pH	H ₂ SO ₄ , г/л.	HCl, г/л.	Fe, мг/л	SO ₄ , мг/л	Zn, мг/л	NO ₃ , мг/л.	Cr ⁺⁶ , мг/л	Cu, мг/л.	Взвеси, мг/л.	Сухой остаток мг/л
кислые сточные воды											
42	3,1	0,47	0,12	510	1230	16,3	14,6	0,09	11,82	29	6159
нейтрализованные сточные воды											
34	8,7	нет	нет	2,4	1340	1,47	2,8	нет	3,4	37	5781

Как видно, основная сложность при повторном использовании нейтрализованных сточных вод обусловлена значительным солесодержанием, а также высокой жесткостью, которую можно устранить, например, дополнительной обработкой стоков карбонатом натрия [2]. При добавлении карбоната натрия жесткость, достигающая 32-35 ммоль/л, снижается до 7-8 ммоль/л за счет протекания следующих реакций:



В лабораторных условиях было опробовано несколько технологических вариантов доочистки нейтрализованных сточных вод ОСПАЗа от сульфатов металлов. На первой стадии сточную воду обрабатывали раствором известкового молока, а на второй- раствором карбоната натрия или раствором гидрофосфата натрия. Однако нам не удалось снизить ко-

нечное солесодержание очищенной воды менее 4,5 г/л, т.к. в растворе в результате обменных реакций накапливались соли натрия. При таких параметрах очищенной воды возврат ее в водооборотный цикл производства практически невозможен. К тому же возврат обработанных стоков осложняется возможностью выделения на поверхности производственных нагревательных элементов и трубопроводов остаточного сульфата кальция, который снижает эффективность ряда технологических процессов.

Нами был предложен и разработан новый метод дополнительного обессоливания нейтрализованных сточных вод травильного и гальванического участков машиностроительного производства, исключающий их загрязнение солями натрия, что позволяет вернуть часть очищенных стоков в водооборотный цикл завода.

Очистку осуществляли в две стадии. Вначале сточные воды обрабатывали раствором известкового молока до pH 9,0-10,5, затем, после отделения осадка, осветленную воду обрабатывали диоксидом углерода до pH 7,0-7,5. Выпавший осадок карбоната кальция использовали при нейтрализации сточных вод на первой стадии. После обработки диоксидом углерода жесткость воды снижается до 6-8 ммоль/л, а солесодержание сокращается на 1,5-2 г/л. Данные результатов анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты обработки диоксидом углерода нейтрализованных сточных вод

№ опыта	Параметры раствора после этапа					
	нейтрализации			дополнительной очистки		
	Ж _о , ммоль/л	pH	солесодержание, г/л	Ж _о , ммоль/л	pH	солесодержание, г/л
1	33	9,5	5,6	6,2	7,0	4,0
2	34	10,0	5,8	7,8	7,5	3,8
3	36	10,5	5,9	8,0	7,3	3,5

Данный способ позволил повысить эффективность доочистки сточных вод после их нейтрализации известковым молоком за счет снижения жесткости и солесодержания очищенной воды. Однако по разработанной технологии не удалось снизить содержание солей в очищенной воде ниже 3,5 г/л.

Поэтому нами на основе известных значений произведений растворимости был подобран способ дополнительной очистки нейтрализованных сточных вод от остаточных сульфатов металлов. Новая технология включает в себя двухстадийное осаждение: на первой стадии производственные кислые сточные воды обрабатывали известковым молоком до pH 7,5-8,0. На второй стадии после отделения выпавшего осадка в осветленную воду вводили карбонат бария и выдерживали полученную суспензию при перемешивании до превращения его в сульфат бария. Использование карбоната бария позволило существенно снизить остаточное солесодержание очищенной воды за счет протекания обменной реакции:



Движущей силой данной реакции является более низкое значение произведения растворимости BaSO_4 , чем произведение растворимости CaCO_3 ($1,1 \cdot 10^{-10}$ и $4,9 \cdot 10^{-9}$ соответственно), а также выпадение осадка карбоната кальция. После завершения реакции обмена осадок сульфата бария отделяли от воды и, его можно использовать, например, как утяжелитель буровых растворов. Очищенная таким образом вода в соответствии с расчетами должна содержать тяжелые металлы в количестве ниже ПДК при общем солесодержании менее 0,5 г/л.

Указанный способ был проверен в лабораторных условиях на модельных растворах. Для очистки были использованы три вида 0,1М водных растворов: сульфата железа (II), сульфата цинка и сульфата меди, содержащих соответственно $Fe^{2+}=5,58$ г/л, $Zn^{2+}= 6,54$ г/л и $Cu^{2+}= 6,35$ г/л. Эксперименты проводили при температуре $22 \pm 1^{\circ}C$, для каждого опыта брали 500 мл. раствора. Количество вводимого известкового молока (в пересчете на оксид кальция) на первой стадии очистки для опытов составляло 2,85 г CaO. Перед второй стадией очистки осадок отфильтровывали, и в фильтрат добавляли по 1,65 г карбоната бария и суспензию выдерживали при перемешивании 4 часа. После завершения второй стадии очистки растворы отфильтровывали от осадка и анализировали на содержание очищаемого металла, общее остаточное содержание солей, и конечное значение pH. Результаты анализов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты очистки модельных растворов

Вид раствора	FeSO ₄		ZnSO ₄		CuSO ₄	
	опыт 1	опыт 2	опыт 1	опыт 2	опыт1	опыт 2
№ опыта						
Содержание Me, мг/л	0,006	0,005	0,02	0,02	0,01	0,01
Солесодержание, г/л	0,15	0,16	0,13	0,12	0,17	0,16
pH раствора	7,8	8,0	8,0	7,9	7,9	7,8

Разработанный способ позволяет осуществлять комплексную очистку кислых сточных вод машиностроительных заводов от сульфатов тяжелых металлов ниже значений ПДК и резко снизить остаточное солесодержание в очищенной воде ниже 0,2 г/л, что позволяет возвращать очищенную воду в производственный цикл. Полученные результаты остаточного содержания солей ниже, чем уровни солесодержания в речной или артезианской воде, которая используется в производственном цикле ОСПАЗа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов, Д.Н. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов/ Д.Н Смирнов, В.Е. Генкин-М.: Металлургия, 1989.-315 с.
2. Патент №2010013 РФ ,С1 7С 02 F1/62,1/66, Способ очистки кислых сточных вод от ионов тяжелых металлов/ В.Я. Заманский, Ю.В. Павилайнен, М.Б. Трубицин, А.К. Федотов, А.Е. Богданов, А.П. Сидоров – опубл.: 1994.

Куценко Станислав Алексеевич

ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
 Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Химия»
 Тел. (4862) 41-98-92
 E-mail : chemistry@ostu.ru

Хрулева Жанна Викторовна

ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
 Ассистент кафедры «Химия»
 Тел. (4862) 41-98-92
 E-mail : chemistry@ostu.ru

Алимова Юлия Викторовна

ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
 Инженер-химик кафедры «Химия»
 Тел. (4862) 41-98-92
 E-mail : chemistry@ostu.ru

S.A. KUTZENKO, Zh.V. HRULEVA, U.V. ALIMOVA

REAGENT DESALTING OF WASTEWATER CONTAINING HEAVY METAL SULFATES

The method of selection of reagents and processing methods for the heavy metals sedimentation and sulfate ion binding. The calculated and experimental data are presented.

Keywords: wastewater, desalting, heavy metals, metal sulfates.

BIBLIOGRAPHY

1. Smirnov, D.N. Ochistka stochnyh vod v processah obrabotki metallov/ D.N Smirnov, V.E. Genkin- M.: Metallurgija, 1989.-315 s.

2. Patent №2010013 RF ,S1 7S 02 F1/62,1/66, Sposob ochistki kislyh stochnyh vod ot ionov tjazhelyh metallov/ V.Ja. Zamanskij, Ju.V. Pavilajnen, M.B. Trubicin, A.K. Fedotov, A.E. Bogdanov, A.P. Sidorov – opubl.: 1994.

Kuzenko Stanislav Alekseevich

State University – Education Science Production Complex
Doctor of technical science, professor, head of department “Chemistry”
Tel.: 4862-41-98-92
E-mail: chemistry@ostu.ru

Hruleva Zhanna Viktorovna

State University – Education Science Production Complex
Assistant of department “Chemistry”
302020 Naugorskoe shosse 29, Orel,
Tel.: 4862-41-98-92
E-mail: chemistry@ostu.ru

Alimova Yuliya Viktorovna

State University – Education Science Production Complex
Engineer-chemist of department “Chemistry”
302020 Naugorskoe shosse 29, Orel,
Tel.: 4862-41-98-92
E-mail: chemistry@ostu.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОВЗОВ ВО ВРЕМЯ ДВИЖЕНИЯ

В статье рассматриваются вопросы экспериментальных исследований по определению распределения температуры оборудования электровозов при движении в составе поездов на горном участке. Представлены результаты решения задачи исследования зависимости температуры нагрева от нескольких объясняющих переменных (силы тока, скорости движения, температуры окружающей среды и т.д.), методом множественного регрессионного анализа.

Ключевые слова: многофакторный анализ, нелинейная регрессия, распределение температуры нагрева, корреляция, тепловизионный контроль.

ВВЕДЕНИЕ

В железнодорожной отрасли приоритетными задачами являются повышение весовой нагрузки и скорости поездов, а значит и мощности локомотивов, а также создание бортовых систем диагностики технического состояния локомотивов во время их движения. Тепловой метод контроля является одним из самых эффективных методов безразборного контроля энергетических и транспортных систем. Для проведения тепловой диагностики оборудования электровозов во время движения необходимо учитывать погрешности инфракрасного контроля и способы их устранения, конструктивные особенности электрооборудования и его теплофизические характеристики, а также нормативные значения теплового состояния. Для разработки рекомендаций по допустимым уровням температуры типовых агрегатов и электрического оборудования электровозов необходимо также провести анализ экспериментальных данных распределения температуры деталей во время движения и изучить термограммы характерных неисправностей электрического и механического оборудования.

1 ПРИМЕНЕНИЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Лабораторией «Техническая диагностика» ИрГУПС проведен большой объем экспериментальных исследований по определению температурных полей электрического оборудования электровозов при движении в составе поездов грузоподъемностью около 6000 тонн на горном участке движения между станциями «Большой Луг» – «Слюдянка» Восточно-Сибирской железной дороги ОАО «РЖД». Путем анализа термоизображений получены массивы данных температуры таких деталей электровозов переменного тока ВЛ80р и ВЛ85 как: контакторы, быстродействующие переключатели, разъединители, низковольтные вставки и трансформаторы, реле, резисторы, выпрямительно-инверторные преобразователи (ВИП), выпрямительные установки возбуждения, силовые шины, шунты, кабели и их контактные соединения.

Данные распределения поля температур фиксировались тепловизором IRI 4010 и сохранялись в карте памяти. Одновременно с этим фиксировались данные силы тока, напряжения, скорости и позиции контролера машиниста для сопоставления с термоизображениями деталей во времени и проведения анализа распределения полей температур. Обработка данных ряда поездок показала, что при движении на сложном, горном участке железной дороги температура некоторых деталей перечисленного выше оборудования электровозов была близка или даже превышала предельно допустимые значения (25 % контактов силовых шин, 17% ВИП).

Для определения зависимости температуры нагрева типового оборудования электровозов от температуры окружающей среды, профиля пути и силы тока использован метод регрессионного анализа [1]. При изучении реальных процессов нагрева выясняется, что существуют физические величины, которые, с одной стороны, не связаны явной взаимно однозначной функциональной зависимостью, но, с другой стороны, не являются и абсолютно независимыми. Это значит, что при одном и том же значении переменной X (температура окружающей среды, аналогичных деталей и др.) в экспериментах получаются различные значения переменной Y (измеряемая температура нагрева). Причем их разброс значительно превышает погрешность измерения ΔY . В то же время средние значения \bar{Y} регулярно уве-

личиваются или уменьшаются с ростом X . Найденный коэффициент корреляции R и будет являться информативной характеристикой связи двух случайных величин X и Y

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

где \bar{x} и \bar{y} – среднее статистическое результатов измерений x_i и y_i соответственно.

Для расчета границ доверительного интервала необходимо знать распределение вероятностей случайной величины R . В математической статистике установлено, что это распределение в общем случае зависит от истинного значения коэффициента корреляции ρ_{XY} , которое неизвестно экспериментатору. Рассмотрим алгоритм, который дает надежные результаты даже для небольшого количества измеренных пар значений исследуемых величин X и Y .

Зададимся определенной доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$. На первом шаге требуется определить число ε (относительная погрешность), которое является корнем следующего нелинейного уравнения

$$\alpha = 2 \cdot \Phi(\varepsilon),$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$$

По заданному значению функции Лапласа $\alpha/2$, используя линейную интерполяцию, находим соответствующую величину аргумента ε . Доверительный интервал для коэффициента корреляции ρ_{XY} представим в виде

$$th(U - \varepsilon/\sqrt{(N-3)}) \leq \rho_{XY} \leq th(U + \varepsilon/\sqrt{(N-3)}), \quad (2)$$

где U – величина, которая связана с приближенным значением коэффициента корреляции R следующим образом

$$U = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+R}{1-R}\right).$$

Функция $th(z)$ — гиперболический тангенс, который можно выразить через экспоненциальную функцию удвоенного аргумента

$$th(z) = \frac{\exp(2z) - 1}{\exp(2z) + 1}$$

Вычисление границ доверительного интервала (2) требует более трех пар измерений. Предложенный способ построения доверительного интервала для коэффициента корреляции дает надежные результаты при любом значении величины ρ_{XY} , если число пар N измеренных значений $x_i, y_i, (i = 1, \dots, N)$ не менее десятка. Полученные значения отличаются от нуля. Следовательно, взаимосвязь исследуемых величин существует.

По заданной доверительной вероятности α и количеству проведенных пар измерений N находим значение коэффициента Стьюдента $t_{\alpha, N-2}$, соответствующее вероятности α и числу степеней свободы $(N - 2)$. Пользуясь полученными результатами измерений (1), вычислим значение случайной величины T_R (ошибки или погрешности) по формуле:

$$T_R = R \sqrt{\frac{N-2}{1-R^2}}$$

В результате получено неравенство: $T_R > t_{\alpha, N-2}$, где значение величины R не равно нулю, что невозможно объяснить только наличием случайных погрешностей экспериментальной методики. Полученные данные подтверждают наличие зависимостей между искомыми параметрами, причем зависимость температуры нагрева от силы тока и от профиля пути имеет максимальные значения. Для проведения многофакторного анализа и выявления зависимости температуры нагрева электрооборудования построены графики вертикального профиля пути, силы тока, скорости следования на участке Большой Луг – Слюдянка I, на котором дополнительно построены кривые нагрева электрооборудования (рис.1).

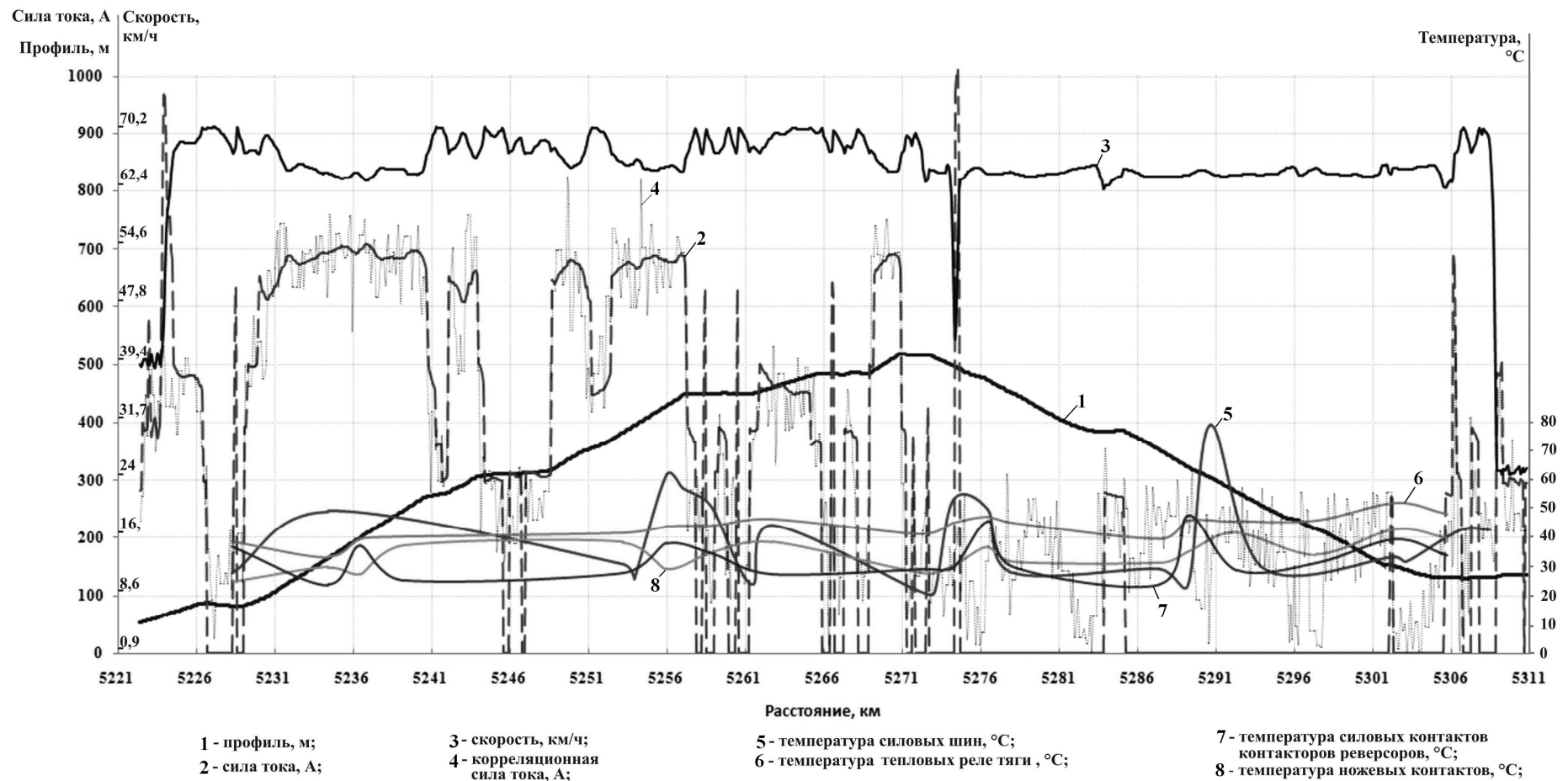


Рисунок 1 – Графики пути, силы тока, температуры нагрева деталей, скорости следования на участке Большой Луг – Слюдянка I

При анализе данных графиков выявлена существенная зависимость между силой тока и крутизной пути (производной уклона), для которой коэффициент корреляции составил $R = 0,92$. Используя эту зависимость, определены значения силы тока при следовании электровоза в режиме рекуперации (корреляционная сила тока).

Анализ графиков показывает, что при изменении силы тока температура нагрева электрооборудования изменяется с некоторой постоянной запаздывания, специфической для каждого типа оборудования и зависящей от теплофизических характеристик оборудования.

Влияние температуры окружающей среды на нагрев электроаппаратуры зависит от многих факторов: типа и вида электровоза, типа и вида мотор-вентилятора, целостности корпуса электровоза. Скорость движения не зависит непосредственно от силы тока, т.к. при увеличении скорости используются различные режим ведения поезда (нагрузки электрооборудования), в том числе и режим ослабления поля для поддержания скорости и уменьшения силы тока. Поэтому, скорость не может напрямую влиять на нагрев оборудования электровоза.

Особенностью тепловых процессов является сложная зависимость динамических параметров процесса от неоднородных и разнообразных свойств окружающей среды, внешних и внутренних факторов, влияющих на работу исследуемого оборудования. Для выявления зависимости между приведенными выше параметрами необходимо предложить и апробировать соответствующий математический аппарат.

2 МНОЖЕСТВЕННЫЙ РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ

Тепловой нагрев электрооборудования, как правило, определяется большим числом одновременно и совокупно действующих факторов. В связи с этим возникает задача исследования зависимости температуры нагрева (зависимой переменной Y) от нескольких объясняющих переменных (силы тока, скорости движения, температуры окружающей среды и т.д.) x_1, x_2, \dots, x_n . Эта задача решается с помощью множественного регрессионного анализа [2].

Обозначим i -е наблюдение переменной y_i , а объясняющие переменные - $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}$. Тогда модель множественной линейной регрессии можно представить в виде:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i, \quad (3)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$, а ε_i удовлетворяет основным предпосылкам регрессионного анализа [3].

Включение в регрессионную модель новых объясняющих переменных приводит к необходимости использования матричного описания регрессии. Введем обозначения: матрица-столбец, или вектор, значений зависимой переменной размера n

$$Y = (y_1 \ y_2 \ \dots \ y_n)';$$

матрица значений объясняющих переменных, где дополнительно введен столбец, все элементы которого равны 1, т.е. условно полагается, что в модели (3), свободный член β_0 умножается на фиктивную переменную x_{i0} , принимающую значение 1 для всех i : $x_{i0} \equiv 1$ ($i = 1, 2, \dots, n$)

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{pmatrix};$$

матрица-столбец, или вектор, параметров размером $(p+1)$

$$\beta = (\beta_0 \ \beta_1 \ \dots \ \beta_p)';$$

матрица-столбец, или вектор, возмущений (случайных ошибок, остатков) размером n

$$\varepsilon = (\varepsilon_1 \ \varepsilon_2 \ \dots \ \varepsilon_n)'$$

Тогда в матричной форме модель (3) примет вид

$$Y = X \beta + \varepsilon.$$

Оценкой этой модели по выборке является уравнение

$$Y = X b + e, \tag{4}$$

где $b = (b_0 \ b_1 \ \dots \ b_p)'$, $e = (e_1 \ e_2 \ \dots \ e_n)'$

Для оценки вектора неизвестных параметров β применим метод наименьших квадратов. Так как произведение транспонированной матрицы e' на саму матрицу e

$$e'e = (e_1 \ e_2 \ \dots \ e_n) \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_n \end{pmatrix} = e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2,$$

то условие минимизации остаточной суммы квадратов запишется в виде

$$S = \sum_{i=1}^n (y_{xi} - y_i)^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 = e'e = (Y - Xb)'(Y - Xb) \rightarrow \min \tag{5}$$

Учитывая, что при транспонировании произведения матриц получается произведение транспонированных матриц, взятых в обратном порядке, т.е. $(Xb)' = b'X'$ получим после раскрытия скобок

$$S = Y'Y - b'X'Y - Y'Xb + b'X'Xb.$$

Произведение $Y'Xb$ есть матрица размера $(1 \times n)[n \times (p+1) \times [(p+1) \times 1]] = (1 \times 1)$, т.е. величина скалярная, следовательно, оно не меняется при транспонировании: $Y'Xb = (Y'Xb)' = b'X'Y$. Поэтому условие минимизации (5) примет вид

$$S = Y'Y - 2b'X'Y + b'X'Xb \rightarrow \min.$$

На основании необходимого условия экстремума функции нескольких переменных $S(b_0 \ b_1 \ \dots \ b_p)$, представленной в выражении (5), необходимо приравнять нулю частные производные по этим переменным или в матричной форме – вектор частных производных

$$\frac{\partial S}{\partial b} = \left(\frac{\partial S}{\partial b_0} \ \frac{\partial S}{\partial b_1} \ \dots \ \frac{\partial S}{\partial b_p} \right).$$

Для вектора частных производных получим следующие формулы

$$\frac{\partial}{\partial b} (b'c) = c, \quad \frac{\partial}{\partial b} (b'Ab) = 2Ab,$$

где b и c – вектор-столбцы;

A – симметричная, матрица, в которой элементы, расположенные симметрично относительно главной диагонали, равны.

Поэтому, полагая $c = X'Y$, а матрицу $A = X'X$ (она является симметричной), найдем

$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2X'Y' + 2X'Xb = 0,$$

откуда получаем систему нормальных уравнений в матричной форме для определения вектора b

$$X'Xb = X'Y. \tag{6}$$

Найдем матрицы, входящие в это уравнение. Матрица $X'X$ представляет матрицу сумм первых степеней, квадратов и попарных произведений n наблюдений объясняющих переменных

$$X'X = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_{11} & x_{21} & \dots & x_{n1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1p} & x_{2p} & \dots & x_{np} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{np} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n & \sum x_{i1} & \dots & \sum x_{ip} \\ \sum x_{i1} & \sum x_{i1}^2 & \dots & \sum x_{i1}x_{ip} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum x_{ip} & \sum x_{i1}x_{ip} & \dots & \sum x_{ip}^2 \end{pmatrix} \tag{7}$$

где под знаком \sum подразумевается $\sum_{i=1}^n$.

Матрица $X'Y$ есть вектор произведений и наблюдений объясняющих и зависимой переменных

$$X'Y = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_{11} & x_{21} & \dots & x_{n1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1p} & x_{2p} & \dots & x_{np} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum y_i \\ \sum y_i x_{i1} \\ \dots \\ \sum y_i x_{ip} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

В частном случае из рассматриваемого матричного уравнения (6) с учетом (7) и (8) для одной объясняющей переменной ($p = 1$) нетрудно получить уже рассматриваемую систему нормальных уравнений [4,5] для несгруппированных данных. Действительно, в этом случае матричное уравнение (6) принимает вид

$$\begin{pmatrix} n & \sum x_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum y_i \\ \sum y_i x_i \end{pmatrix},$$

откуда непосредственно следует система нормальных уравнений для несгруппированных данных.

Для решения матричного уравнения (6) относительно вектора оценок параметров b необходимо ввести одну **предпосылку I** для множественного регрессионного анализа: матрица $X'X$ является неособенной, т.е. ее определитель не равен нулю. Следовательно, ранг матрицы $X'X$ равен ее порядку, т.е. $r(X'X) = p + 1$. Из матричной алгебры известно, что $r(X'X) = r(X)$, значит, $r(X) = p + 1$, т.е. ранг матрицы плана X равен числу ее столбцов. Это позволяет сформулировать **предпосылку I** множественного регрессионного анализа в следующем виде:

I. Векторы значений объясняющих переменных, или столбцы матрицы плана X , должны быть линейно независимыми, т.е. ранг матрицы X - максимальный ($r(X) = p + 1$).

Кроме того, число имеющихся наблюдений (значений) каждой из объясняющих переменных превосходит ранг матрицы X , т.е. $n > r(X)$ или $n > p + 1$, ибо в противном случае в принципе невозможно получение надежных статистических выводов.

Решением уравнения (6) является вектор

$$b = (X'X)^{-1} X'Y, \quad (9)$$

где $(X'X)^{-1}$ - матрица, обратная матрице коэффициентов системы (6), а $X'Y$ - матрица-столбец, или вектор, ее свободных членов.

Зная вектор b , выборочное уравнение множественной регрессии представим в виде

$$y_{x0} = X'_0 b,$$

где y_{x0} - групповая (условная) средняя переменной Y при заданном векторе значений объясняющей переменной $X'_0 = (1 \ x_{10} \ x_{20} \ \dots \ x_{p0})$.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МНОЖЕСТВЕННОГО РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ПРИ НЕЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ

Предложенная методика применена для оценки многофакторного влияния на температуру нагрева различных параметров. В качестве базовых деталей выбраны силовые шины, поскольку они обладают средним значением теплофизических параметров контролируемых деталей, и дают наибольшее число отказов, связанных с перегревом.

Построены диаграммы рассеяния анализируемых значений найденные по линейным и нелинейным уравнениям регрессии [6].

По полученным уравнениям регрессии (4) и (9) построены области влияния рассматриваемых параметров (силы тока, скорости, температуры окружающей среды, крутизны) на

температуру нагрева электрооборудования. Ниже представлены наиболее важные для анализа и практического значения области.

Область влияния крутизны и температуры окружающей среды на температуру нагрева приведена на рис.2. Уравнение поверхности будет иметь вид:

$$t_{\text{нагрева}} = 6,5043 - 302,3171 \cdot x + 3,8181 \cdot y - 16025,206 \cdot x^2 + 18,0628 \cdot xy - 0,09 \cdot y^2$$

Аналогичным образом получена взаимосвязь между скоростью движения, крутизной (силой тока) и температурой нагрева деталей (рис.3).

Уравнение поверхности будет иметь вид:

$$t_{\text{нагрева}} = 39,3187 - 0,0318 \cdot x + 3399,9276 \cdot x^2 - 77,0417 \cdot xy - 22711,3799 \cdot y^2$$

При анализе графика (рис.2) наблюдается пик нагрева деталей при крутизне равной нулю и максимальным значением температуры окружающей среды, что объясняется наличием фактора запаздывания нагрева деталей при движении в гору и с горы (тепловая инерция). Установлено, что увеличение силы тока и температуры окружающей среды влечет за собой увеличение температуры нагрева деталей. Увеличение температуры нагрева деталей при малых скоростях и высоких значениях силы тока, объясняется движением состава в гору на протяженных подъемах.

Установлено, что максимальный нагрев деталей происходит при увеличении в положительную сторону крутизны профиля пути и маленькой скорости движения поезда, что связано с увеличением силы тока (рис.3). Однако, из-за тепловой инерции деталей и чередования участков подъема, спуска и равнинного профиля пути пик нагрева приходится как раз на момент времени, когда локомотив уже сбрасывает максимальную силу тока. Выявлена зависимость возрастания температуры деталей при больших отрицательных значениях крутизны (рекуперация) и большой скорости, т.к. при увеличении скорости вращения двигателя в режиме генератора возрастает и сила тока, отдаваемая обратно в сеть.

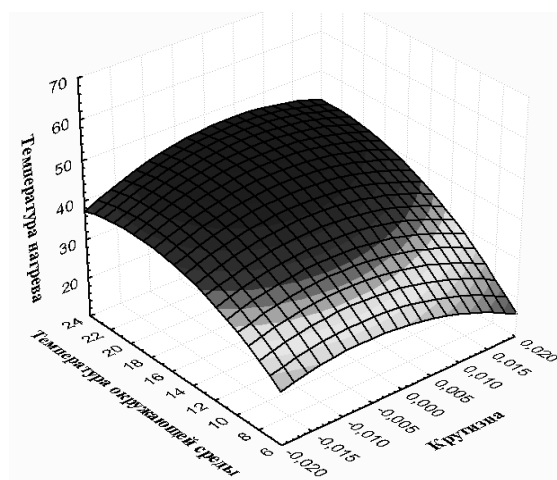


Рисунок 2 – Область влияния крутизны и температуры окружающей среды на температуру нагрева шин

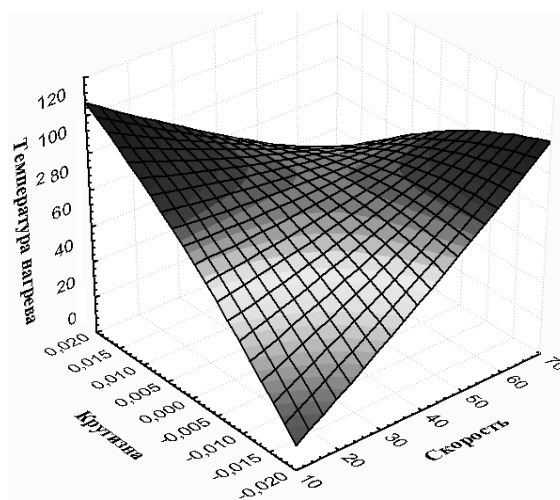


Рисунок 3 – Область влияния крутизны и скорости движения на температуру нагрева шин

4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом при анализе полученных данных можно сделать вывод о том что, существует взаимосвязь между температурой нагрева, с одной стороны; силой тока, крутизной и температурой окружающей среды, с другой стороны. Влияние скорости движения состава на температуру нагрева деталей малозначимо, однако исключать ее из рассмотрения нельзя, так как скорость оказывает влияние на другие факторы (силу тока в режиме тяги и рекуперации, напряжение). Используя полученные зависимости можно прогнозировать работу электрооборудования электровозов на сложных участках движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов, А.И. Прикладная статистика. Учебник / А.И. Орлов. - М.: Издательство "Экзамен", 2004. – 656с.
2. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия / Н. Дрейпер, Г. Смит. - М.: «Диалектика», 2007.– с.912.
3. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Юнити-Дана, 2004. – 573с.
4. Чернова, Н.М. Математическая обработка экспериментальных данных. Часть 2 (введение в регрессионный и корреляционный анализ): Метод. Руководство / Международный педагогический университет. - Магадан.: Изд. МПУ, 1996. – 28с
5. Боровиков, В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов 2-е изд. (+CD) / В. Боровиков. – СПб.: Питер. 2003. – 638с.

Перельгин Владимир Николаевич

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)
зав. лабораториями кафедры ТМиП
Тел. (3952)638395, доб.(1-55)
E-mail: pereligin_vn@irgups.ru,

Лукьянов Анатолий Валерианович

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)
Д-р техн.наук, проф., заведующий НИЛ «Техническая диагностика»
Тел. (3952)638395, доб.(1-55)
E-mail: loukian_a@irgups.ru

V.N. PERELYGIN, A.V. LUKIYNOV

RESEARCHES OF TEMPERATURE FIELDS OF THE EQUIPMENT OF ELECTRIC LOCOMOTIVES DURING DRIVING

In article questions of experimental researches on determination of allocation of temperature of the equipment of electric locomotives at driving as a part of a train on mountain sections are considered. Results of the decision of a research problem of dependence of temperature of heating from several explanatory variables (current strength, to speed of driving, ambient temperature etc.), by the multiple method regression analysis.

Keywords: *multiple factor analysis, nonlinear regression, allocation of heating temperature, correlation, thermovision control.*

BIBLIOGRAPHY

1. Orlov, A.I. Prikladnaja statistika. Uchebnik / A.I. Orlov. - M.: Izdatel'stvo "Jekzamen", 2004. – 656s.
2. Drejper, N. Prikladnoj regressionnyj analiz. Mnozhestvennaja regressija / N. Drejper, G. Smit. - M.: «Dialektika», 2007.– s.912.
3. Kremer, N.Sh. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika: Uchebnik dlja vuzov. - 2-e izd., pe-rerab. i dop. - M.: Juniti-Dana, 2004. – 573s.
4. Chernova, N.M. Matematicheskaja obrabotka jeksperimental'nyh dannyh. Chast' 2 (vvedenie v regressionnyj i korreljacionnyj analiz): Metod. Rukovodstvo / Mezhdunarodnyj pedagogicheskij universitet. - Ma-gadan.: Izd. MPU, 1996. – 28s
5. Borovikov, V. STATISTICA. Iskusstvo analiza dannyh na komp'jutere: Dlja professionalov 2-e izd. (+CD) / V. Borovikov. – SPb.: Piter. 2003. – 638s.

Pereligin Vladimir Nickolaevich

Irkutsk state university of transportation lines (IrGUPS)
Laboratory chief of department of TMiP
Tel: 3952-638395, add. 1-55
E-mail: pereligin_vn@irgups.ru

Loukianov Anatoliy Valerianovich

Irkutsk state university of transportation lines (IrGUPS)
Doctor of technical science, professor, head of scientific research laboratory of “Technical diagnosis”
Tel: 3952-638395, add. 1-55
E-mail: loukian_a@irgups.ru

К РАСЧЕТУ НЕСТАЦИОНАРНЫХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОМАШИН

Рассмотрены условия формирования нестационарных аэродинамических процессов в проточной части турбинной ступени и импульсных сил, действующих на сопловые и рабочие лопатки.

Ключевые слова: турбомашин, рабочее колесо, аэродинамический стенд, направляющая лопатка, рабочая лопатка, газодинамические силы.

Постоянный рост энергопотребления и вызванное этим повышение мощности электростанций определяют необходимость создания крупных высокоэффективных турбинных блоков, выход из строя которых вследствие повреждений связан с большими экономическими потерями.

Одним из основных факторов, оказывающих влияние на работоспособность турбомашин, является надежность рабочих лопаток, которые испытывают в современных энергоустановках высокие статические нагрузки вследствие возросшей мощности энергоблоков, а потому работают с напряжениями близкими к предельным.

Учитывая это, следует при проектировании проточной части уделять особое внимание обеспечению условий работы турбинных ступеней с минимальным уровнем вибрации, исключению явлений резонанса лопаточных аппаратов, что, одновременно, будет способствовать снижению излучаемой энергоустановками акустической мощности.

Венцы направляющих и рабочих лопаток (НЛ и РЛ) находятся под воздействием неоднородных, периодически меняющихся течений энергоносителя, что формирует нестационарные аэродинамические силы в проточной части турбомашин. Если исключить возбуждения, исходящие от стыков диафрагм, деформаций потоков в патрубках и камерах отбора пара, то главной причиной повреждений лопаток остается указанная форма колебательных возмущений, которую можно обобщить понятием «интерференция решеток».

Глубокие сведения о причинах возникновения, характере и величине неравномерности потока в проточной части турбомашин необходимы как при оценке сил, возбуждающих колебания лопаточных венцов, определении потерь энергии в условиях нестационарного обтекания, так и для поиска путей повышения экономичности и надежности энергоблоков.

С этой целью были выполнены исследования аэродинамических процессов в проточной части турбинного отсека. Объектом изучения служили смежные решетки турбинной ступени – направляющего аппарата (НА) и рабочего колеса (РК) – (парная решетка). Высота рабочей лопатки составляла $l=45$ мм, хорда $b=30$ мм, $d/l=11,5$ (здесь d – средний диаметр ступени).

Аэродинамические исследования сдвоенных плоских решеток выполнялись на статическом воздушном стенде, обеспечивающем расход рабочего тела около 6,0 кг/с при полном давлении перед лопаточным аппаратом 0,1 бар.

С целью изучения структуры течений в каналах сопловой и рабочей решеток было осуществлено препарирование их лопаток в среднем по высоте сечения, опытный стенд оснащался микрозондами для регистрации полей давлений в потоке. Относительные осевые расстояния между решетками, выполненных с одинаковым относительным шагом $\bar{t}=t/b=0,5$, составляли $0,08 \leq \bar{\delta}_z = \delta_z / b \leq 0,24$ (здесь δ_z – величина межвенцевого осевого зазора). Исследования проводились в области чисел Маха $M_{c_1}=0,35 \dots 0,4$.

Моделирование процесса течения энергоносителя в каналах парной решетки осуществлялось посредством последовательного перемещения РЛ относительно сопл диафрагмы (вдоль шага НЛ) с регистрацией параметров потока в каналах НА и РК.

Очевидно, что при исследовании решеток турбомашин в статических условиях (в аэродинамической трубе) не представляется возможным детально моделировать формирование вихревых шлейфов, при этом абсолютная и относительная скорости потока в межвенцевом зазоре переходят одна в другую ввиду отсутствия переносного движения ($u=0$).

С целью моделирования в этих условиях процесса течения газа в РК в качестве объектов исследования использован НА с несколько повышенным значением углов α_1 (против их средних расчётных величин для таких отсеков) и рабочая решетка, лопаточный аппарат которой отвечал следующим конструктивным особенностям:

- форма каналов способствовала организации незначительного ускорения течения флюида;

- венец РЛ имел небольшой относительный шаг с углом установки, обеспечивающим при испытаниях необходимое значение давлений потока в межвенцевом зазоре.

Отмеченные конструктивные решения позволили при исследовании парных решёток на статическом стенде приближенно оценить влияние взаимного расположения НЛ и РЛ на формирование циркуляционных явлений и газодинамических сил в их каналах.

При этом следует отметить, что профильные циркуляции флюида создают не только подъёмные (лопаточные) силы, но и управляют движением потенциального и вихревого потоков, а потому при различных взаимных расположениях каналов НА и РК представляется возможным одновременно изучить динамику аэродинамических процессов в их проточной части.

На рисунке 1 приведено распределение значений безразмерного коэффициента давления c_p вдоль развертки препарированного участка (контрольного сечения) профиля НЛ, представленного в виде относительной дуговой координаты s/δ (здесь s – текущая координата точки профиля лопатки) для относительного осевого зазора $\bar{\delta}_z=0,08$ при 18 взаимных положениях (позициях) сегментов сдвоенной решетки (одна позиция – смещение решеток на 1/17 шага). Композиция размещения лопаточных аппаратов проиллюстрирована на соответствующих рисунках.

Значение безразмерного коэффициента давления c_p , например, в точке i профиля, определялось из зависимости

$$c_p = 1 - \frac{c_i^2}{c_0^2},$$

где c_i и c_0 – абсолютные скорости потока соответственно в i -ой точке направляющей и рабочей лопаток и перед парной решеткой.

Как видно, в сопловых каналах, обтекаемых равномерным однородным потоком, образуются контурные скорости, формирующие невысокий уровень профильной циркуляции. Смещение рабочей решетки относительно НЛ оказывает существенное обратное воздействие на течение газа в сопловом аппарате. Так, при расположении решеток в секторе 3...15 позиций (рис.1) на стороне газовпуска НЛ наблюдается широкая зона сильно колеблющегося давления, градиент изменения которого зависит от степени и характера загромождения РЛ выходного сечения соплового канала.

Естественно, что рабочие лопатки, выполненные с толстыми профилями, существенно меняющими направление течения теплоносителя, оказывают более заметное обратное воздействие на поток в НА.

Приведенная на рисунке 2 для $\bar{\delta}_z=0,08$ картина пульсаций коэффициента давления потока, зарегистрированная в контрольном сечении НЛ и представленная вдоль развертки периметра испытанного профиля в зависимости от относительных положений решеток, ил-

люстрирует динамику изменения полей давления на поверхности направляющих лопаток в процессе рабочего цикла.

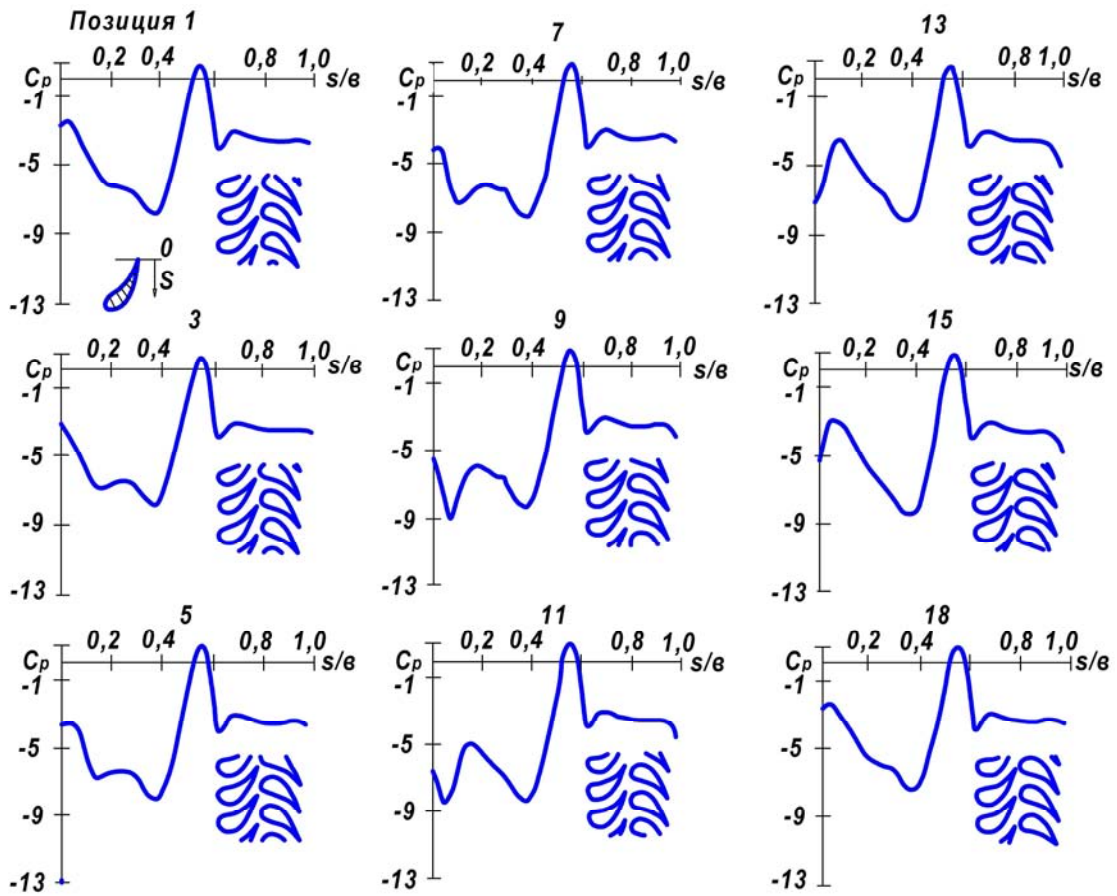


Рисунок 1 – Распределение коэффициента давления c_p вдоль поперечного сечения НЛ для 9 позиций расположения РЛ относительно НЛ при межвенцевом зазоре $\bar{\delta}_z = 0,08$

Представленная картина аэродинамических сил наглядно показывает характер обратного влияния РК на процессы течения теплоносителя в НА. Наибольшие градиенты c_p зафиксированы в области входных кромок НЛ, в результате чего на этих участках формируются интенсивные потери энергии и высокие вибрационные нагрузки.

На рисунке 3 приведено распределение безразмерного коэффициента давления c_p вдоль развёртки контрольного сечения РЛ при различных взаимных положениях парной решетки (9 позиций), для которых показана композиция размещения смежных каналов.

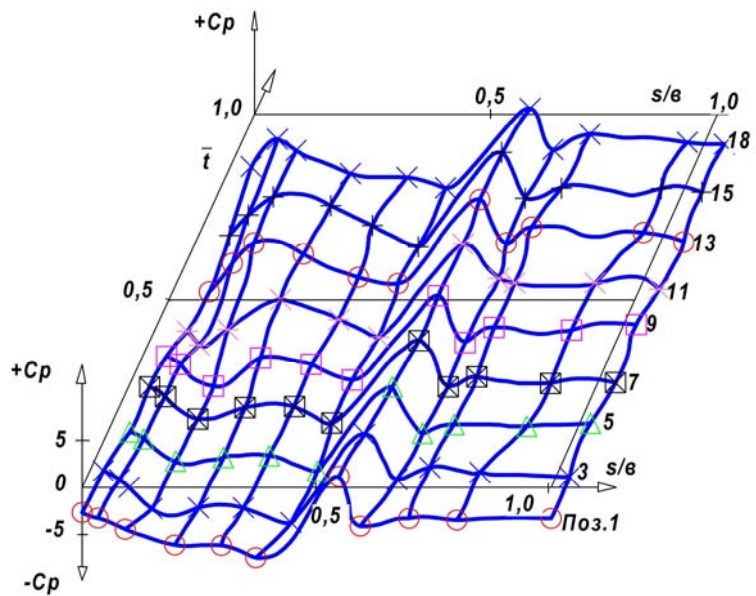


Рисунок 2 – Характер изменения коэффициента давления c_p вдоль развёртки поперечного сечения НЛ при различных смещениях РК относительно НА и $\bar{\delta}_z = 0,08$

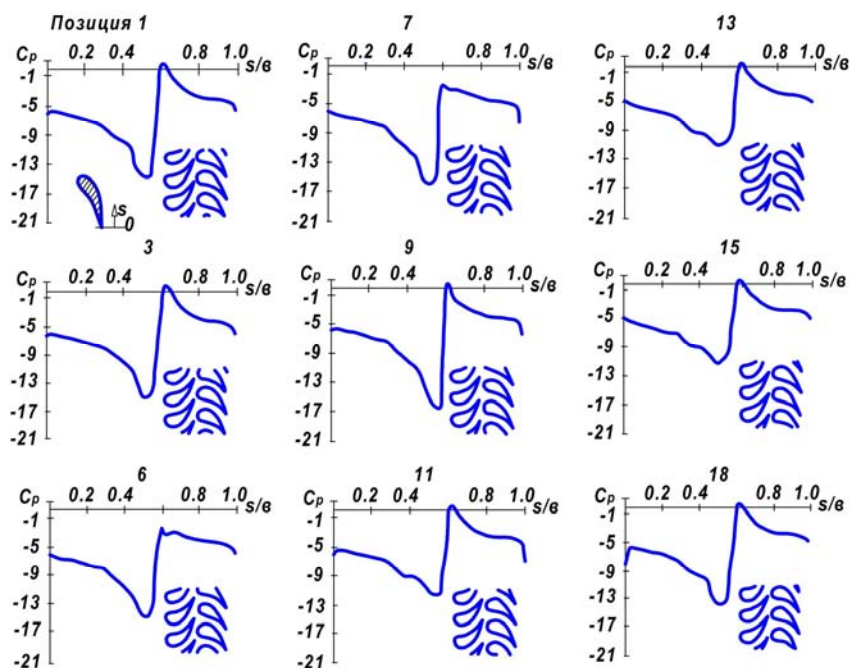


Рисунок 3 – Распределение коэффициента давления c_p вдоль поперечного сечения РЛ для 9 позиций их расположения относительно НЛ при межвенцевом зазоре $\bar{\delta}_z = 0,08$

Проиллюстрированная на этом рисунке картина давлений для 6-й позиции расположения решеток характеризует течение в РК в момент попадания кромочного следа за НЛ на критическую точку РЛ (точку полного торможения потока), что, как видно, существенно отражается на распределении давления на ее выпуклой поверхности, где в этих условиях градиент скоростей достигает экстремальных значений.

Картина пульсаций давления рабочего тела, зарегистрированная и проиллюстрированная вдоль развертки профиля РЛ при различных взаимных положениях опытных решеток на рисунке 4, свидетельствует о динамике изменения градиента c_p на поверхности этой лопатки в процессе рабочего цикла.

Максимальные значения рассматриваемого параметра зафиксированы в области входных кромок лопаток РК (как и в НЛ, но значительно большей амплитуды и разнонаправленного действия), что указывает на высокий уровень импульсных аэродинамических перетеканий на этих участках лопаточного аппарата, вызывающих интенсивные вибрационные процессы и энергетические потери в турбинном отсеке. При этом большие скорости колебания давления свидетельствуют об источнике формирования акустических эффектов в межвенцевом зазоре ступени.

Как было отмечено, значительное влияние на характер течения теплоносителя в каналах рабочих решеток оказывает аэродинамический след за сопловыми лопатками, в значительной мере деформирующий поток в РК. Степень воздействия этой неравномерности на линии тока в каналах РЛ зависит от межвенцевого расстояния $\bar{\delta}_z$, с увеличением которого в их полостях сокращается перепад давления и скоростей на участке заторможенного потока, снижается уровень сил, возбуждающих нестационарные аэродинамические процессы, но при этом уменьшается энергия подводимого в рабочий венец теплоносителя.

Структура потока за НА наглядно представлена на рисунке 5 в системе координат $\bar{\delta}_z - \bar{y}$ (здесь $\bar{y} = y/t$, где y – координата перемещения рабочей решетки), на которой приведены значения безразмерной скорости $\Delta \bar{c}_1 = \Delta c_1 / c_1$ (где c_1 – абсолютная скорость выхода потока из НА, Δc_1 – потеря скорости за НА под действием трения и вихревых процессов).

Эта иллюстрация показывает, что с увеличением межвенцевого расстояния существенно сокращаются градиент изменения скоростей потока и его энергетический потенциал перед РК в области следов за НЛ. При этом, ординаты их осей симметрии сохраняют параллельность

и исходят из точек 0 на касательной к средней линии у выходной кромки НЛ, расположенной под углом α_1 к плоскости вращения РК (рис. 5).

Приведенную картину течения энергоносителя следует учитывать при выборе оптимального осевого зазора, расчете структуры потока в каналах турбинных ступеней и оценке эффективности их работы, определении стационарных и импульсных сил, воздействующих на венцы сопловых и рабочих лопаток.

Величина нестационарных лопаточных сил F_i в проточной части турбинного отсека может быть определена с использованием установленных, например, экспериментальным путем полей давлений вдоль профилей направляющей и рабочей решеток (рис.1 и 3) посредством суммирования поверхностных давлений, зарегистрированных при их различных взаимных положениях.

Колебания сил, действующих на направляющие и рабочие лопатки, полученные по измерениям распределения давления при различных значениях $\bar{\delta}_z$, представлены на рисунке 6 в виде безразмерной величины $\bar{F} = \Delta F / F$ (здесь – средняя величина силы на лопатку за цикл смещения на шаговое расстояние опытных моделей решеток; $\Delta F = F - F_i$, где F_i – значение действующей силы при определенной позиции решеток).

В процессе испытаний установлено, что при изменении положения РЛ относительно соплового аппарата меняется во времени структура потока в проточной части ступени, что вызывает периодическое изменение действующей на лопатки турбинного отсека подъемной силы. При этом важно отметить, что в наибольшей степени это влияние сказывается на градиенте \bar{F} в направляющих каналах, величина которого зависит от динамики загромождения рабочими лопатками выходного сечения НА (рис.6).

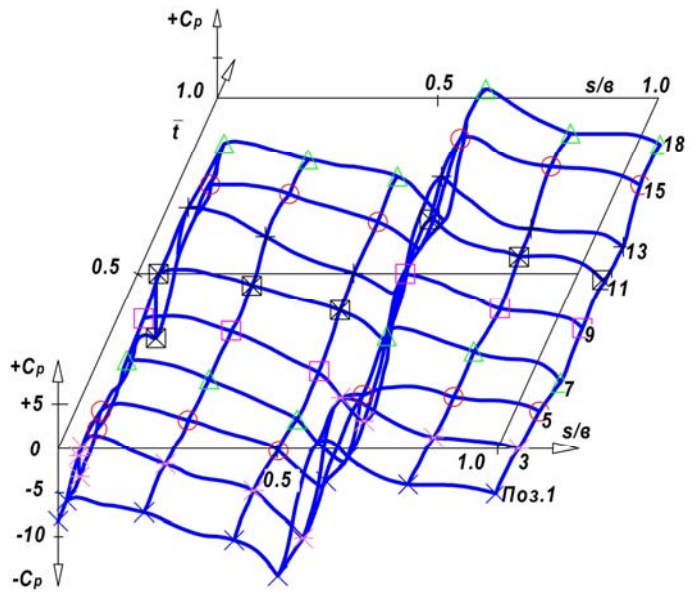


Рисунок 4 – Характер изменения коэффициента давления c_p вдоль развёртки поперечного сечения РЛ при различных смещениях РЛ относительно НЛ и $\bar{\delta}_z = 0,08$

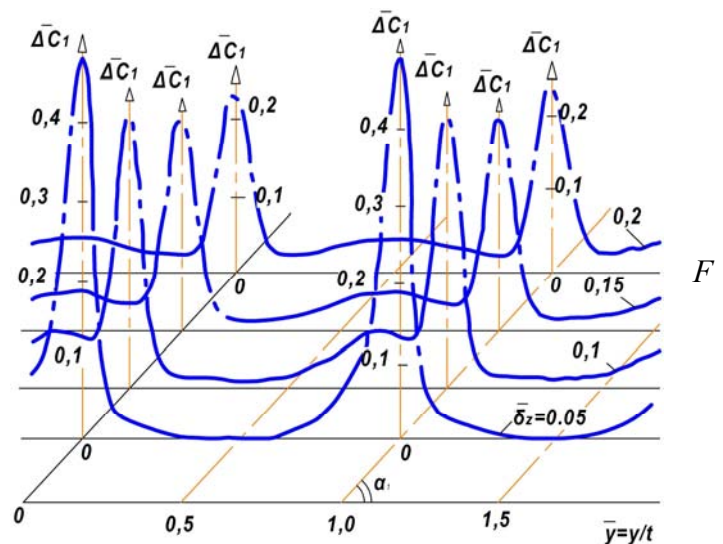


Рисунок 5 – Эюры потерь скорости $\Delta \bar{C}_1$ в кромочном следе НЛ при различных межвенцевых зазорах $\bar{\delta}_z = 0.05; 0.1; 0.15$ и 0.2 (величина угла α_1 представлена условно)

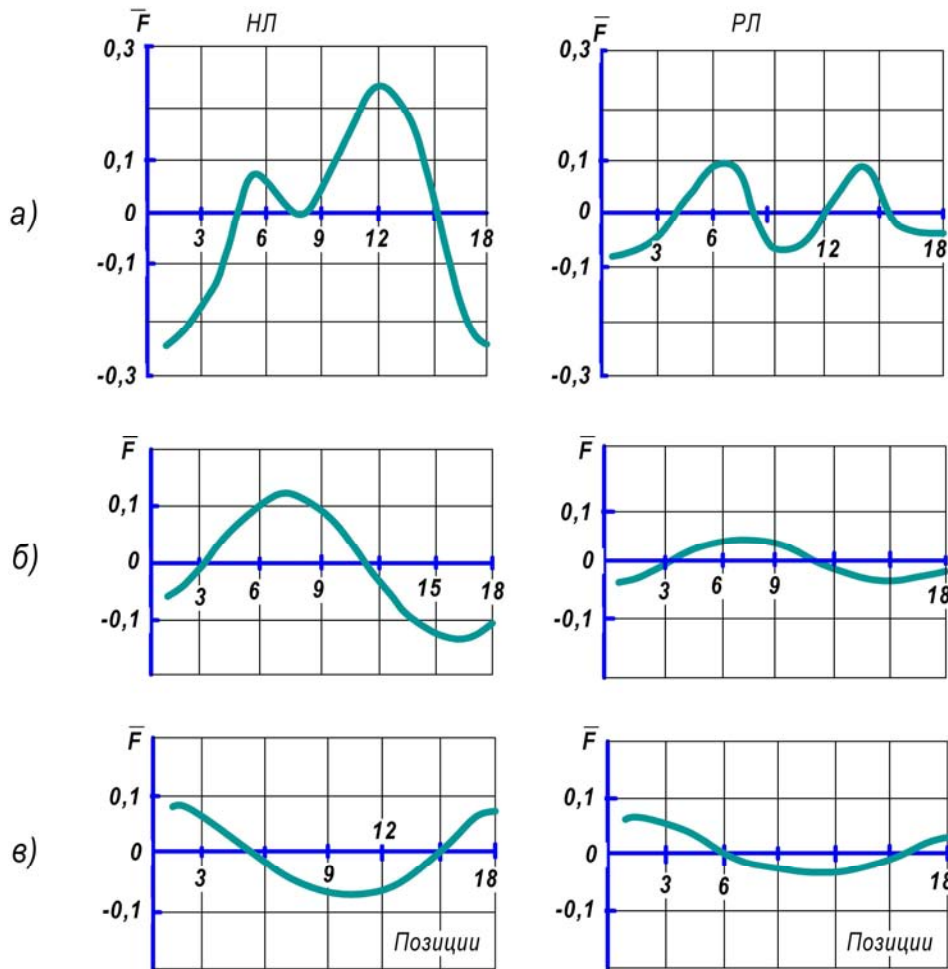


Рисунок 6 – Зависимости относительных значений импульсных сил $\bar{F} = \Delta F / F$, действующих на поверхности НЛ и РЛ, от относительного расположения направляющей и рабочей решёток при различных межвенцевых зазорах $\bar{\delta}_z$

а, б и в – соответственно при $\bar{\delta}_z = 0,08; 0,16$ и $0,24$

При незначительных осевых зазорах ($\bar{\delta}_z \leq 0,1$) в зонах, где след трения за НЛ попадает на критическую точку РЛ, наблюдается существенное изменение сил F_i в сопловых и рабочих решетках (рис.6а). Увеличение межвенцевого расстояния приводит к некоторому снижению поступающего на РЛ скоростного напора и изменению характера потенциальных течений в каналах РК, что снижает влияние следа трения из возбуждающей решетки на импульсные силы в турбинной ступени.

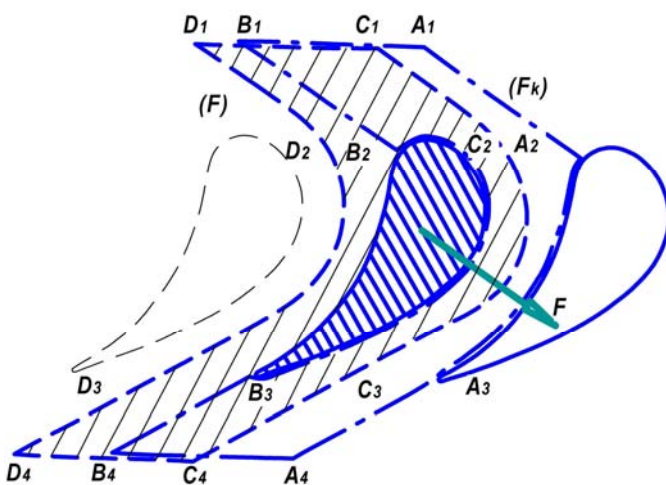


Рисунок 7 – Контрольные площади для расчёта лопаточных сил F и сил канала F_k в турбинной лопаточной решётке

Как было отмечено, создаваемые потоком нестационарные силы формируются за счет периодически меняющихся в ходе рабочего процесса взаимных положений сопловых и рабочих решеток, вследствие чего структура течений в их каналах претерпевает существенные деформации.

При определении локальных аэродинамических усилий в проточной части ступени, как правило, в качестве расчетного участка принимают течение теплоносителя в межлопаточном канале, объем

которого $C_i \dots D_i$ на рисунке 7 выделен штриховой линией, в результате чего определяется лопаточная сила F как векторная сумма давлений на обе стороны отдельной лопатки.

Однако этот метод включает определенную неточность для ступеней, в которых отношение величин шагов сопловых и рабочих решеток не соответствует значению целого числа. В этом случае соседние каналы РК создают неконгруэнтные течения, линии $C_1 \dots C_4$ и $D_1 \dots D_4$ принимают неадекватное положение, а поэтому формируются различные процессы обтекания выпуклой и вогнутой сторон смежных профилей, что вносит погрешность в оценку аэродинамических давлений.

Большая точность в определении их значений может быть достигнута при выборе в качестве контрольного участка объема $A_i \dots B_i$, выделенного на рисунке 7 штрих пунктирной линией, что позволит наиболее достоверно выполнить расчет локального характера течения теплоносителя в отдельном канале РК (по времени и характеру) и, как следствие, установить реальные условия обтекания выпуклой поверхности предвключенной лопатки и напорной – последующей.

Если в рассматриваемом канале сложить векторы давлений, действующих на выпуклую и вогнутую стороны смежных лопаток, то их величина позволит определить силу канала F_k , представляющую собой действительное значение нестационарных аэродинамических сил на исследуемом участке РК. Окружное интегрирование этих параметров позволит оценить реальное значение импульсного давления, воздействующего на рабочий венец, а осуществив эту операцию для ряда взаимных положений сопловых и рабочих лопаток, установить такую зависимость в функции времени.

Отметим, что если величины шагов сопловых и рабочих лопаток турбинной ступени соотносятся целым числом, то течения в смежных каналах РЛ приобретают преимущественно конгруэнтный характер, а потому усилия F и F_k уравниваются.

При оценке импульсных аэродинамических сил следует также учитывать, что при попадании кромочного следа на движущуюся входную кромку РЛ происходит некоторое изменение направления набегающего потока, что вызывает смещение расчетной критической точки. Последнее вносит корректив в процесс нестационарного обтекания рабочего профиля, а это формирует соответствующее возмущающее воздействие вытеснения, направленное навстречу течению флюида в НА и оказывающее влияние на структуру потока в нем.

Рассмотренная картина течения теплоносителя в каналах сопловых и рабочих решеток и выполненный анализ характера формирования импульсных сил, действующих на венцы лопаток, позволят уточнить методы расчёта проточной части турбомашин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьева, Н.Н. Аэродинамические характеристики ступеней тепловых турбин / Н.Н. Афанасьева, В.Н. Бусурин, И.Г. Гоголев и др.; под ред. В.А. Черникова. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1980. – 263с.
2. Гоголев, И.Г. Аэродинамические характеристики ступеней и патрубков тепловых турбин / И.Г. Гоголев, А.М. Дроконов. – Брянск: Грани, 1995. – 258с.
3. Гоголев, И.Г. Повышение эффективности проточной части турбомашин / И.Г. Гоголев, А.М. Дроконов, А.Д. Николаев // Совершенствование энергетических машин: сб. науч. тр. – Брянск: БГТУ, 2009. – С. 43 – 52.
4. Дейч, М.Е. Техническая газодинамика / М.Е. Дейч. – М.: Энергия, 1974. – 230 с.
5. Дейч, М.Е. Исследования и расчеты ступеней осевых турбин / М.Е. Дейч, Б.М. Трояновский. – М.: Машиностроение, 1964. – 616 с.
6. Щегляев, А.В. Паровые турбины (теория теплового процесса и конструкции турбин). Учебник для студентов энергомашиностроительных и теплоэнергетических специальностей вузов. Изд. 5-е доп. и подгот. к печати проф. Б.М. Трояновским./ А.В. Щегляев. – М. Энергия, 1976. – 368с.
7. David, O. Seitenwandgrenzschichten und Sekundärströmungseffekte in stark umlenkenden Turbinengittern / O. David, H.E. Gallus. – Abschlußbericht über das Vorhaben. Nr. 223. FVV – Heft R 309, 1982.
8. Lawerenz, M.O. Ein Beitrag zur Berechnung der dreidimensionalen Reibungsbehafteten Strömung durch axiale Turbinenringgitter / M.O. Lawerenz. – Aachen, Technische Hochschule, 1986. – 136 s.

Гоголев Иван Григорьевич

Брянский государственный технический университет (БГТУ)

Д-р техн. наук, профессор кафедры «Тепловые двигатели» Брянского государственного технического университета (БГТУ)

241035, г. Брянск, бульвар им. 50-летия Октября, д.7.

Дом. тел. 8-(4832)-51-46-83.

Служ. тел. 8- (4832)-51-84-80.

Дроконов Алексей Михайлович

Брянский государственный технический университет (БГТУ)

Канд. техн. наук, профессор кафедры «Тепловые двигатели» Брянского государственного технического университета (БГТУ)

241035, г. Брянск, бульвар им. 50-летия Октября, д.7.

Дом. тел. 8-(4832)- 57-09-11.

Служ. тел. 8-(4832)-51-84-80.

Николаева Татьяна Алексеевна

Брянский государственный университет (БГУ)

Д-р пед. наук, профессор кафедры БЖД Брянского государственного университета (БГУ).

241035, г. Брянск, бульвар им. 50-летия Октября, д.7.

Дом. тел. 8-(4832)- 57-09-11.

Служ. тел. 8-(4832)-58-82-34.

I.G. GOGOLEV, T.A. NICKOLAEVA, A.M. DROKONOV

**FOR ESTIMATIONS OF NON-STATIONARY AERODYNAMIC FORCE
IN ROTORDYNAMIC MACHINE LIQUID END**

Conditions of formation of non-stationary aerodynamic processes in a flowing part of a turbine step and the pulse forces operating on nozzle and working vane are considered.

Keywords: *a turbomachine, the driving wheel, the aerodynamic stand, a directing shovel, a working shovel, gas-dynamic forces.*

BIBLIOGRAPHY

1. Afanas'eva, N.N. Ajerodinamicheskie harakteristiki stupenej teplovyh turbin / N.N. Afanas'eva, V.N. Busurin, I.G. Gogolev i dr.; pod red. V.A. Chernikova. – L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1980. – 263s.
2. Gogolev, I.G. Ajerodinamicheskie harakteristiki stupenej i patrubkov teplovyh turbin / I.G. Gogo-lev, A.M. Drokono-ov. – Brjansk: Grani, 1995. – 258s.
3. Gogolev, I.G. Povyshenie jeffektivnosti protochnoj chasti turbomashin / I.G. Gogolev, A.M. Droko-nov, A.D. Nikolaev // Sovershenstvovanie jenergeticheskikh mashin: sb. nauch. tr. – Brjansk: BGTU, 2009. – S. 43 – 52.
4. Dejch, M.E. Tehnicheskaja gazodinamika / M.E. Dejch. – M.: Jenergija, 1974. – 230 s.
5. Dejch, M.E. Issledovanija i raschety stupenej osevyh turbin / M.E. Dejch, B.M. Trojanovskij. – M.: Mashinostroenie, 1964. – 616 s.
6. Wegljaev, A.V. Parovye turbiny (teorija teplovogo processa i konstrukcii turbin). Uchebnik dlja studentov jenergomashinostroitel'nyh i teplojenergeticheskikh special'nostej vuzov. Izd. 5-e dop. i podgot. k pečati prof. B.M. Trojanovskim./ A.V. Wegljaev. – M. Jenergija, 1976. – 368s.
7. David, O. Seitenwandgrenzschichten und Sekundärströmungseffekte in stark umlenkenden Turbinengittern / O. David, H.E. Gallus. – Abschlußbericht uber das Vorhaben. Nr. 223. FVV – Heft R 309, 1982.
8. Lawerenz, M.O. Ein Beitrag zur Berechnung der dreidimensionalen Reibungsbehaftenen Strömung durch axiale Turbinenringgitter / M.O. Lawerenz. – Aachen, Technische Hochschule, 1986. – 136 s.

Gogolev Ivan Grigoryevich

Bryansk state technical university (BGTU)

Doctor of technical science, professor of department “Heat engines” of Bryansk state technical university (BGTU)

241035, bulvar im.50-letiya Oktyabrja, 7, Bryansk

Tel. 8-4832-51-84-80

Drokonov Aleksey Michailovich

Bryansk state technical university (BGTU)

Candidate of technical science, professor of department “Heat engines” of Bryansk state technical university (BGTU)

241035, bulvar im.50-letiya Oktyabrja, 7, Bryansk

Tel. 8-4832-51-84-80

Nickolaeva Tatyana Alekseevna

Bryansk state university (BGU)

Doctor of pedagogical science, professor of department “Health and Safety” of Bryansk state university (BGU)

241035, bulvar im.50-letiya Oktyabrja, 7, Bryansk

Tel. 8-4832-58-82-34

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 621.762

С.П. ЗАХАРЫЧЕВ, В.А. ИВАНОВ, С.В. ГОНЧАРОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГРАДИЕНТНЫХ ЭПОКСИДОФТОРОПЛАСТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ СПОСОБОМ ФОРМИРОВАНИЯ¹

Свойства полимерных композиционных материалов (ПКМ) определяются не только составом компаундов, но и технологическими условиями формирования внутренней структуры материалов. Способ центробежного формирования позволяет получать антифрикционные материалы с положительным градиентом механических свойств, обеспечивающим долговечность деталей узлов трения машин.

Ключевые слова: антифрикционный полимерный композиционный материал, центробежный способ.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) по назначению подразделяются на классы. При изготовлении конструкционных ПКМ основное внимание уделяется достижению высоких физико-механических свойств изделий. Для них главными критериями качества является прочностные характеристики. Для антифрикционных ПКМ – это еще и комплекс триботехнических свойств: высокая несущая способность, износостойкость, низкий коэффициент трения, самосмазываемость, способность работать в требуемой среде.

Наполненные волокнами армированные ПКМ получают все большее распространение благодаря использованию их главных преимуществ – высокой удельной прочности и уникальной выносливости гетерогенных систем. Несмотря на достаточно большое количество работ в этой области, до сих пор недостаточно количество систематизированной информации, посвященные изучению влияния основных технологических факторов на структуру и свойства антифрикционных ПКМ [1].

Технология центробежного формирования изделий из литевых полимерных композиций обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с другими известными способами производства армированных деталей вращения из ПКМ. Центробежный способ обеспечивает достаточно высокую степень точности полуфабрикатов, что значительно уменьшает количество отходов при выполнении финишных механических операций, необходимых для обеспечения требуемых допусков размеров и чистоты рабочих поверхностей изделий. Получаемые материалы имеют низкую пористость, по сравнению, например, с намоткой [2]. Процесс достаточно легко автоматизируется [3].

Структура материалов, получаемых центробежным способом, формируется под воздействием центробежной силы

$$C = \frac{mv^2}{r}, \quad (1)$$

где m – масса композиции, находящейся в форме, кг;

v – окружная скорость, м/с ;

r – радиус формы, м.

Давление в слое композиции от центробежной силы (рис. 1)

$$\Delta p_{ц} = \frac{C}{F}, \quad (2)$$

¹ Работа выполнена в рамках 2 этапа работ по Государственному контракту П1733 от 25.05.2009.

где C – центробежная сила, H ; F – площадь поверхности слоя, m^2 , равная

$$F = 2\pi R_2 L \quad (3)$$

Здесь L – длина формы, m .

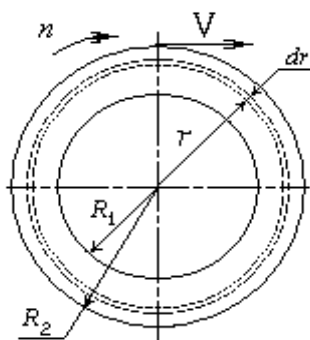


Рисунок 1 – Схема поперечного разреза втулки

С учетом (2) и (3) давление в наружном слое композиции

$$\Delta p_{ц} = \frac{C}{F} = \frac{mv^2}{R_2 \pi R_2 L} = \frac{mv^2}{2\pi R_2^2 L} \quad (4)$$

Массу элементарного слоя dm можно выразить через соотношение

$$dm = \rho_c \cdot V_c = \rho_c 2\pi r L dr \quad (5)$$

где ρ_c – плотность смеси в данном слое композиции, $кг/м^3$;

V_c – объем слоя, $м^3$;

r – переменный радиус кольца, $м$;

dr – толщина элементарного слоя композиции, $м$.

Величина центробежной силы, действующей в элементарном слое

$$dC = \rho_c \cdot \frac{2\pi r L dr}{r} \left(\frac{\pi n}{30} \cdot r \right)^2 = \rho_c \cdot 2\pi r L dr \frac{\pi^2 n^2 r}{900} \quad (6)$$

Здесь: $v = (\pi n / 30) r$ – окружная скорость, $м/с$; n – частота вращения формы, $мин^{-1}$.

Из выражения (6) следует, что величина центробежной силы пропорциональна квадратам частоты вращения и радиусу окружности формирующегося слоя композиции, а также зависит от плотности смеси и объема композиции.

С другой стороны, давление в элементарном слое определяется отношением центробежной силы к площади поверхности слоя суспензии (2), и оно будет изменяться пропорционально росту силы и обратно пропорционально площади кольца

$$\frac{dC}{F} = dp_{ц} = \rho_c \frac{\pi^2 n^2}{900} r dr \quad (7)$$

Давление от центробежной силы при изменении радиуса слоя от R_1 до R_2

$$\int_0^{p_{ц}} dp_{ц} = \rho_c \frac{\pi^2 n^2}{900} \int_{R_1}^{R_2} r dr \quad (8)$$

Давление, развиваемое центробежной силой на внешней поверхности кольца композиции

$$p_{ц} = \rho_c \frac{\pi^2 n^2}{1800} (R_2^2 - R_1^2) \quad (9)$$

Через угловую скорость можно получить и другое известное выражение

$$\Delta p_{ц} = 20 \rho_c w^2 (R_2^2 - R_1^2) = 5 \rho_c w^2 (D_2^2 - D_1^2), \quad (10)$$

где w – угловая скорость вращения формы, $с^{-1}$.

При повышении частоты вращения, диаметра формы и толщины формирующегося кольца композиции под действием центробежной силы возрастает величина градиента давления от атмосферного на внутренней поверхности кольца до максимального - к внешней. Для гомогенной суспензии компаунда, залитой в форму, положительный градиент давления вызывает увеличение средней плотности по направлению от внутренней поверхности изделий к наружной поверхности втулки. Градиент плотности материала в целом должен способствовать увеличению несущей способности, уменьшению скорости изнашивания материала и увеличению срока службы изделия.

При вращении формы, в которую загружена гомогенно перемешанная смесь различных компонентов, под действием давления от центробежной силы возможна ликвация – расслоение компонентов. Составы антифрикционных компаундов содержат порошковые и волокнистые наполнители различного гранулометрического состава с различной плотностью и гидравлическим сопротивлением. Под воздействием положительного градиента давления при определенных частотах вращения может наблюдаться перераспределение компонентов по толщине формирующегося изделия за время перехода от вязкотекучего в твердое состояние в зависимости от гидро- и термодинамических условий процесса - наполнители подвергаются стесненному осаждению.

Фактором разделения при вращении называется отношение ускорения центробежной силы к ускорению силы тяжести

$$f = \frac{v^2 r}{g} \approx 20 \frac{n^2 d}{g} \approx 20 Fr_{ц}^* , \quad (11)$$

где $Fr_{ц}^*$ – модифицированный гидродинамический критерий Фруда – безразмерная величина, применяемая в теории гидродинамического подобия.

Фактор разделения является важной характеристикой при центробежном формировании, т.к. разделяющее действие возрастает пропорционально величине K_p . Склонность к расслоению смеси увеличивается с ростом фактора разделения – с увеличением частоты вращения заготовки и диаметра слоя [3]. При этом конечная структура слоев втулки будет зависеть как от отмеченных выше кинематических и физических параметров, времени протекания процесса, так и от скорости полимеризации, т. е. и от температуры компаунда, которая с ростом будет несколько уменьшать начальную вязкость, но, в то же время, - значительно ускорять процесс отверждения. Эффект перераспределения концентрации наполнителей по толщине слоя ПКМ, вызывая определенную гетерогенность формирующейся структуры и свойств материалов по толщине, может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на эксплуатационные свойства получаемых изделий – в случае неправильно выбора технологических условий процесса [4].

Для обеспечения оптимальных технологических условий был разработан способ центробежного формирования изделий из полимерной композиции и устройство для его осуществления, предусматривающий частотное регулирование скорости формования, контроль и регулирование температуры процесса [5].

Основными задачами данного исследования являлись:

1. Разработка на основе анализа существующих аналогов оптимальной структуры антифрикционного полимерного композиционного материала (ПКМ).
2. Разработка экспериментальной установки с контролем параметров формования структуры изделий, а также технологии получения данных материалов.
3. Исследование влияния факторов процесса формования на физико-механические, триботехнические и эксплуатационные свойства материалов.
4. Оптимизация свойств полимерного композиционного материала с точки зрения основных эксплуатационных свойств на основе полученных в ходе исследований данных.

Методология исследований включала в себя как стандартные методики на основе ГОСТов, так и разработанные лабораторией композиционных материалов Тихоокеанского государственного университета [3].

Основные исходные материалы, составляющие слой ПКМ, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные материалы ПКМ

Наименование материала	Марка	Стандарт
Связующие		
Смола эпоксидно-диановая	ЭД-20	ГОСТ 10587-84
Смола эпоксидно-диановая	УД-128	DIN 16945/4
Отвердитель полиэтиленполиамин	ПЭПА	ТУ 6-02-594-75
Армирующие наполнители		
Тик матрасный	С38-БЮ	ГОСТ5937-81 ТУ 2272-001-51605600-00
Стеклоткань	ЛЭСБ	
Полиамидная ткань	РУСАР®	
Углеродная ткань	УУ П11-0196	
Антифрикционные наполнители		
Фторопласт-4	Ф-4	ГОСТ 10007-80
Коллоидно-графитовый препарат	ГС-1	ГОСТ 8295-73
Дисульфид молибдена	ДМИ-7	ТУ 48-19-133-90

Предлагаемая модель структуры антифрикционного полимерного материала учитывает предыдущий опыт изготовления аналогичных материалов и имеет несколько допущений, основные из которых:

- поперечное сечение материала условно разбито на слои, между которыми благодаря послойному формованию не возникает четких границ.
- армирующий материал должен обладать достаточной жесткостью.

Общие виды образцов для испытаний на прочность представлены на рисунке 2.

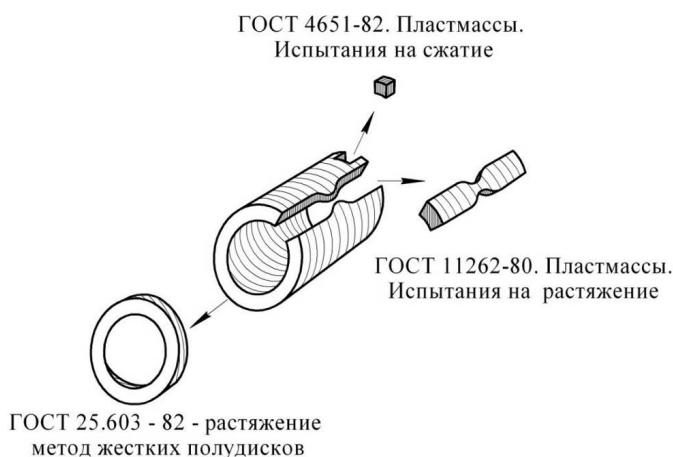


Рисунок 2 – Образцы материалов для испытаний на прочность

Несущая способность полимерного материала, полученного центробежным способом, во многом определяется качеством пропитки армирующего наполнителя, на что влияют такие факторы как температура, частота вращения формы и время формования, совокупность которых определяют технологию получения того или иного требуемого материала, исходя из будущих условий его работы [4]. Качество пропитки армирующего наполнителя определяется предельной эффективной степенью армирования полимерного материала внешнего слоя – соотношением связующего и армирующего компонентов полимерного материала, при котором он проявляет максимальные физические свойства – рисунок 3.

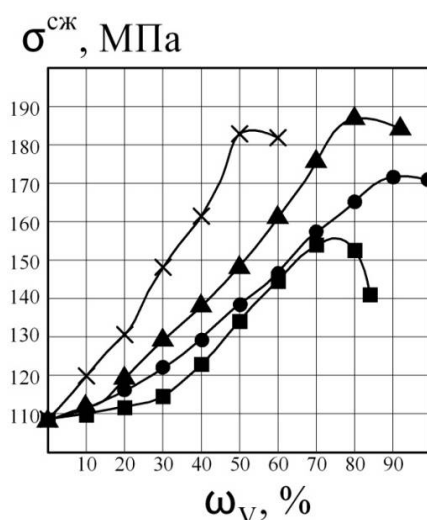


Рисунок 3 – Зависимость предела прочности на сжатие от степени армирования различными тканями для ПКМ на основе эпоксидной смолы YD-128

● – тик матрасный (С38-БЮ), ■ – бязь суровая (ГОСТ 10183-93),
 × – стеклоткань ЛЭСБ (ГОСТ 5937-81), ▲ – РУСАР® (ТУ 2272-001-51605600-00)

Здесь степень армирования полимерного материала представлена объемным содержанием армирующего наполнителя ω_v , который показывает, какой объем занимает армирующий наполнитель в объеме полученного изделия. Соответственно остальной объем приходится на полимерное связующее. Анализируя представленную зависимость, можно выделить общую тенденцию для всех армирующих материалов, согласно которой прочность материала возрастает по мере насыщения полимерной матрицы армирующим наполнителем. Эта тенденция продолжается до тех пор, пока полимерного связующего достаточно для того, чтобы связывать волокна армирующего наполнителя, а также заполнять промежутки между слоями армирующего материала. После того, как образуется дефицит связующего, возникает концентрация напряжений в местах контактов волокон и прочность ПКМ снижается. Величины ω_v наивысших точек кривых показывают предельные степени армирования. Физический смысл данной характеристики заключается в том, что она показывает какое количество армирующего материала необходимо ввести в полимерный компаунд, чтобы получить структуру слоя армированного материала с максимальными прочностными характеристиками.

На рисунке 4 приведена модель структуры антифрикционного полимерного композиционного материала. Из рисунка видно, что основными слоями материала являются: армирующий – для противостояния нагрузкам и антифрикционный – рабочий слой подшипника скольжения.

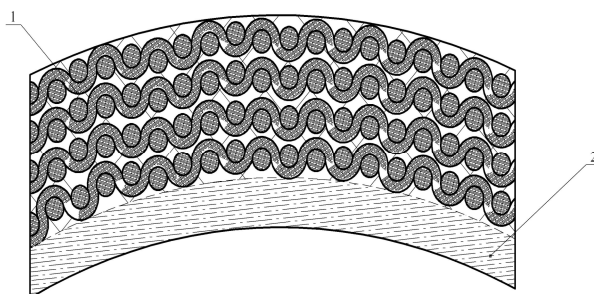


Рисунок 4 – Варианты структуры армированного полимерного материала антифрикционного назначения

1 – армирующий слой, 2 – антифрикционный слой

Предпочтительной структурой антифрикционного материала является структура с предельной степенью армирования армирующего слоя и оптимальным содержанием наполнителей антифрикционного слоя. Частицы матрицы антифрикционного слоя, воспринимая действующую на него нагрузку, передают ее частицам матрицы армирующего слоя. Час-

тицы твердых смазок (ДМИ-7, ГС-1 и Ф-4) по мере износа антифрикционного слоя материала в процессе приработки переносятся на вал узла трения, обеспечивая эффект самосмазывания. Благодаря этим особенностям разработанная структура антифрикционного материала обеспечит оптимальное соотношение между высокими прочностными характеристиками и низким коэффициентом трения материала в целом.

Технология получения образцов заключалась в следующем. В зависимости от слоя в металлическую втулку, предварительно обработанную антиадгезионным составом, поочередно загружали полимерную композицию на основе эпоксидного связующего и наполнителей, требуемых для данного слоя. Выбрав режим формования, позволяющий качественно пропитать армирующий наполнитель или равномерно распределить антифрикционный наполнитель по слою, формовали каждый слой подшипника. Кроме того, композицию каждого последующего слоя загружали в момент частичного отверждения предыдущего. Эта операция обеспечивает дополнительное когезионное взаимодействие между слоями ПКМ без использования дополнительных клеящих материалов.

Таким образом, формировали все последующие слои подшипника, после чего изделие подвергалось суточному отверждению и термообработке, выдерживаясь в термошкафу в течение 2 часов при температуре 120 °С.

Результаты физико-механических испытаний приведены на рисунке 5 – для армирующего слоя, на рисунке 6 – для антифрикционного.

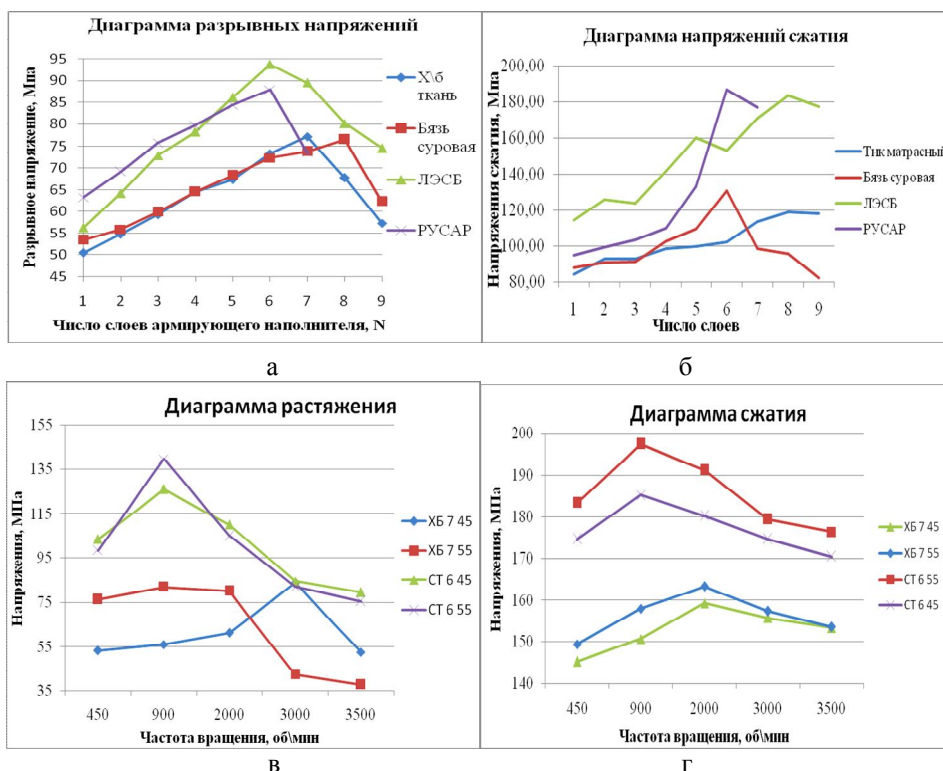


Рисунок 5 – Результаты исследования армирующего слоя

На рисунке 5 приведены зависимости разрушающих напряжений растяжения (а) и сжатия (б) материала в зависимости от содержания в нем армирующих наполнителей из различных тканей. Анализ представленных результатов позволяет определить предельную эффективную степень армирования полимерного материала для каждого вида ткани и далее пересчитать в процентное содержание (рис. 3). Исследовано влияние основных технологических факторов на прочность ПКМ с установленной эффективной степенью армирования (рис. 5 в, г) на примере армирующих тканей тика матрасного (ХБ) и стеклоткани (СТ). Цифры после данных сокращений означают: 6 и 7 – число слоев армирующего материала соответствующие эффективной степени армирования материала (рис. 5 а, б), 45 и 55 – температура

туры формования образцов. Проведенные исследования выявили требуемую температуру формования (55°C) и диапазон частоты вращения $900 - 1500 \text{ мин}^{-1}$.

Во время исследования антифрикционного слоя подбирался состав наполнителей, результаты которого приведены на примере фторопласта-4 (рис. 6 а), определялась рабочая температура в зоне сухого трения (рис. 6 б), было выявлено упрочнение покрытия в ходе процесса приработки (рис. 6 в), а также определена массовая износостойкость покрытия (рис. 6 г). Исследования по подбору состава проводились при скорости трения $0,2 \text{ м/с}$, и давлении 5 МПа . Проведенные исследования определили состав композиции антифрикционного слоя: фторопласт-4 – $25\% \text{ масс.}$, ГС-1 – $7\% \text{ масс.}$, MoS_2 – $5\% \text{ масс.}$, связующее (YD-128 и ПЭПА в пропорции 1:10) – $63\% \text{ масс.}$

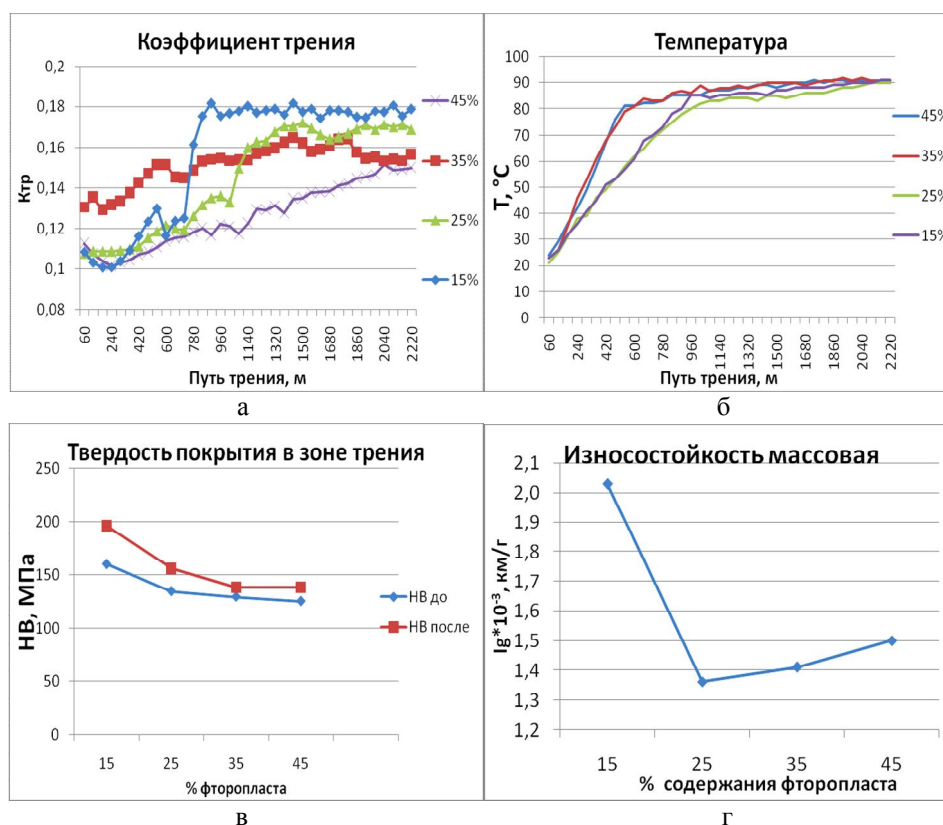


Рисунок 6 – Результаты исследования антифрикционного слоя

Ресурсные испытания материалов проводились в условиях отсутствия смазки в диапазоне давлений от 10 до 110 МПа и средней скорости трения $0,027 \text{ м/с}$ на возвратно-вращательном стенде, имитирующем работу подшипника скольжения балансирной подвески автомобиля и ряда других шарнирных соединений.

Определялась максимальная несущая способность материала при трении без смазки и охлаждения, а также его ресурс работы. Время испытаний выбиралось достаточным, чтобы при минимальной нагрузке выйти на рабочий режим трения материала через режим приработки. Путь трения за время 3 часа при данной скорости составил $353,5$ метра. Известными аналогами при сравнении получаемых данных были полиамид 6.10 (капролон) и ПКМ – Ф4К20. По данным испытаний составлены диаграммы, позволяющие оценить работоспособность исследуемых материалов (рис. 7), а также диапазоны их применимости (рис. 8).

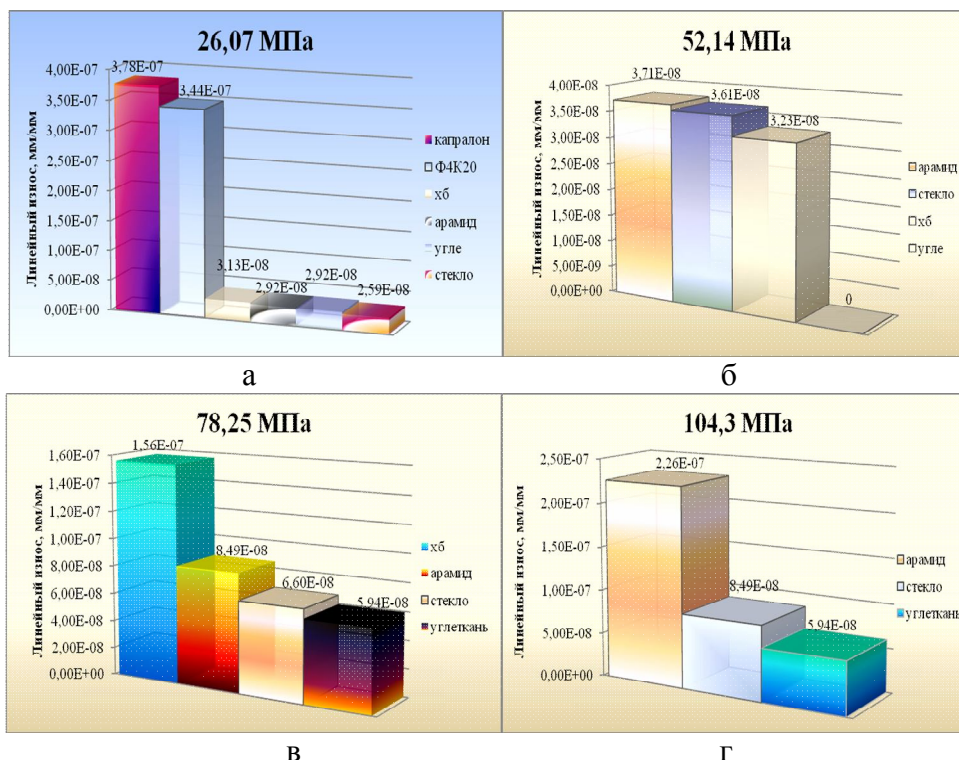


Рисунок 7 – Результаты исследования материалов на износостойкость

Значения линейного износа при различных величинах давлений, действовавших на образец, приведены на рисунке 7 а – г. Результаты свидетельствуют, что максимальной несущей способностью обладает материал с армирующим слоем на основе высокомодульных волокон (104,3 МПа). Линейный износ в этом случае составляет $6 - 8,5 \cdot 10^{-8}$ мм/мм и определяется в большей степени предварительной деформацией антифрикционного элемента. Такие значения износа объясняются малым путем трения, поэтому его следует считать скорее приработочным, чем рабочим. Диаграмма несущей способности материалов в зависимости от вида исследуемого материала представлена на рисунке 8 б.

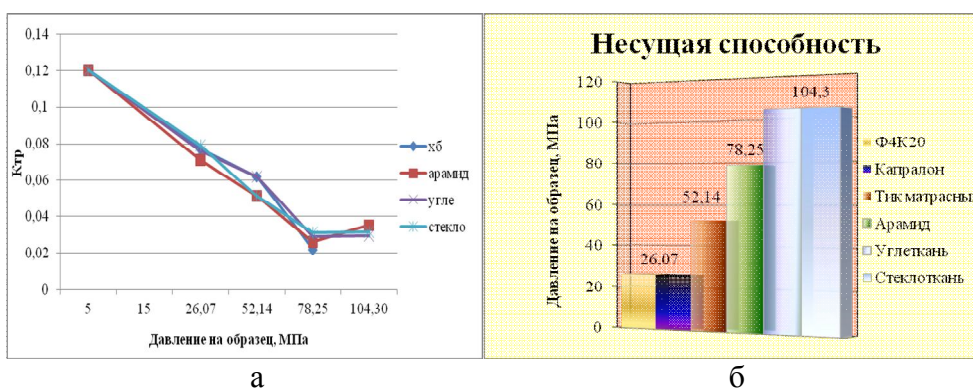


Рисунок 8 – Результаты исследования материалов на несущую способность

Анализируя полученные результаты, можно заметить тенденцию к уменьшению коэффициента трения при возрастании нагрузки на материалы, причем больших различий в зависимости от вида армирующего материала нет (рис. 8 а). Поэтому можно сделать вывод, что влияние армирующего компонента на изменение коэффициента трения незначительно, а к значительным изменениям приводят изменения состава антифрикционного слоя, а также факторов, влияющих на его формирование.



Рисунок 9 – Коэффициент трения ПКМ, армированного углетканью

На рисунке 9 приведен характер изменения коэффициента трения в зависимости от пройденного пути трения, а также полиномиальная аппроксимация полученной кривой.

Для ресурсных испытаний был выбран материал с максимальной несущей способностью и режим сухого трения с $p_a V = 1,41 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$ на том же испытательном стенде. Путь трения составил 10044,6 метра, при этом совершено 193 000 цикла возвратно вращательного движения, интенсивность износа составила $6,97 \cdot 10^{-9} \text{ мм/мм}$. По окончании испытаний линейный износ подшипника скольжения (в диаметральном направлении) составил $0,04 \pm 0,01 \text{ мм}$.

Таким образом, анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

1. На основе анализа существующих аналогов полимерных материалов антифрикционного назначения разработана оптимальная структура антифрикционного армированного эпоксиэфторопластового ПКМ, а также технология его получения на основе центробежного литья.

2. Разработана экспериментальная установка для получения антифрикционных ПКМ с управлением и контролем параметров формования структуры ПКМ.

3. Экспериментально установлено влияние технологических и конструктивных факторов процесса формования на физико-механические, триботехнические и эксплуатационные свойства материалов.

4. Получены материалы с высокой несущей способностью и износостойкостью, характеристики которых способны конкурировать с аналогами, а по некоторым параметрам (например, несущая способность) и превосходят их.

Получение градиентных композиционных материалов и изучение их свойств является актуальной научной задачей, имеющей большое прикладное значение для машиностроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, В.А. Прогрессивные самосмазывающиеся материалы на основе эпоксиэфторопластов для триботехнических систем / В.А. Иванов, Ри Хосен. – Владивосток, Хабаровск: ДВО РАН, 2000. – 429 с.
2. Захарычев, С.П. Исследования антифрикционных армированных эпоксиэфторопластов, полученных намоткой / С.П. Захарычев, Д.В. Отмахов // Известия ОрелГТУ. Орел: 2009. № 3-2/275(561). – С. 86 – 91.
3. Захарычев, С.П. Создание станка для разработки технологии центробежного литья изделий из полимерных композиционных материалов / С.П. Захарычев, В.А. Иванов, В.А. Авдеев, С.В. Гончаров // Вестник ТОГУ. Хабаровск: изд-во ТОГУ. – 2007. – № 1(4). – С. 125 – 136.
4. Гончаров, С.В. Оборудование для исследования процессов центробежного формирования изделий из полимерных композиционных материалов / С.В. Гончаров, В.А. Иванов, С.П. Захарычев // Вестник машиностроения. – 2009. – № 3.
5. Патент № 2072917 РФ, МКИ⁷ В 29 С 41/04, 41/38. Способ центробежного формирования изделий из полимерной композиции и устройство для его осуществления / В.А. Иванов, С.П. Захарычев, А.Т. Тарасенко, В.А. Авдеев.

Захарычев Сергей Петрович

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

Кандидат технических наук, доцент, кафедра «Машины и оборудование лесного комплекса»

Тел. (4212) 37-51-90

E-mail: molk@mail.khb.ru

Иванов Валерий Александрович

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и оборудование лесного комплекса»
Тел. (4212) 37-51-90
E-mail: molk@mail.khb.ru

Гончаров Сергей Владимирович

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
Инженер, кафедра «Машины и оборудование лесного комплекса»
Тел. (4212) 37-51-90
E-mail: molk@mail.khb.ru

S.P. ZAHARYITHEV, V.A. IVANOV, C.B. POTTERS

**RESEARCH OF PROPERTIES GRADIENT EPOXYFLUORINEPLAST,
RECEIVED IN THE CENTRIFUGAL WAY OF FORMATION**

The properties of polymeric composite materials (PCM) are defined not only by composition of compounds, but also technological conditions of the shaping of the internal structure materials. Way of the centrifugal shaping allows to get antifriction materials with positive gradient mechanical characteristics, providing longevity of the details friction machines.

Keywords: antifriction polymeric composition material, centrifugal way.

BIBLIOGRAPHY

1. Ivanov, V.A. Progressivnye samosmazyvajuwiesja materialy na osnove jepoksidofloroplastov dlja tribotekhnicheskikh sistem / V.A. Ivanov, Ri Hosen. – Vladivostok, Habarovsk: DVO RAN, 2000. – 429 s.
2. Zaharychev, S.P. Issledovanija antifrikcionnyh armirovannyh jepoksidofloroplastov, poluchennyh namotkoj / S.P. Zaharychev, D.V. Otmahov // Izvestija OrelGTU. Orel: 2009. № 3-2/275(561). – S. 86 – 91.
3. Zaharychev, S.P. Sozdanie stanka dlja razrabotki tehnologii centrobezhnogo lit'ja izdelij iz poli-mernyh kompozicionnyh materialov / S.P. Zaharychev, V.A. Ivanov, V.A. Avdeev, S.V. Goncharov // Vestnik TO-GU. Habarovsk: izd-vo TOGU. – 2007. – № 1(4). – S. 125 – 136.
4. Goncharov, S.V. Oborudovanie dlja issledovanija processov centrobezhnogo formirovanija izdelij iz poli-mernyh kompozicionnyh materialov / S.V. Goncharov, V.A. Ivanov, S.P. Zaharychev // Vestnik mashino-stroenija. – 2009. – № 3.
5. Patent № 2072917 RF , MKI7 V 29 S 41/04, 41/38. Sposob centrobezhnogo formirovanija izdelij iz poli-mernoj kompozicii i ustrojstvo dlja ego osuwestvlenija / V.A. Ivanov, S.P. Zaharychev, A.T. Tarasenko, V.A. Avdeev.

Zaharychev Sergey Petrovich

Pacific National University, Khabarovsk
Candidate of technical science, associate professor, department “Machines and timber complex facilities”
Tel: 4212-37-51-90
E-mail: molk@mail.khb.ru

Ivanov Valeriy Aleksandrovich

Pacific National University, Khabarovsk
Doctor of technical science, professor, head of department “Machines and timber complex facilities”
Tel: 4212-37-51-90
E-mail: molk@mail.khb.ru

Goncharov Sergey Vladimirovich

Pacific National University, Khabarovsk
Engineer, department “Machines and timber complex facilities”
Tel: 4212-37-51-90
E-mail: molk@mail.khb.ru

П.В. ГАЛАГАН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ МНОГОКАНАЛЬНОГО РЕГИСТРИРУЮЩЕГО ПОТЕНЦИОМЕТРА

Проведена обработка и анализ результатов экспериментального исследования нестационарного поля температур в цилиндрическом диске, поверхность которого подвергается нагреву потоком низкотемпературной плазмы. Установлены зависимости распределения температур по толщине диска, удалению точек наблюдения от вертикальной оси электрической дуги плазмотрона, его мощности и расхода плазмообразующего газа. Материалы статьи могут быть использованы в качестве примера успешной работы по реставрации ранее полученных данных для создания фактографических баз знаний и их использования при разработке алгоритмов адаптивного управления технологическими процессами плазменной обработки деталей.

Ключевые слова: плазменное напыление, компьютерная обработка данных, нестационарная теплопроводность.

Ежегодно в России создается около 300 новых машиностроительных технологий, из которых 12% соответствуют лучшим зарубежным образцам или не имеют аналогов в мире [1]. Значительная часть их относится к оборудованию, конструкционным материалам, заготовительному производству, сварке и модификации поверхностей и связана с применением информационных технологий как с основным фактором инновационного развития отрасли. Вместе с тем распространение инноваций происходит крайне медленно. Это касается даже уникальных из них, запатентованных в развитых странах и получивших награды международных выставок, что во многом обусловлено отсутствием реализации системного подхода к созданию и продвижению на рынок сложной интеллектуальной продукции. Это в полной мере относится к технологическим процессам плазменной обработки, в основе которых лежит принцип нагрева напыляемого материала с последующим его ускорением и переносом на поверхность обрабатываемых деталей.

Обработка материалов потоком плотной низкотемпературной плазмы широко применяется в различных областях техники. В частности, с ее помощью режут и сваривают металлы, наносят упрочняющие, износостойкие и другие защитные покрытия. Этот процесс, как правило, характеризуется высокими скоростями и энергонасыщенностью, неустойчивостью и недостаточной детерминированностью явлений, возникающих в плазме, что, помимо сложности самого оборудования, создает значительные трудности для проектирования систем управления на основе современных информационных технологий.

Рассматривая системы управления технологическими процессами электроплазменной обработки и используемое при этом оборудование как объектов дальнейшего исследования, можно увидеть, что они представляют собой сложный комплекс современных технических устройств, которые формируют необходимые условия для высококачественной подготовки и обработки поверхностей изготавливаемых или восстанавливаемых деталей (рис. 1).

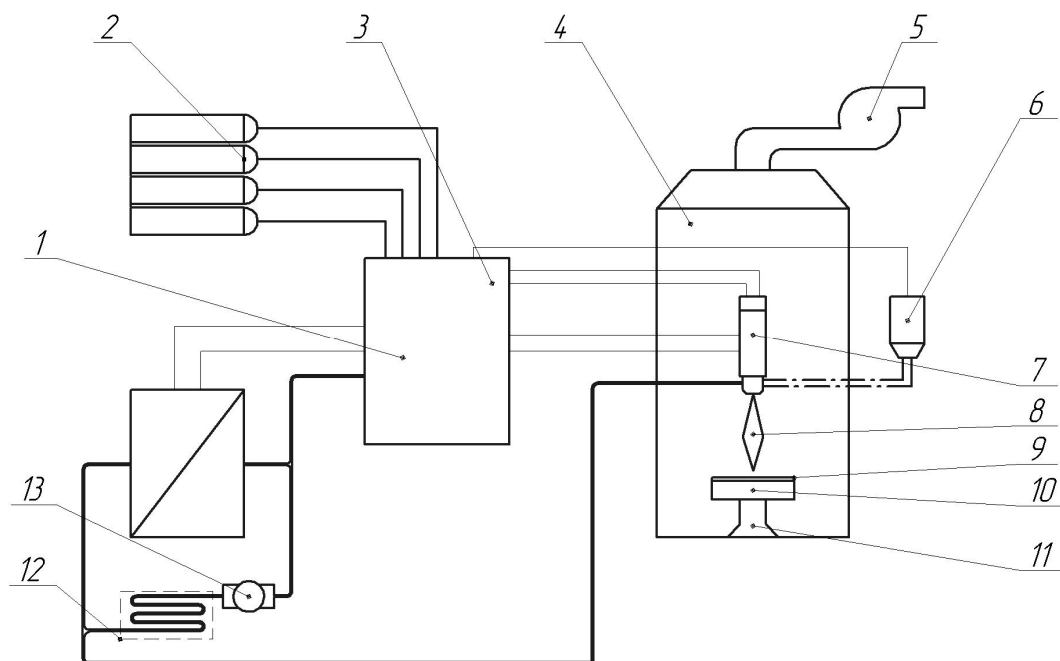


Рисунок 1– Типовая структура оборудования электроплазменного напыления

1 – источник питания; 2 – баллоны с газом; 3 – пульт управления; 4 – камера напыления;
 5 – вытяжной вентилятор; 6 – порошковый дозатор; 7 – плазматрон; 8 – плазменная струя;
 9 – напыляемое покрытие; 10 – изделие; 11 – устройство для перемещения изделия; 12 – холодильник;
 13 – водяной насос

При проектировании систем автоматического управления универсального или модульного оборудования для плазменной обработки можно выделить основные параметры оптимизации процессов, такие, как:

- качество обработки: точность, шероховатость, прочность, чистота поверхности, отсутствие температурных деформаций и нежелательных структурных превращений;
- производительность и энергоэффективность;
- эксплуатационные расходы,
- требуемая квалификация персонала.

При этом необходимо рассматривать разнообразные физико-химические явления, технологические структуры и большое число взаимосвязанных параметров этих явлений и структур. Сама разработка систем управления выступает как комплексная проблема, в которой в сложной взаимосвязи решаются задачи синтеза, анализа, моделирования, оптимизации и принятия решений.

К показателям качества плазменной термообработки относятся шероховатость поверхности, глубина упроченного слоя, его микротвердость, однородность химического состава и микроструктуры зоны воздействия плазмы на металл. Общими процессами, формирующими эти показатели, являются нагрев металла и последующее его охлаждение до температур структурных и фазовых превращений. Качество термообработки обеспечивается заданными значениями и стабильностью скорости нагрева, температурой зоны термического влияния, временем выдержки температур, необходимых для завершения фазовых преобразований и скоростью охлаждения [2]. Для исследования динамики прогрева стальных деталей в реальных условиях работы плазматрона и определения алгоритмов управления этими процессами разработан экспериментальный стенд, показанный на рисунке 2.

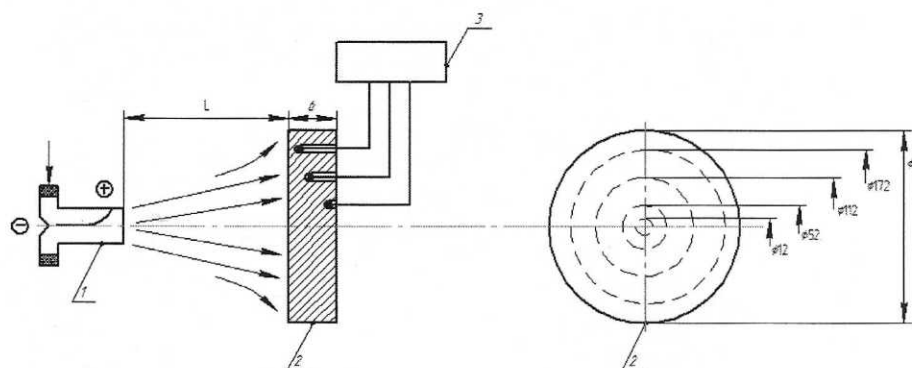


Рисунок 2 — Схема экспериментального стенда

1 – электродуговой плазматрон; 2 – цилиндрический образец с термопарами;
3 – система контроля температур

Экспериментальный стенд [3] включает в себя стабильный электродуговой плазматрон с диаметром анодного сопла 8 мм, плазмообразующий газ – воздух, с пределами регулирования мощности от 12 до 30 кВт. Электродуговой плазматрон установлен горизонтально, а плоский цилиндрический образец - вертикально. В качестве модельных образцов испытываются стальные детали диаметром 180 и 60 мм, характеристики которых приведены в таблице 1.

В эксперименте использовались два образца диаметром 180 мм толщиной 15 и 6 мм, в толщ которых были зачеканены термопары (рис. 3). Предварительный прогрев поверхности образцов до 100...300 °С осуществлялся газовой горелкой или плазматроном – распылителем без подачи порошка, работающим в "мягком" температурном режиме. Полученный температурный уровень поддерживался и усиливался в процессе модельного эксперимента. При это температура поверхностных слоев определялась как параметрами высокотемпературного газового потока (среднемассовая температура газа 2000 - 4000 К), так и характеристиками детали (габариты, масса, материал).

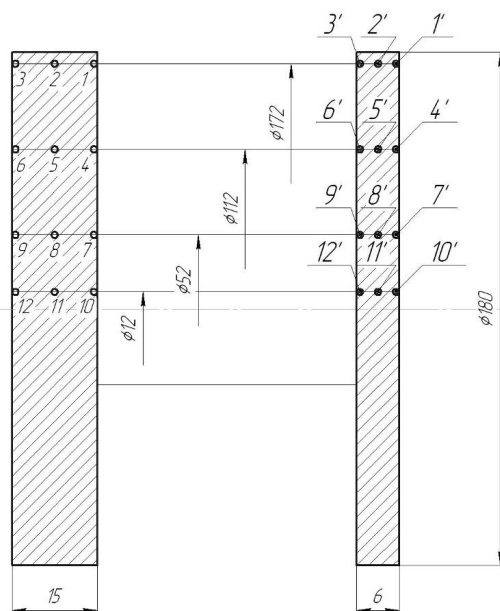


Рисунок 3 – Расположение точек измерения температуры на образцах

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Цилиндрические образцы устанавливались осесимметрично к оси анодного сопла. С тыльной стороны образцов по окружностям радиусов 6, 26, 56, 86 мм (образец Ø 180 мм) за-

сверливались глухие отверстия для установки термопар. Поверхностная температура определялась на глубине около 0,9 мм (точки 3,6,9,12). Кроме того, измерялась температура с тыльной стороны образцов, а для образцов толщиной 15 мм (точка 1,4,7,10) и в центре – глубина 7,5 мм (точка 2,5,8,11).

Измерения температур осуществлялись с помощью автоматического следящего потенциометра КСП, предназначенного для измерения силы и напряжения постоянного тока, а также неэлектрических величин, преобразованных в указанные выше электрические сигналы и активное сопротивление. Эти приборы работают в комплекте с несколькими термоэлектрическими преобразователями стандартных градуировок.

После преобразования сигналов от термопар контролируемые температуры с интервалом 10 секунд выводились на печать. Эксперимент завершался после стабилизации температуры по всем точкам контроля (300...480 сек), а затем он повторялся на полностью остывших образцах при новых параметрах плазменной струи. Для удобства сравнения динамики прогрева образцов, отличающихся размерами и массой, в экспериментах дискретно устанавливались три варианта среднемассовых энтальпий на срезе плазмотрона, соответствующих уровню температур около 3000 К, 2000 К, 1000 К (с максимальным отклонением от номинала до ±30 градусов). Среднемассовая энтальпия ($h_{пл}$) рассчитывалась по результатам калориметрирования плазмотрона, а регулирование проводилось за счет изменения тока дуги при стабилизации расхода газа в пределах ± 10%.

$$h_{пл} = h_0 + \frac{I \cdot U}{G} \cdot \eta_{пл},$$

где h_0 – энтальпия азота при нормальных условиях, кДж/кг;

I – ток дуги, кА;

U – напряжение дуги, В;

G – массовый расход плазмообразующего воздуха, кг/с;

$\eta_{пл}$ – КПД электродугового плазмотрона.

Исходная тепловая мощность плазменной струи ($G_{пл} \cdot h_{пл}$) несколько снижается перед образцом за счет излучения и диссипации энергии в пограничном слое. В первом приближении тепловой баланс на нагреваемой поверхности образца можно представить следующим образом:

а) на стадии прогрева: $G_{пл} \cdot h_{пл} \approx Q^*(\tau) + Q(\tau) - Q_{пот}(\tau)$;

б) после установления теплового равновесия: $G_{пл} \cdot h_{пл} \approx Q^* + Q_{ном}$

где Q^* – тепло, отводимое от образца уходящим потоком газа;

Q – энергия, аккумулируемая образцом;

$Q_{пот}$ – суммарные теплопотери от нагретого образца в установившемся режиме.

Таким образом, имело смысл исследовать только нестационарный процесс прогрева образца от начальной температуры до максимального теплонасыщения, соответствующего стабилизации контролируемых температур [4]. Кинетика поверхностного прогрева металлических дисков (на глубине 0,9 мм, т.е. практически в центре плазменного потока) на расстоянии 6 мм до оси дуги представлена ниже на рисунке 6.

Первоначальная скорость прогрева $\varphi = \frac{\Delta T}{\Delta \tau}$ (К/с) за первые 30...40 секунд в основном определялась уровнем среднемассовой температуры истекающей струи ($T_{ис}$).

ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные в эксперименте данные, записанные групповым регистрирующим прибором в цифровом виде на матричном принтере, преобразовывались в табличные файлы (Табл. 1).

Таблица 1 – Динамика измерения температуры внутри образцов

T=480,00 сек	Диаметр 180 мм	Толщина=15 мм		L=100 мм		
№ п/п	Измерения в точке 1		Измерения в точке 2		Измерения в точке 3	
	Время, с	T, К	Время, с	T, К	Время, с	T, К
1,0	0,2	298,9	0,3	298,4	0,4	299,2
2,0	10,4	303,2	10,5	302,5	10,6	303,7
3,0	20,6	307,7	20,7	307,2	20,8	309,2
4,0	30,8	313,7	30,9	313,0	31,0	315,2
5,0	41,0	318,2	41,1	317,7	41,2	319,7
6,0	49,9	322,9	50,0	322,2	50,2	325,1

Была разработана специальная программа обработки данных в лицензионной среде LabVIEW с целью получения аппроксимационных зависимостей, установления температуры на поверхности и внутри испытываемых образцов на стационарном уровне (рис. 4). Всего обработано 100 листов записей общим объемом более 1000 килобайт.

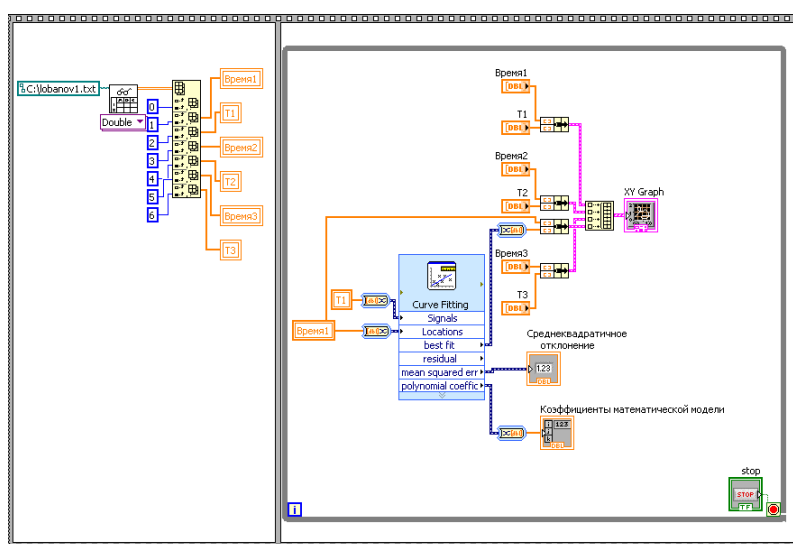


Рисунок 4 – Блок-схема программы обработки экспериментальных данных

При запуске программы данные из табличного файла загружались в массивы и поступали на входы системы отображения и аппроксимации данных как линейных, так и нелинейных зависимостей. В число последних входили полиномиальная и линейная общего вида. В зависимости от необходимой меры приближения был выбран метод наименьших квадратов.

При полиномиальной аппроксимации общего вида программа находит значение аппроксимирующего полинома, который наилучшим образом определяет математическую модель аппроксимируемого набора входных данных (температуры и времени).

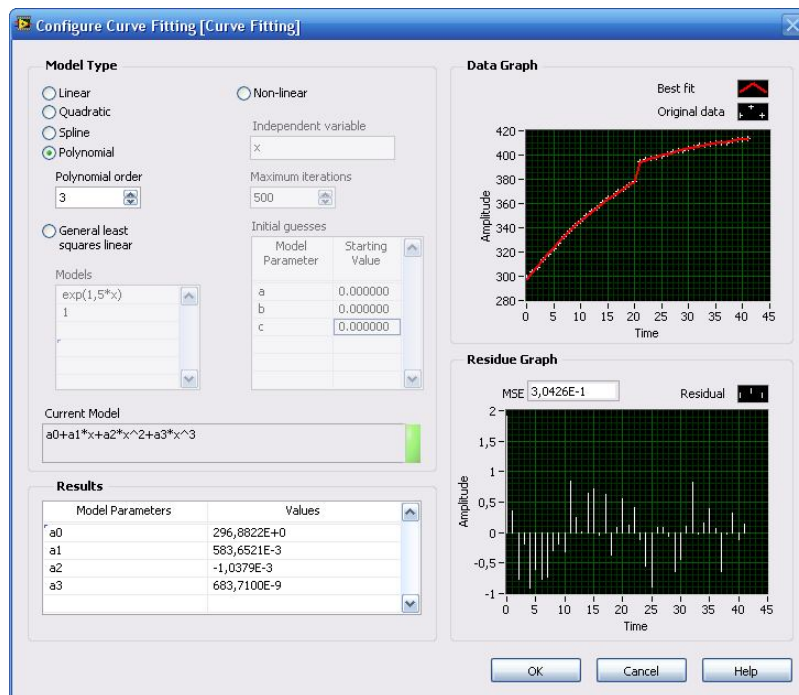


Рисунок 5 – Окно модуля восстановления и аппроксимации данных с графиком спектра ошибок

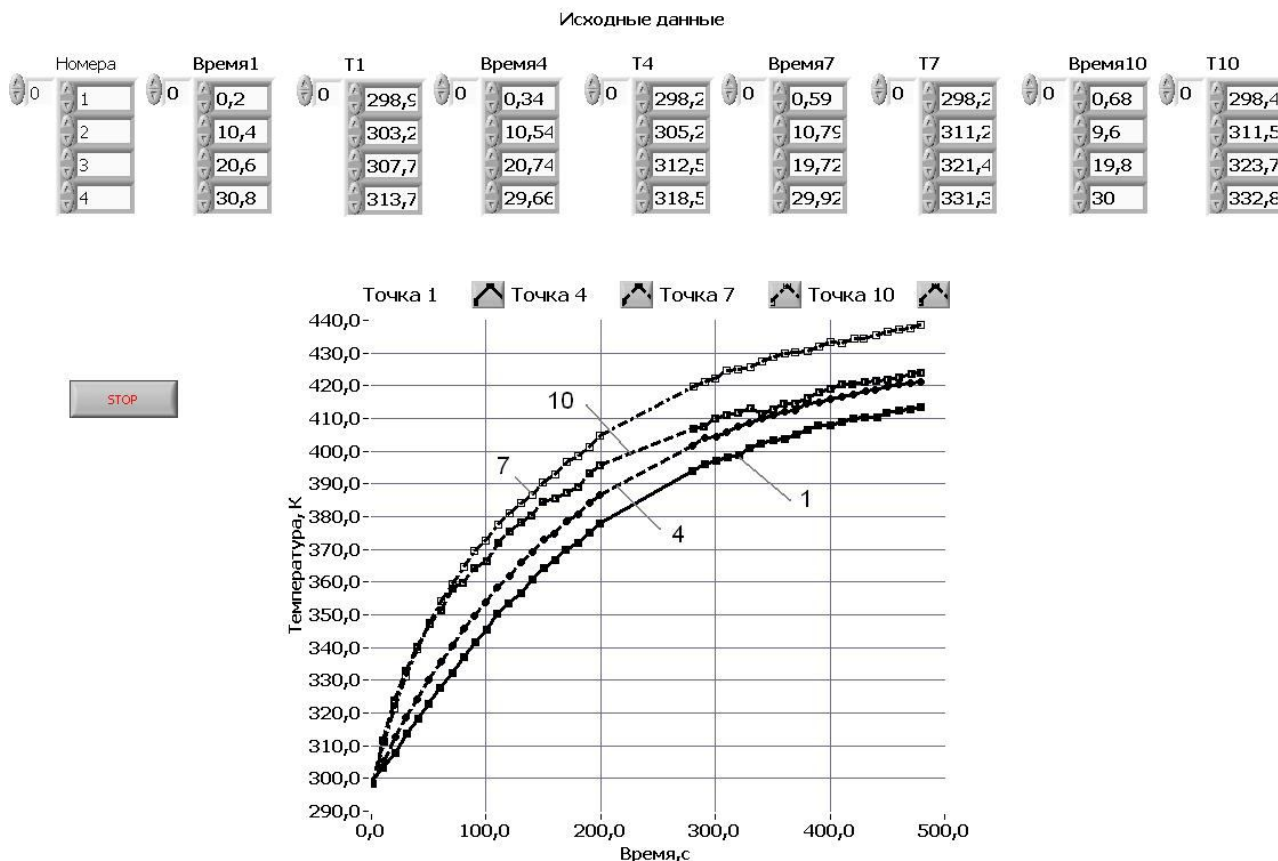


Рисунок 6 – Кинетика прогрева рабочей поверхности образца толщиной 15 мм при температуре плазмотрона 1007 К

Таблица 2 – Анализ данных

№№ точек	Аппроксимационные модели					
	Полином 3 степени		Полином 2 степени		Линейная	
	Коэффициенты	Ошибка	Коэффициенты	Ошибка	Коэффициенты	Ошибка
1	296,94 ; 0,584; -0,0037; $6,8 \times 10^{-7}$	0,3 К	300,43; 490×10^{-3} ; - $5,46 \times 10^{-4}$	2,92 К	319,25; 0,228	91,0 К
2	296,12 ; 0,590; -0,0011; $7,31 \times 10^{-7}$	0,286 К	299,92; 0,490; - $5,49 \times 10^{-4}$	3,28 К	318,87; 0,226	92,5 К
3	297,49 ; 0,617; -0,0011; $7,41 \times 10^{-7}$	0,445 К	301,36; 0,515; - $5,77 \times 10^{-4}$	3,52 К	321,34; 0,238	102,3 К
4	299,14 ; 0,677; -0,0014; $11,26 \times 10^{-7}$	0,269 К	304,99; 0,523; - $6,05 \times 10^{-4}$	7,38 К	325,81; 0,232	116,1 К
5	300,38 ; 0,714; -0,0015; $11,51 \times 10^{-7}$	0,759 К	306,38; 0,556; - $6,47 \times 10^{-4}$	8,19 К	328,69; 0,245	132,47
6	303,86 ; 0,727; -0,0015; $11,68 \times 10^{-7}$	0,692	309,99; 0,567; - $6,64 \times 10^{-4}$	8,34 К	332,96; 0,247	139,1 К
7	305,79 ; 0,848; - 0,00209; $19,08 \times 10^{-7}$	5,38 К	315,71; 0,586; - $7,22 \times 10^{-4}$	25,85 К	340,61; 0,239	181,0 К
8	308,45 ; 0,897; -0,00221; $20,04 \times 10^{-7}$	6,13 К	318,94; 0,621; - $7,63 \times 10^{-4}$	28,71 К	345,32; 0,254	201,6 К
9	310,65 ; 0,895; -0,00222; $20,35 \times 10^{-7}$	5,70 К	321,33; 0,615; - $7,56 \times 10^{-4}$	28,99 К	347,50; 0,252	198,7 К
10	308,01 ; 0,776; -0,0021; $19,77 \times 10^{-7}$	6,95 К	318,25; 0,506; - $6,26 \times 10^{-4}$	29,02 К	339,81; 0,205	146,0 К
11	311,95 ; 0,962; -0,00252; $20,36 \times 10^{-7}$	10,59 К	324,28; 0,638; - $8,00 \times 10^{-4}$	42,02 К	351,95; 0,253	232,85 К
12	319,48 ; 0,951; -0,00248; $23,36 \times 10^{-7}$	10,75 К	331,72; 0,629; - $7,90 \times 10^{-4}$	41,56 К	359,06; 0,249	227,45 К

Примечание - данные таблицы получены при условиях, что мощность плазмотрона – 11,375 кВт; средневзвешенная температура плазмы – 1007К; расход азота – 11,6 г/сек; диаметр образца – 180 мм, толщина образца – 15 мм.

РАСЧЕТЫ И ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫПОЛНЕННОЙ РАБОТЫ

1. Аппроксимация кривых установления температуры внутри исследуемых образцов полиномом третьего порядка дает среднеквадратическую погрешность определения температуры по регрессионному уравнению в 0,3 К; для сравнения - приближение полиномом второй степени – 2,9 К.

2. Результаты обработки показывают, что наилучшее приближение из выбранных способов аппроксимации дает полином третьего порядка. При этом среднеквадратичная ошибка аппроксимационной кривой составляет от 0,3 до 10,75 К, в то время как полином второго порядка дает ошибку от 3 до 41,6 К, а ошибка линейной аппроксимации чрезмерно велика - от 91 до 230 К, ее коэффициент (К/с) не может трактоваться как средний темп роста температуры.

3. Свободные члены полиномов третьей и второй степени характеризуют температуру в измеряемых точках в начальный момент времени, соответствующий неупорядоченному периоду нестационарной теплопроводности. При этом четко прослеживается тенденция уменьшения температуры начального периода по мере удаления от центра поверхности образца, омываемого плазменной струей (рис. 7).

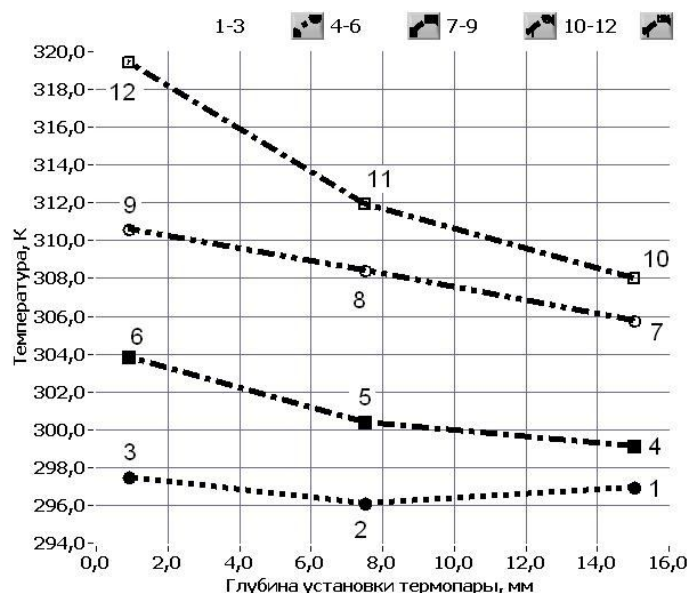


Рисунок 7 – Распределение температур в измеряемых точках в начальный момент времени, соответствующий неупорядоченному периоду нестационарной теплопроводности

4. При увеличении среднемассовой температуры истекающей струи от 1000 К до 3000 К пропорционально возрастал темп нагрева (с 3 до 10 К/с). Размеры и масса металлических образцов влияли на скорость нагрева не так существенно, так как ее значения соответствовали начальному неупорядоченному режиму нестационарной теплопроводности. Максимальный эффект от уменьшения размеров и массы образца соответствовал температуре струи 2000 К.

5. Для практически более важного режима напыления порошков с температурой струи порядка 3000 К темп нагрева слабо связан с массой образца, но существенно зависит от толщины. Градиент температур по радиусу колеблется от 6 К/мм до 0,5 К/мм.

6. Существенное увеличение времени разогрева (в 2-10 раз) наблюдалось как при росте толщины образцов (с 6 до 15 мм), так и при уменьшении среднемассовой температуры струи.

7. Таким образом, температурой поверхности образца можно успешно управлять при заданной среднемассовой температуре струи путем установления времени нагрева, исходя из толщины и массы напыляемой детали с учетом теплофизических свойств металла и получаемых аппроксимационных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипова, М.Ю. Статистический анализ основных тенденций создания и использования передовых технологий / М.Ю. Архипова // Вопросы статистики. – 2007. – № 7.
2. Кудинов, В.В. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий / В.В. Кудинов, В.М. Иванов. – М.: Машиностроение, 1981. – 192 с.
3. Лобанов, Н.Ф. Современные тенденции в области формирования газотермических покрытий / Н.Ф. Лобанов, А.А. Козлов, М.Ф. Герман // Химическая промышленность. – 1991. – №6. – 4 с.
4. Галаган, П.В. Разработка математической модели процесса нагрева цилиндрической поверхности движущимся точечным источником тепла / П.В. Галаган // Современные технологии обработки металлов и средства их автоматизации: Сборник тезисов Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Издательство ТулГУ, 2010. – С. 65.

Галаган Павел Владимирович

ФГОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
 аспирант кафедры «Прикладной математики и информатики»,
 E-mail: pvl@inbox.ru

P.V. GALAGAN

PLASMA SPRAYING MODE DETERMINATION BASED ON ELECTRONIC DATA PROCESSING

The paper deals with the processing and analysis of the results of the experimental investigation of a non-stationary temperature field in a cylindrical disk, whose surface is heated with a low-temperature plasma stream. The information and materials of the paper can be used as an example of successful work on the creation of factual database, and their use in the development of algorithms for adaptive control of plasma parts processing.

Keywords: *plasma spraying, computer data processing, non-stationary heat conduction.*

BIBLIOGRAPHY

1. Arhipova, M.Ju. Statisticheskij analiz osnovnyh tendencij sozdaniya i ispol'zovaniya peredovyh tehnologij / M.Ju. Arhipova // Voprosy statistiki. – 2007. – № 7.
2. Kudinov, V.V. Nanesenie plazmoj tugoplavkih pokrytij / V.V. Kudinov, V.M. Ivanov. – M.: Mashinostroenie, 1981. – 192 s.
3. Lobanov, N.F. Sovremennye tendencii v oblasti formirovaniya gazotermicheskikh pokrytij / N.F. Lobanov, A.A. Kozlov, M.F. German // Himicheskaja promyshlennost'. – 1991. – №6. – 4 s.
4. Galagan, P.V. Razrabotka matematicheskoy modeli processa nagreva cilindricheskoy poverhnosti dvizhuwimsja tochechnym istochnikom tepla / P.V. Galagan // Sovremennye tehnologii obrabotki metallov i sredstva ih avtomatizacii: Sbornik tezisov Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov i aspirantov. – Izdatel'stvo TulGU, 2010. – S. 65.

Galagan Pavel Vladimirovich

State University – Education Science Production Complex

Post-graduate student of department “Applied mathematics and informatics”

E-mail: pvl@inbox.ru

А.В. КОРЧАК

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА УПОРНЫХ ЛЕПЕСТКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с автоматизацией расчета упорного лепесткового газодинамического подшипника. Проанализированы существующие методы и инструментальные средства расчета. Определена методика моделирования подшипника, основанная на вычислении полей давлений смазочного материала путем совместного решения модифицированного уравнения Рейнольдса и уравнения баланса энергии с учетом деформаций упругих элементов. На основании математической модели разработано программное обеспечение, которое может применяться на этапе проектирования данного вида опор и определены условия его использования.

Ключевые слова: автоматизация, лепестковый подшипник, газовая смазка, осевой зазор.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДШИПНИКОВ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАШИНАХ

Турбостроение относится к одной из наиболее наукоемких отраслей энергетического и транспортного машиностроения. Растущие требования к эффективности и надежности турбомашин, а также расширение диапазона параметров и условий эксплуатации создают предпосылки для их непрерывного конструктивного и технологического совершенствования. Наиболее нагруженными и ответственными элементами турбомашин, определяющими работоспособность и ресурс изделий, являются роторно-опорные узлы. Среди критериев их классификации можно выделить физический принцип создания несущей способности, связанный с видом трения (подшипники качения, скольжения и электромагнитные подвесы) и направление воспринимаемой нагрузки (радиальные, осевые и конические подшипники).

Подшипники качения - наиболее широко распространенный тип подшипников в промышленности. Это объясняется удобством монтажа и обслуживания, большей несущей способностью, меньшим расходом смазочных материалов, отсутствием износа опорных поверхностей ротора, взаимозаменяемостью и общедоступностью. Однако увеличение частот вращения ротора выявило ряд существенных недостатков, сдерживающих дальнейшее применение подшипников качения в качестве опор в высокоскоростных машинах. Более перспективным стало использование различных видов подшипников скольжения. Но и при их использовании, в условиях жидкостной смазки, частота вращения валов ограничивается большими потерями на трение и теплообразованием. Особо быстроходные подшипники скольжения приходится снабжать громоздкими охлаждающими устройствами. Поэтому эффективным путем повышения предельной частоты вращения является уменьшение вязкости смазочного материала. Очевидно, что наибольшие скорости могут быть достигнуты с помощью газовой, преимущественно воздушной смазки. Можно выделить следующие достоинства таких подшипников [1]:

- 1) практически неограниченная частота вращения вала;
- 2) малые потери мощности и ничтожный нагрев;
- 3) лучшее сохранение точности положения вала;
- 4) химическая стабильность газов в широком интервале температур;
- 5) отсутствие разрывов в смазочной пленке.

К недостаткам газовых подшипников можно относительно низкую, по сравнению с другими видами опор, несущую способность.

Высокоскоростные турбомашинны с использованием подшипников на газовой смазке находят широкое применение в транспортном машиностроении, криогенной (низкотемпературной) технике, энергетике, газовой и химической промышленности. Примерами машин, функционирующих с использованием лепестковых газодинамических подшипников, могут служить турбокомпрессоры, турбогенераторы, турбонасосы и другие.

Упорный лепестковый газодинамический подшипник (УЛГП) представляет собой самоустанавливающуюся многоклиновую опору с упругой поверхностью и предназначен для восприятия осевых нагрузок, то есть нагрузок действующих в направлении, параллельном оси подшипника (рис. 1).

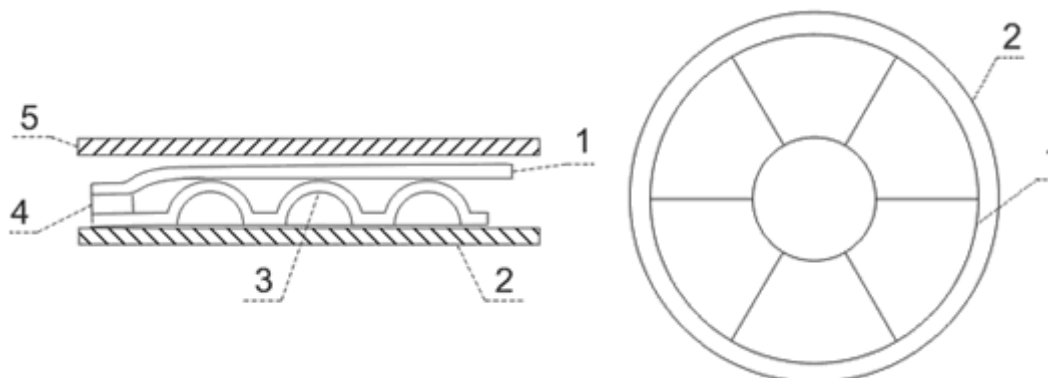


Рисунок 1 – Схема конструкции УЛГП

Несущая поверхность УЛГП образована рядом лепестков (1). Каждый лепесток вместе с подкладным сегментом (4) с помощью точечной сварки крепится к кольцевой плите (2). На поверхность каждого лепестка, обращенную к пяте ротора (5), нанесено антифрикционное покрытие. Рабочие участки лепестков частично перекрывают друг друга, образуя непрерывный ряд клиновых поверхностей, благодаря которым при вращении пяты возникают зоны повышенного давления, образующие несущий газовый слой. При нагружении ротора осевой силой пята через несущий газовый слой воздействует на подпятник, упругие лепестки деформируются и опираются тыльной стороной на гофрированный элемент (3). При дальнейшем нагружении подпятника вместе с лепестками деформируются гофры, жесткость подпятника возрастает и несущая поверхность не вырождается в плоскость, а продолжает сохранять оптимальную клинообразную форму, позволяющую сохранять большую несущую способность [2].

Задача расчета лепестковых подшипников при проектировании является математически сложной и часто требует проведение множества однотипных итераций. Вследствие этого, задача автоматизации расчетов, в том числе определение полей давления, деформаций упругих элементов, несущей способности и других характеристик работы подшипника, является значимой для турбопромышленности.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РАСЧЕТА ЛЕПЕСТКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ

Если рассматривать способы расчета различных объектов и процессов при их моделировании, то можно выделить ручной и автоматизированный подход. При ручном подсчете возникают проблемы, приводящие к значительным ошибкам в точности вычисления и усложняющие процесс выполнения расчета. Среди них можно выделить:

1) Ошибки по существу. Человеческий фактор играет большую роль при ручном счете. Поэтому возможно появление фактических ошибок, связанных, например, с использованием неправильных формул, нарушением порядка вычисления, применением неверных размерностей для физических величин и т.д.

2) Ошибки округления, возникающие при проведении вычислений из-за того, что иррациональные числа на промежуточных этапах округляются. Автоматизированный расчет также не лишен этого недостатка, так как используемые для вычислений устройства оперируют с ограниченным количеством знаков. Однако при ручном расчете обычно используют 2-4 цифры после запятой, а при машинном – 7-16 и более.

3) Временные затраты на проведение расчета. Ручной расчет требует больших временных затрат для достижения результата. Это особенно актуально для циклических вычислений, которые продолжаются до достижения определенных условий сходимости, и алго-

ритмов со сложной иерархической структурой итераций. В обоих случаях суммарное количество итераций может достигать тысячи и более.

4) Сложность расчетной задачи. Модель объектов или процессов может быть сложной для ручного математического решения. Наличие функциональных зависимостей, дифференциальных уравнений, интегралов, использование различных численных методов делает ручной расчет физически невозможным.

Применение автоматизированного подхода с использованием ЭВМ при проектно-конструкторских работах в своем развитии прошло несколько. С появлением вычислительной техники был сделан акцент на автоматизацию проектных задач, имеющих выраженный расчетный характер и ориентированных на ручное проектирование. Затем стали создавать программы автоматизированных расчетов на основе методов вычислительной математики (параметрическая оптимизация, метод конечных элементов и т.д.). И, наконец, появились универсальные программы для ЭВМ для решения как расчетных, так и некоторых рутинных проектных задач (изготовление чертежей, спецификаций, текстовых документов). Таким образом, решение проблем автоматизации проектирования с помощью ЭВМ основывается на системном подходе, то есть на создании и внедрении САПР - систем автоматизированного проектирования технических объектов.

Если рассматривать существующее программное обеспечение, которое так или иначе можно использовать при проектировании опор скольжения, то можно выделить две основные группы. К первой относятся универсальные пакеты программ инженерных и научных расчетов. Такие программы предназначены для решения широкого класса задач физики и механики и наряду с другими возможностями могут быть использованы для расчета подшипников жидкостного трения. К недостаткам таких систем можно отнести требование высокой квалификации пользователя, высокую стоимость и большие временные ресурсы, затрачиваемые на моделирование и получение результатов. К другому классу систем относятся специализированные программы, служащие для решения частных задач расчета опорных узлов определенных типов. Такие программы просты в использовании, часто требуют только ввода начальных параметров для получения результата. Однако, найти такое программное обеспечение на рынке крайне трудно, так как оно разрабатывается в основном для научных целей.

Универсальные программные продукты можно условно разделить на прикладные программные средства для осуществления проектной деятельности и различные системы компьютерных вычислений. Первые представлены различными CAD/CAE приложениями, например ANSYS, COSMOS/M, MSC.Nastran, вторые – программными продуктами MathLab, Mathematica и т.д. Также разработано большое количество специализированных программ для расчета опор скольжения - ARDS, ARMD, ROMAC, MADYN и другие. Но, с одной стороны, большинство таких программ предназначено для анализа роторных систем, и модулям расчета подшипников отводится второстепенная роль. С другой стороны, несмотря на большое число рассчитываемых опор, функция расчета лепестковых подшипников в большинстве программ отсутствует (из рассмотренных программ она обнаружена только в RAPPID-RDA, GFB и ПК «Подшипники скольжения» [3]).

Проведенный обзор программного обеспечения позволяет сделать следующие выводы:

1) На рынке представлено достаточное большое число разнообразных программных продуктов общего назначения и специализированных программ, для расчета различных подшипников скольжения. В тоже время, число программных средств для расчета лепестковых опор незначительно.

2) Недостатком всех рассмотренных программ можно назвать высокую стоимость.

3) Использование CAD/CAE систем требует высокой квалификации пользователя и больших временных ресурсов на проведение моделирования.

4) Большинство рассмотренных специализированных продуктов представляют собой наборы устаревших программ с неудобным пользовательским интерфейсом.

5) Не найдено программных продуктов для расчета осевых лепестковых газодинамических подшипников.

На основе всего вышесказанного можно сделать вывод, что работа над созданием инструмента для проектирования упорных лепестковых газодинамических подшипников является обоснованной и практически значимой задачей.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПОРНОГО ЛЕПЕСТКОВОГО ПОДШИПНИКА

Расчет характеристик лепестковых подшипников (как и большинства других подшипников скольжения) предполагает определение полей давлений в смазочном слое. Однако, в данном случае, решение уравнения Рейнольдса для определения давления в подшипнике является односторонним рассмотрением поставленной задачи, далеким от истины. Это обусловлено тем, что гидродинамические давления действуют на упругие поверхности лепестков, вызывая их деформации [4]. Таким образом, для расчета характеристик лепестковых подшипников мы имеем две взаимосвязанные задачи гидродинамики и теории упругости.

При рассмотрении геометрии УЛГП основными исходными параметрами являются: R_2 – радиус внешней окружности основания, R_1 – радиус внутренней окружности основания, N – число лепестков УЛГП, θ – центральный угол одного лепестка УЛГП, β – центральный угол между пазами лепестков.

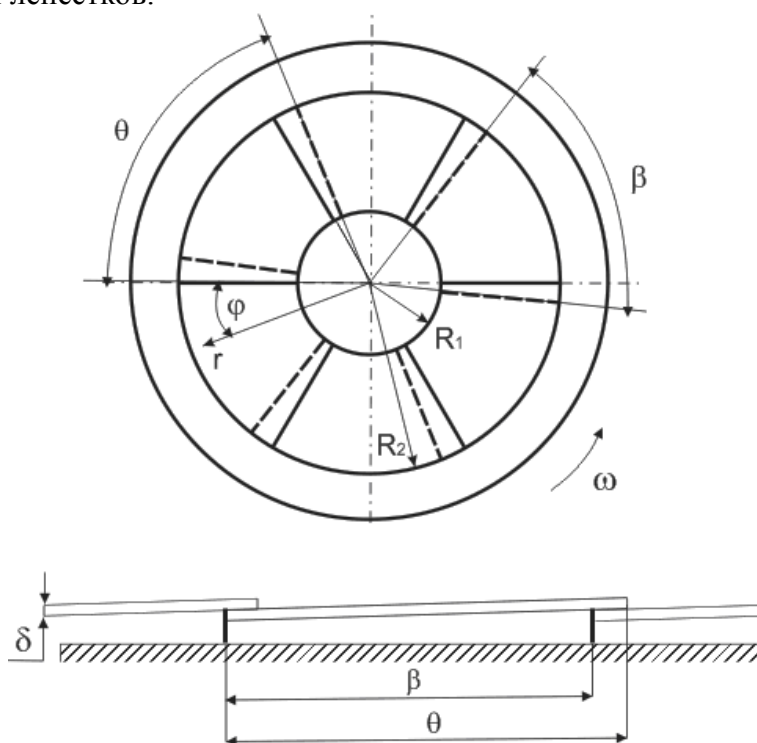


Рисунок 2 – Расчетная схема УЛГП

Значительное влияние на распределение давления в смазочном слое оказывает толщина осевого зазора, которая входит в модифицированное уравнение Рейнольдса. В общем виде осевой зазор определяется следующим образом:

$$h = h_0 + h_k + w,$$

где h_0 – начальный зазор,

h_k – зазор, образованный наклонной плоскостью лепестка,

w – величина прогиба лепестка под действием давления.

Величина h_k может быть определена из геометрии на основании уравнения наклонной плоскости, проходящей через три точки (А, В, С) для каждого лепестка УЛГП. Введем углы наклона лепестка по направлениям γ и φ – γ_r и γ_φ соответственно (рис. 3).

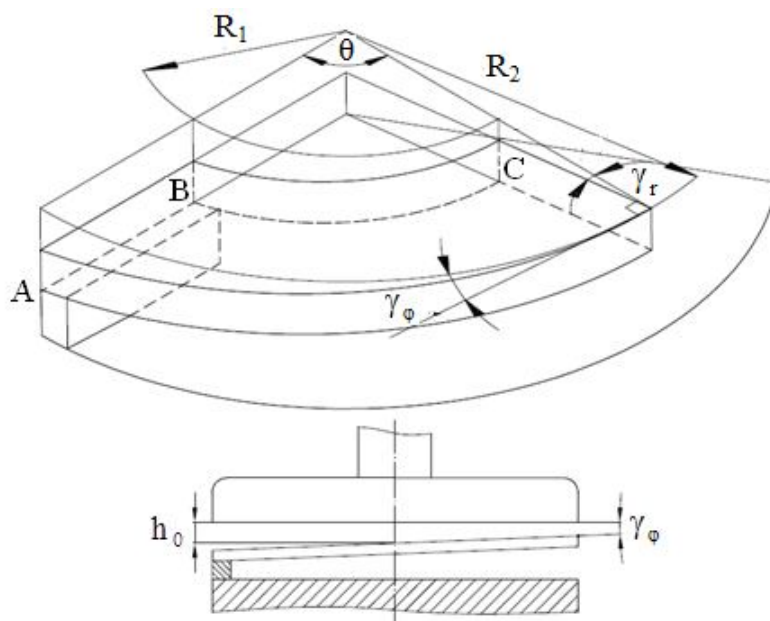


Рисунок 3 – Определение осевого зазора УЛП

Стандартное уравнение плоскости имеет вид:

$$a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z + d = 0$$

Коэффициенты уравнения плоскости, проходящей через три точки (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , (x_3, y_3, z_3) можно получить из следующих определителей:

$$a = \begin{vmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_3 & z_3 \end{vmatrix} \quad b = \begin{vmatrix} x_1 & 1 & z_1 \\ x_2 & 1 & z_2 \\ x_3 & 1 & z_3 \end{vmatrix} \quad c = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix} \quad d = - \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{vmatrix}$$

Раскрывая определители, получаем:

$$a = y_1(z_2 - z_3) + y_2(z_3 - z_1) + y_3(z_1 - z_2)$$

$$b = z_1(x_2 - x_3) + z_2(x_3 - x_1) + z_3(x_1 - x_2)$$

$$c = x_1(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2)$$

$$d = x_1(y_3z_2 - y_2z_3) + x_2(y_3z_1 - y_1z_3) + x_3(y_1z_2 - y_2z_1)$$

Для определения координат исходных точек и вида уравнения плоскости удобно перейти в декартову систему координат, начало которой расположим на плоскости, параллельной центральной оси подшипника. Ось ординат направим вдоль левой стороны лепестка. Тогда точки А, В, С будут иметь координаты $(0, R_1, 0)$; $(0, R_2, 0)$ и $(R_1 \cos \gamma_\phi, 0, R_1 \sin \gamma_\phi)$ соответственно.

$$h_k = z = - \frac{a \cdot x + b \cdot y + d}{c}$$

Определение величины прогиба w является одной из важнейших задач при моделировании упорного лепесткового подшипника. Можно выделить два основных способа решения этой задачи – использование двухмерных и трехмерных моделей. В двухмерных моделях (используются в большинстве исследований) сделаны допущения, что перемещения лепестка изменяются только в одном направлении и при вычислении перемещений лепесток заменяется балкой с жесткостью. Более перспективными видятся трехмерные теоретические модели, учитывающие различие перемещений лепестков в радиальном, осевом и окружном направлениях, и как следствие более точно моделирующие реальный объект.

В силу того, что габаритные размеры лепестка много больше его толщины, то их нужно отнести к классу тонких пластин. Каждый лепесток УЛП можно представить секторной пластиной, прогиб которой удовлетворяет уравнению Жермен-Лагранжа:

$$\left(\frac{\partial}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \right) \left(\frac{\partial w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) = \frac{q}{D},$$

где q – нагрузка на пластину,

D – жесткость пластины при изгибе.

Интегрирование уравнения Жермен-Лагранжа в ряде случаев приводит к непреодолимым математическим трудностям. В тоже время для практических целей достаточно получить приближенное решение задачи. В данной работе для этих целей использовался метод, основанный на применении ординарных тригонометрических рядов [5].

Важным элементом для решения дифференциального уравнения прогиба пластины являются граничные условия, которые позволяют из общего решения найти частное [6]. Край лепестка, приваренный к основанию с помощью подстановочного элемента, будем считать жестко закрепленным (С). Противоположный край опирается на следующий лепесток, поэтому будем считать его свободно опертым (S). Внешний и внутренний края свободны (F). Схема граничных условий для лепестка представлена на рисунке 4.

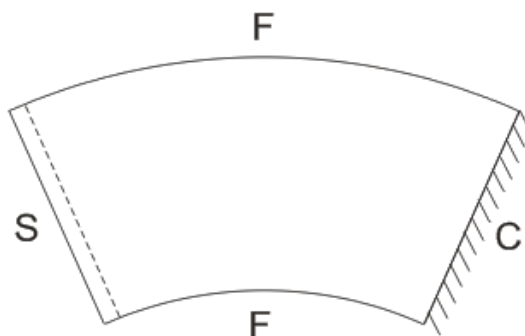


Рисунок 4 – Схема граничных условий для лепестка

Основным уравнением гидродинамической теории смазки является уравнение Рейнольдса, которое описывает распределение давления в смазочном слое. Применимо к УЛГП, модифицированное уравнение Рейнольдса, обобщенное на случай двухмерного турбулентного течения вязкого сжимаемого смазочного материала будет иметь вид [7]:

$$\frac{\partial}{r \partial r} \left[\frac{\rho r h^3}{\mu K_r} \frac{\partial p}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{r \partial \varphi} \left[\frac{\rho h^3}{\mu K_\varphi} \frac{\partial p}{r \partial \varphi} \right] = 12h \frac{\partial \rho}{\partial t} + 6 \frac{\partial}{r \partial r} (\rho r h V_r) + 6 \frac{\partial}{r \partial \varphi} (\rho h V_\varphi) + 12\rho V_y$$

где ρ и μ – плотность и вязкость смазочного материала;

V_φ , V_r , V_y – скорости точек на поверхности пята в окружном, радиальном и осевом направлениях;

K_r и K_φ – коэффициенты турбулентности;

t – время моделирования;

h – величина полного осевого зазора.

Неизотермическая постановка задачи достигается включением в математическую модель уравнения баланса энергий, которое в окончательном виде для однофазного газового течения смазочного материала будет выглядеть следующим образом [7]:

$$\begin{aligned} & \rho h \left[\frac{\partial I}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial t} + C_P \frac{\partial T}{\partial t} \right] + \rho \left(\frac{V_r h}{2} - \frac{h^3}{12\mu K_r} \frac{\partial p}{\partial r} \right) \left[\frac{\partial I}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial r} + C_P \frac{\partial T}{\partial r} \right] + \\ & + \rho \left(\frac{V_\varphi h}{2} - \frac{h^3}{12\mu K_\varphi} \frac{\partial p}{r \partial \varphi} \right) \left[\frac{\partial I}{\partial p} \frac{\partial p}{r \partial \varphi} + C_P \frac{\partial T}{r \partial \varphi} \right] = \frac{\partial p}{\partial t} h + \frac{h}{2} \left[V_r \frac{\partial p}{\partial r} + V_\varphi \frac{\partial p}{r \partial \varphi} \right] + \frac{\mu}{h} \left[K_r V_r^2 + K_\varphi V_\varphi^2 \right] + \\ & + \frac{\mu h}{3r^2} \left[\frac{4}{3} K_r V_r^2 + K_\varphi V_\varphi^2 \right] - \frac{h^3}{3r^2} \left[\frac{V_r}{3} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{V_\varphi}{4} \frac{\partial p}{r \partial \varphi} \right] + \frac{h^5}{30\mu r^2} \left[\frac{1}{3K_r} \left(\frac{\partial p}{\partial r} \right)^2 + \frac{1}{4K_\varphi} \left(\frac{\partial p}{r \partial \varphi} \right)^2 \right], \end{aligned}$$

где I – энтальпия,

C_p – теплоемкость.

Рассмотренная система уравнений – Рейнольдса и баланса энергий – является недоопределенной, так как число неизвестных параметров (ρ , ρ , T , I , μ) превышает число уравнений. Дополнительными соотношениями, доопределяющими эту систему, являются зависимости теплофизических свойств смазочного материала от давления и температуры, полученные путем введения аппроксимационных зависимостей, построенных на основании эмпирических данных. В основу аппроксимации положен метод наименьших квадратов (МНК) с двумя независимыми переменными [8].

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА УЛГП

С помощью разработанной программы [9] решаются основные уравнения теории смазки – уравнение Рейнольдса для течения смазочного материала и уравнение баланса энергий; определяются величина осевого зазора между подшипником и пятой вала, коэффициенты турбулентности, упругие прогибы лепестков под действием внешней нагрузки, а также аппроксимационные зависимости для теплофизических свойств смазочного материала.

На основе этих вспомогательных характеристик программа вычисляет следующие результирующие характеристики работы лепесткового подшипника:

- распределение полей давления;
- карта деформаций упругих элементов;
- несущая способность подшипника;
- потери мощности на трение;
- теплофизические свойства смазочного материала.

Приложение (рис. 5) предоставляет средства, необходимые для ввода исходных данных и параметров расчета, проведения вычислительных экспериментов и серий экспериментов, представления результатов расчета в предпочтительной для пользователя форме (табличная, графическая, печатный отчет), отображения и редактирования свойств смазочных материалов и т.д.

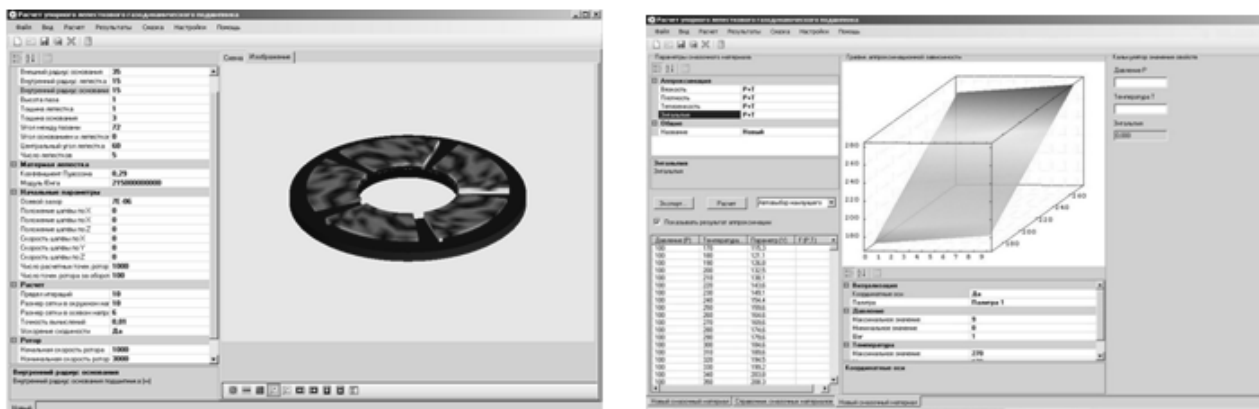


Рисунок 5 – Программное обеспечение для моделирования УЛГП

Если рассматривать основные этапы проектирования УЛГП с позиций технологии обработки информации [10], представленные на рисунке 6, то разработанное программное обеспечение можно использовать на двух этапах: разработке технического задания и научно-исследовательской работы.

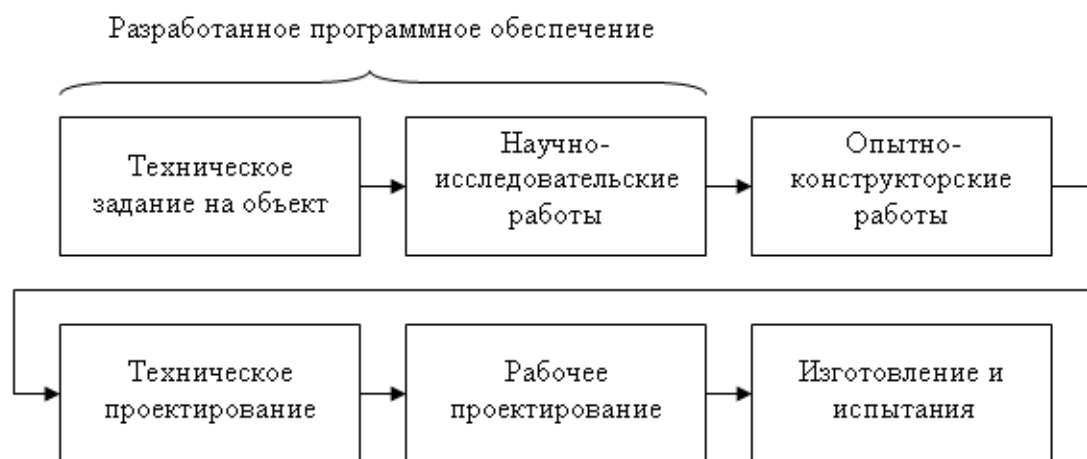


Рисунок 6 – Основные этапы проектирования

На этапе разработки технического задания использование программного обеспечения позволяет автоматизировать поиск и выбор необходимой научно-технической информации, а также анализ выбранной информации для формулировки на ее основе технических требований к объекту.

Этап научно-исследовательской работы - один из самых ответственных этапов. Именно на этой стадии проектирования использование созданного программного обеспечения особенно актуально и помогает в решении следующих задач:

- Поиск принципиальной возможности построения системы.
- Проведение пассивного эксперимента с обработкой результатов.
- Разработка математических моделей и их идентификация по экспериментальным данным.
- Формирование обобщенного критерия качества для задачи оптимизации.
- Решение задачи оптимизации, путем варьирования входных параметров технологического процесса в рамках установленных норм (допусков).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время существует устойчивая тенденция применения высокоскоростных роторных систем в различных областях промышленности. Отечественные и зарубежные конструкторы при проектировании турбомашин обращаются к подшипникам с упругими поверхностями, наиболее перспективными из которых являются лепестковые газодинамические подшипники. В работе были рассмотрены основные вопросы, связанные с автоматизацией их расчетов, в том числе:

- 1) рассмотрены методы и способы расчета подшипниковых узлов;
- 2) проведен обзор существующего программного обеспечения;
- 3) определена модель упорного лепесткового подшипника, включающая уравнения гидродинамической теории смазки и теории упругости;
- 4) разработано новое программное обеспечение для расчета УЛГП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздович, В.Н. Газодинамические подшипники / В.Н. Дроздович. – Л.: Машиностроение, 1976. – 208 с.
2. Леонов, В.П. Лепестковые газовые подшипники турбомашин: методическое пособие по курсу «Турбомашин низкотемпературной техники» / В.П. Леонов, Т.И. Максимович. – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 60 с.
3. Федоров, Д.И. Моделирование и программа расчета подшипников жидкостного трения: дис. ... канд. техн. наук.: Д.И. Федоров. – Орел, 2009. – 193 с.
4. Сытин, А.В. Решение комплексной задачи расчета характеристик радиальных лепестковых газодинамических подшипников: дис. ... канд. техн. наук, А.В. Сытин. – Орел, 2008. – 201 с.

5. Черненко, В.Д. Высшая математика в примерах и задачах: учеб. пособие для ВУЗов / В.Д. Черненко. – Спб.: Политехника, 2003. – 477 с.
6. Zenkour A. M. Bending of a sector-shaped annular plate with continuous thickness variation aloth the radial direction: Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics, 2004. – с. 205-223.
7. Алехин, А.В. Несущая способность и динамические характеристики упорных подшипников жидкостного трения: дис. ... канд. техн. наук, А.В. Алехин. – Орел, 2005. – 170 с.
8. Корчак, А.В. Определение теплофизических свойств смазочного материала при моделировании подшипников скольжения / А.В. Корчак // Применение инновационных технологий в научных исследованиях: Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, 2010. – С. 155-159.
9. Корчак А.В. Расчет характеристик упорного лепесткового газодинамического подшипника. Роспатент. Свидетельство №2011622306 от 18.03.2011.
10. Головицына, М.В. Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств / М.В. Головицына. – М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 432 с.

Корчак Андрей Викторович

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел
Аспирант кафедры «Информационные системы»
E-mail: korchak@orel.ru

A.V. KORCHAK

AUTOMATION OF DESIGNING CALCULATION OF THRUST FOIL BEARINGS

Questions of automation of thrust foil bearing's calculation are considered in article. Existing methods and software tools of calculation are analyzed. Method of bearing's modeling based on lubricant pressure field calculating is defined. Given method includes joint resolution of the Reynolds equation and energy equation subject to bearing's springing element deformation. New software based on mathematical model is developed and conditions of use are specified.

Keywords: automation, foil bearing, gas lubricant, axial clearance.

BIBLIOGRAPHY

1. Drozdovich, V.N. Gazodinamicheskie podshipniki / V.N. Drozdovich. – L.: Mashinostroenie, 1976. – 208 s.
2. Leonov, V.P. Lepestkovye gazovye podshipniki turbomashin: metodicheskoe posobie po kursu «Turbomashiny nizkotemperaturnoj tehniki» / V.P. Leonov, T.I. Maksimovich. – M: Izd-vo MGTU im. N.Je. Baumana, 2002. – 60 s.
3. Fedorov, D.I. Modelirovanie i programma rascheta podshipnikov zhidkostnogo trenija: dis. ... kand. tehn. nauk.: D.I. Fedorov. – Орел, 2009. – 193 s.
4. Sytin, A.V. Reshenie kompleksnoj zadachi rascheta harakteristik radial'nyh lepestkovyh gazodi-namicheskikh podshipnikov: dis. ... kand. tehn. nauk, A.V. Sytin. – Орел, 2008. – 201 s.
5. Chernenko, V.D. Vysshaja matematika v primerah i zadachah: ucheb. posobie dlja VUZov / V.D. Chernenko. – Спб.: Politehnika, 2003. – 477 s.
6. Zenkour A. M. Bending of a sector-shaped annular plate with continuous thickness variation aloth the radial direction: Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics, 2004. – s. 205-223.
7. Alehin, A.V. Nesuwaja sposobnost' i dinamicheskie harakteristiki upornyh podshipnikov zhidko-stnogo trenija: dis. ... kand. tehn. nauk, A.V. Alehin. – Орел, 2005. – 170 s.
8. Korchak, A.V. Opredelenie teplofizicheskikh svojstv smazochnogo materiala pri modelirovanii podshipnikov skol'zhenija / A.V. Korchak // Primenenie innovacionnyh tehnologij v nauchnyh issledovanijah: Cbornik nauchnyh trudov po materialam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii, 2010. – S. 155-159.
9. Korchak A.V. Raschet harakteristik upornogo lepestkovogo gazodinamicheskogo podshipnika. Rospa-tent. Svidetel'stvo №2011622306 ot 18.03.2011.
10. Golovicyna, M.V. Informacionnye tehnologii proektirovanija radioelektronnyh sredstv / M.V. Golovicyna. – M: BINOM. Laboratorija znaniy, 2008. – 432 s.

Korchak Andrey Vicktorovich

State University – Education Science Production Complex
Post-graduate student of department “Information systems”
E-mail: korchak@orel.ru

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ, МАТЕРИАЛЫ

УДК 621.9.047.002.2

В.В. ТРОФИМОВ, Е.А. НЕСМЕЯНОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ МНОГОШПИНДЕЛЬНЫХ СТАНКОВ

В статье рассмотрены проблемы виброустойчивости многошпиндельных станков. На основе проведенных экспериментальных исследований выявлены причины снижения динамической устойчивости двухшпиндельного фрезерного обрабатывающего центра. Предложено использование активной демпфирующей системы для повышения производительности многошпиндельных станков.

Ключевые слова: многошпиндельные станки; виброустойчивость; демпфирующие устройства.

Повышение виброустойчивости металлообрабатывающего оборудования становится особенно актуальным для процессов комплексной обработки деталей, отличающейся предельными показателями производительности по критерию удаляемого объема материала заготовки. Одним из способов значительного повышения производительности металлорежущих станков является увеличение количества обрабатывающих шпинделей, позволяющих сэкономить до 50% машинного времени при обработке идентичных деталей. Ведущие станкостроительные фирмы (Stama, Chiron, DMG, Trevisan – фрезерные обрабатывающие центры (ОЦ), Monforts, Hembrug и т.д. – токарные станки с противощпинделем) уже достаточно давно имеют в своем модельном ряду многошпиндельные станки. Однако, взаимовлияние нескольких шпинделей в процессе резания, в большинстве случаев, приводит к значительному снижению производительности. Негативное взаимодействие многошпиндельной системы порождает возникновение автоколебаний, приводящих к ухудшению качества обрабатываемой поверхности, снижению стойкости режущего инструмента и шпиндельных узлов, разрушению нежестких заготовок, например из алюминиевых сплавов с внутренними полостями или отверстиями. Поэтому задача улучшения динамических показателей многошпиндельных станков в целях повышения производительности и качества обработки весьма актуальна. Увеличение виброустойчивости оборудования может быть достигнуто посредством использования демпфирующих устройств [5].

В доступной литературе не содержится сведений об использовании демпферов в многошпиндельных металлорежущих станках (МС), хотя такое направление является одним из перспективных для повышения виброустойчивости системы СПИД, и соответственно, возможностью применения более высоких скоростей резания.

Современные динамические исследования металлорежущих станков базируются на основных положениях, разработанных В.А. Кудиновым [4], который предложил рассматривать механическую систему металлорежущего станка как динамическую систему, по отношению к которой можно применять общепринятые в теории автоматического управления критерии устойчивости. Динамическая система определяется как совокупность упругой системы и рабочих процессов в их взаимодействии. Упругая система (УС) представляет собой совокупность несущей системы (НС) станка, приспособления, режущего инструмента и обрабатываемой заготовки. Рабочие процессы включают в себя процессы резания, трения, процессы в двигателях приводов и т.д. Совокупность элементов динамической системы подразумевает их постоянную взаимосвязь друг с другом, так как воздействие рабочих процессов на УС является главным образом силовым. Одна из особенностей динамической системы станка – ее замкнутость. Такое представление динамической системы является фундаментальным в динамике станков.

При одношпиндельной обработке станок представляет собой замкнутую динамическую систему, основными звеньями которой являются упругая система и процесс резания (рис. 1а).

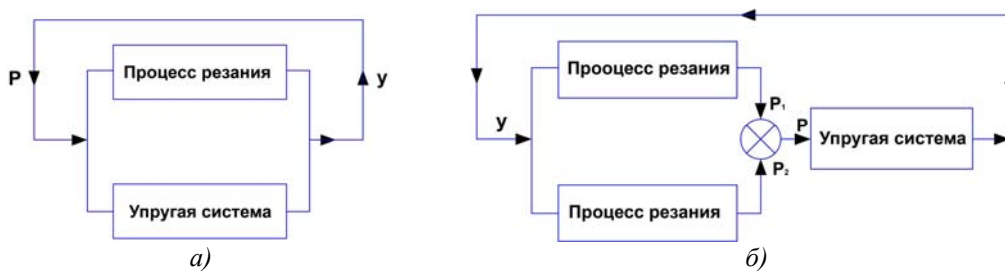


Рисунок 1 – Схема замкнутой динамической системы станка
 а) – при обработке одним шпинделем, б) – при двухшпindelьной обработке.
 (P- изменение силы резания; y – изменение толщины стружки)

При многошпindelьной обработке замкнутая динамическая система представляет собой несколько иную картину. Если одно звено – упругая система осталось прежним, то другое – процесс резания, состоит не из одного элемента, а из нескольких (равных количеству шпинделей), которые связаны между собой через упругую систему станка (рис. 1б). Возникновение колебаний y одного шпинделя вызывает колебания во всей системе через общее звено – упругую систему станка.

Исследование виброустойчивости двухшпindelьного фрезерного обрабатывающего центра типа Chiron DZ показало, что при некоторых условиях обработки (одновременная работа двух шпинделей при значительной глубине резания) возникают автоколебания, в результате чего приходится ограничивать режимы резания.

Целью исследования было установление доминирующих систем станка, определяющих динамическую устойчивость при резании и разработка рекомендаций по улучшению их динамического качества. Для достижения цели были проведены экспериментальные исследования.

На первом этапе исследовали спектры собственных частот и соответствующие им формы колебаний несущей системы. Использован метод определения динамической характеристики непосредственно при резании, с применением теории стационарных случайных процессов. Исследование форм колебаний необходимо для получения наиболее реальной картины перемещений колеблющихся узлов, что позволяет правильно составить расчетную схему.

Абсолютные колебания узлов станка при резании записывались стандартной виброизмерительной и регистрирующей аппаратурой [2]. Места, в которых измерялись абсолютные колебания несущей системы (в направлениях осей X, Y и Z) были уточнены в результате предварительных экспериментов. Выявлен большой уровень колебаний шпindelьной бабки, в которой размещены два высокоскоростных шпинделя. В первом приближении можно принять, что при колебаниях отдельные элементы несущей системы перемещаются как жесткие тела, поворачиваясь и смещаясь в стыках. На основании этого были выбраны точки измерений абсолютных колебаний горизонтальной и вертикальной станины, шпindelьной бабки, стола - по три на каждый узел (рис. 2).

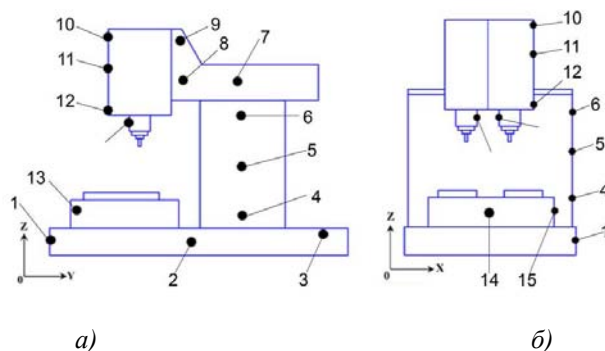


Рисунок 2 – Схема установки датчиков абсолютных колебаний
 а) - в плоскости YOZ; б) – в XOZ

Условия испытаний выбирались в результате анализа реальных возмущений, действующих в динамической системе станка, диапазона измерения фактических режимов обработки, типичных и наиболее существенных с точки зрения проявления особенностей динамики станка [3]. Эксперименты проводили при черновом и получистовом фрезеровании, когда спектр возмущений шире, а интенсивность колебаний достаточна для дальнейшего спектрального анализа [6].

Выбранные для экспериментов условия резания соответствовали типовым условиям обработки деталей на двухшпиндельных фрезерных ОЦ.

Режимы резания, материал заготовки и инструмент указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Используемые режимы резания

Операция	Инструмент, материал заготовки	Режимы резания		
		Глубина, мм	Подача, м/мин	Частота вращения, об/мин
Черновое фрезерование	Торцевая фреза (диаметр 20 мм, z=3), твердосплавная Д16Т	10	20	15000
Получистовое фрезерование	Торцевая фреза (диаметр 20 мм, z=3), твердосплавная Д16Т	2	10	15000

Полученные записи колебаний (реализации) рассматривали как случайные процессы. После аналогоцифрового преобразования данные о колебаниях различных точек станка вводили в ПК для обработки в целях определения статистических характеристик, в том числе оценок спектральных плотностей (описывающих частотную структуру процессов колебаний). Одним из основных методов анализа случайных процессов является взаимный спектральный анализ, который используется при обработке реализаций [7].

По результатам измерений построены графики спектральной плотности (рис. 3), характеризующие распределение энергии колебаний несущей системы станка по частотам.

Из графиков видно, что колебания НС станка в рабочем диапазоне частот наиболее четко выражены при получистовом фрезеровании, так как достаточно мощный сигнал проявляется на всех частотах. При черновом фрезеровании появляется сигнал большой мощности с частотой врезания зубьев фрезы, который мешает выделить сигналы на близлежащих частотах.

Анализ распределения энергии абсолютных колебаний НС станка показал, что более 90% энергии колебаний всех узлов сосредоточено на частоте $f = 7 - 160$ Гц. В дальнейшем колебания НС при получистовом фрезеровании рассматривали в этом интервале частот.

Для НС станка выделены следующие собственные частоты колебаний: 8; 11; 16; 20; 24; 27; 32; 47; 60; 68; 118; 150. Установлено, что наиболее интенсивные вынужденные колебания наблюдаются на частотах основных источников возмущающих сил и на собственных частотах УС станка [4].

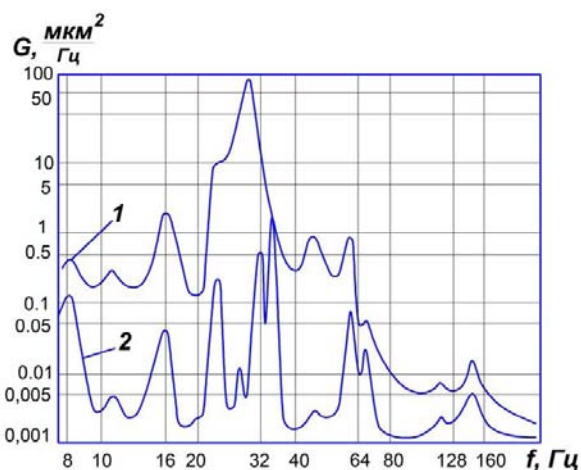


Рисунок 3 – Графики распределения спектральной плотности G абсолютных колебаний шпиндельной бабки при черновом (1) и получистовом (2) фрезеровании

Формы колебаний строятся на тех частотах, на которых уровень колебаний наибольший. Эти частоты были выявлены при анализе оценок спектральных характеристик абсолютных колебаний в выбранных точках измерений (рис. 3).

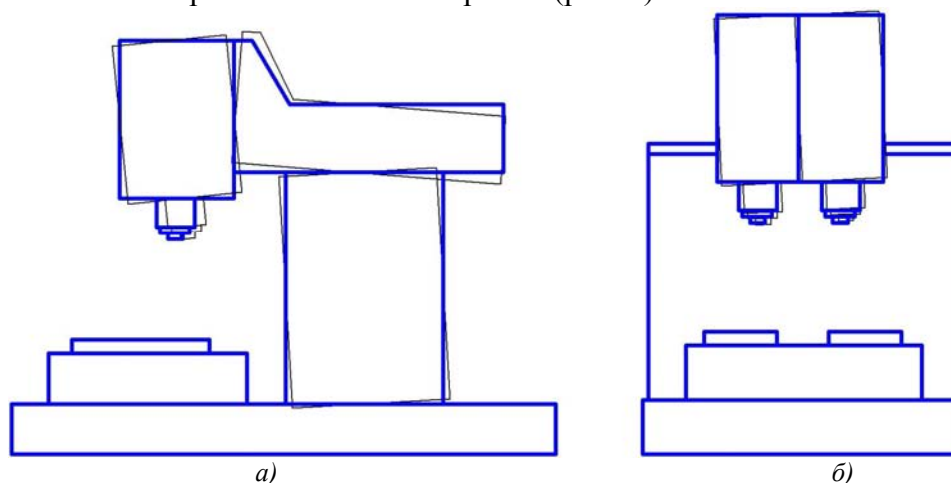


Рисунок 4 – Формы колебаний станка на частоте 47 Гц
а) – в плоскости YOZ; б) – в плоскости XOZ

Анализ форм колебаний позволяет отметить следующее:

- амплитуды колебаний точек портала по оси X для первой резонансной частоты 16 Гц являются наибольшими, для более высоких собственных частот эта амплитуда уменьшается.
- шпиндельная бабка с двумя высокоскоростными шпинделями, вносящая основной вклад в картину колебаний станка, имеет резонансную частоту 47 Гц.
- резонансная частота вертикальной станины составляет 27 Гц.

Рассмотрение резонансных форм колебаний исследуемого станка позволило выделить доминирующие системы, которые формируют динамическую податливость всей НС в определенном частотном диапазоне.

Картины перемещения точек упругой системы станка при колебаниях на каждой из собственных частот (экспериментальные формы колебаний) позволили представить характер деформаций основных элементов станка и провести их классификацию на массивы и стержни. К массивам были отнесены (рис. 5) станина 1, стол 3, шпиндельная бабка с двумя шпинделями 10 и 11.

Как показали формы колебаний, вертикальная станина 5 станка колеблется как упругое тело, упруго защемленное от угловых перемещений в стыке 4 с горизонтальной станиной. Это дало основание классифицировать вертикальную станину как стержень.

На основе полученных сведений была разработана пространственная расчетная схема станка (рис. 5). Связи между точками 0, 1, 2 и 4; 2 и 3; 6 и 7; 7 и 8; 8, 9 и 10 (как между точками, принадлежащими одному «массиву») приняты жесткими. Связь 12 между точками считается упругодемпфирующей.

Построенная расчетная схема позволяет описать динамику упругой системы станка системой линейных дифференциальных уравнений второго порядка. Таким образом, расчетная схема упругой системы двухшпиндельного фрезерного ОЦ содержит 6 сосредоточенных масс, соединенных упругими и диссипативными связями. Каждая масса в общем случае может иметь шесть степеней свободы, и ее движение должно описываться шестью дифференциальными уравнениями второго порядка.

На основании проведенных экспериментальных исследований можно сказать следующее, что при одновременной работе двух шпинделей наблюдаются серьезные проблемы в плане динамической устойчивости НС. Соответственно, возникает необходимость в оперативном демпфировании возникающих автоколебаний. Наиболее подходящий для этой проблемы метод – внедрение в конструкцию несущей системы двухшпиндельного станка активной демпфирующей системы.

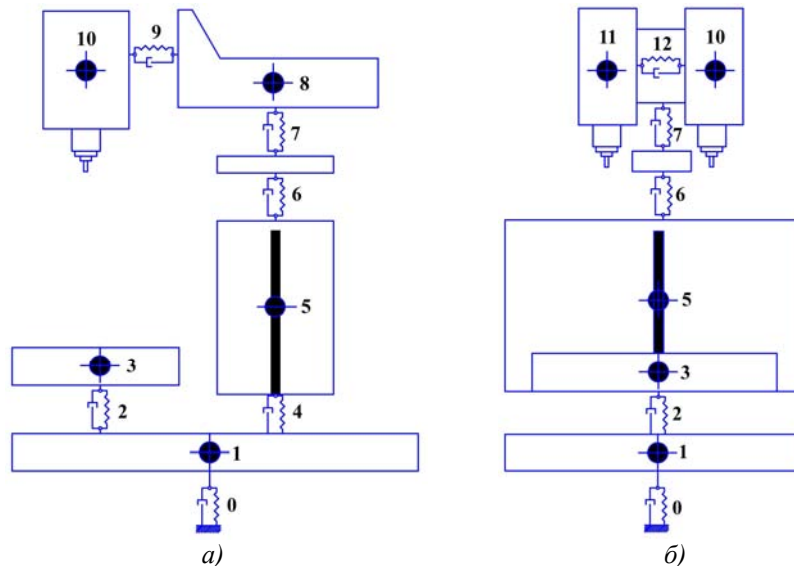


Рисунок 5 – Расчетная схема упругой системы двухшпиндельного фрезерного ОЦ типа Chiron
 а) – в плоскости YOZ; б) – в плоскости XOZ

Вариант такого устройства показан на рис. 6. Элемент станка, подверженный вибрациям, находится под действием периодической возмущающей силы $P_c(t)$ и периодической силы $P_v(t)$, создаваемой вибратором в соответствии с сигналами датчика скорости, находящейся в противофазе с возмущающей силой. Текущее значение частоты, амплитуды и сдвига фазы в соответствующей форме вводят в микропроцессор, в котором по этим данным вычисляются значения амплитуды и фазы, обеспечивающие получение необходимой силы вибратора $P_v(t)$.

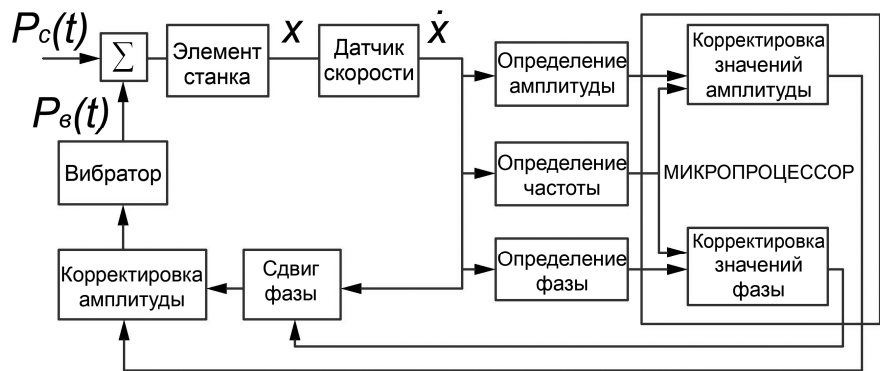


Рисунок 6 – Система управления активным демпфирующим устройством

На втором этапе исследовали качественную характеристику виброгашения применяемой демпфирующей системы. Наиболее оптимальным методом является получение амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ), которая показывает изменение смещения инструмента относительно заготовки при изменении силы резания. Исследования проводились по разработанной в ЭНИМС методике испытания станков в производственных условиях [1].

Блок-схема установки для получения АФЧХ УС металлорежущего станка показана на рисунке 7. Компьютер по программе через интерфейсный блок и блок управления задает на генераторе синусоидальный сигнал требуемой частоты и амплитуды, который после усиления поступает в обмотку переменного тока вибратора. Параметры вибрации измеряют датчиком относительных колебаний или двумя датчиками абсолютных колебаний. Сигналы от датчиков через усилители поступают в АЦП и далее в компьютер.

Переменная сила определяется с помощью измерительной катушки вибратора. Сигнал силы интегрируется и подается через АЦП в компьютер.

Упругую систему нагружали последовательно в трех ортогональных направлениях с помощью электромагнитной виброголовки, установленной между столом и оправкой, закрепленной в одном из шпинделей. Эксперименты проводили при движении исполнительных механизмов, что дало более полное представление о состоянии динамической системы станка [7].

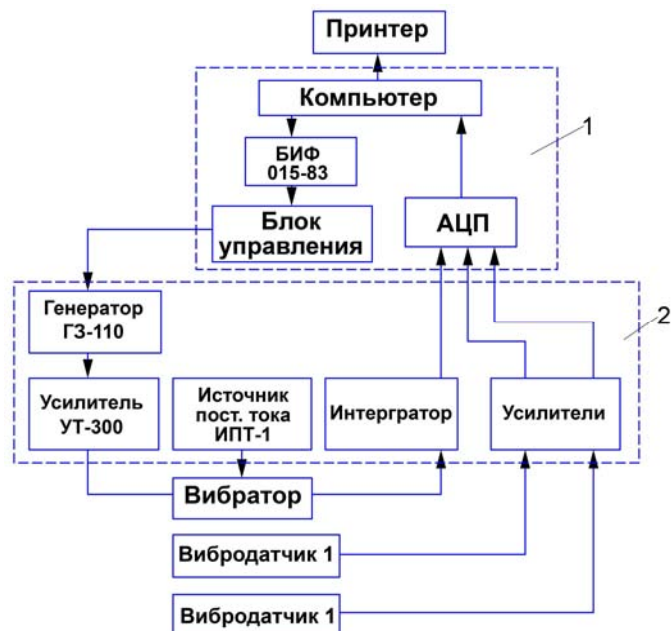


Рисунок 7 – Схема подключения аппаратуры для получения АФЧХ МС

1 – вычислительный модуль; 2 – приборный модуль

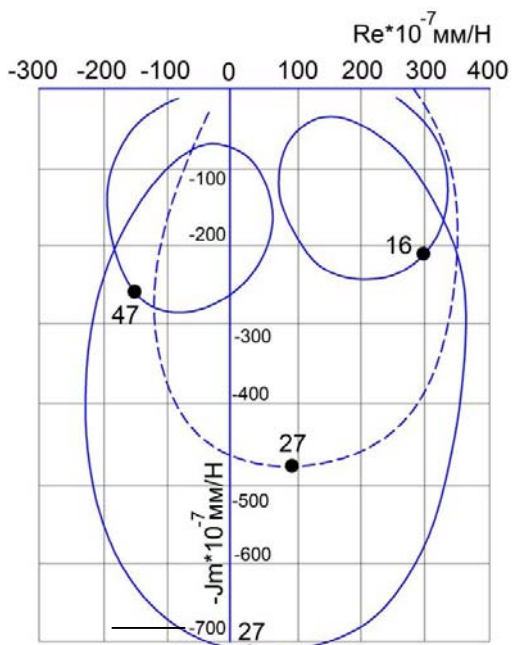


Рисунок 8 – АФЧХ станка типа Chiron DZ без демпфера () и с демпфером (-----)

ка [7].

Для оценки качества виброгашения демпфирующими системами на одной комплексной плоскости построены две АФЧХ (рис. 8), одна из которых снималась при установленном на станке демпфере, другая без демпфера. Чем меньший отрезок проецируется на действительную ось Re АФЧХ с демпфером, тем выше виброустойчивость системы. При отсутствии демпфера наблюдается увеличение частоты резонансных пиков, а также увеличение динамической податливости при резонансе. Следствием этого является повышенный уровень колебаний и пониженная устойчивость.

Резонансные частоты ω определяются наибольшими радиус-векторами, проведенными из начала координат и для каждой из трех основных петель составляют: 16 Гц, 27 Гц, 47 Гц. Аналогичные значения резонансных частот были получены в первой части эксперимента при определении форм колебаний непосредственно при резании, что говорит о преимуществах применяемых методов исследования, а также позволяет использовать приведенные рекомендации по повышению виброустойчивости применением активной демпфирующей системы и для аналогичных двухшпиндельных моделей фрезерных ОЦ.

Предложенная активная демпфирующая система позволит решить проблему возникновения автоколебаний в многошпиндельных станках и позволит повысить производственную прибыль и конкурентоспособность предприятий, использующих данное оборудование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированные динамические испытания станков: Методические рекомендации / под ред. Кочинева Н.А. – М.: ЭНИМС, 1990. – 47 с.
2. Гурычев, С.Е. Исследование динамических характеристик многоцелевого станка / С.Е. Гурычев, А.В. Гринглаз, С.Г. Болотин. – Станки инструмент. – 1985. - №1. – с 22-24.

3. Добрынин, С.А. Методы автоматизированного исследования вибраций машин: Справочник / С.А. Добрынин, М.С. Фельдман, Г.И. Фирсов. – М: Машиностроение, 1987. – 224 с.
4. Кудинов, В.А. Динамика станков / В.А. Кудинов. - М.: Машиностроение, 1967. - 359 с.
5. Несмеянов, Е.А. Повышение виброустойчивости оборудования при комплексной обработке / Е.А. Несмеянов, Ю.В. Трофимов // Вестник воронежского государственного технического университета. 2010. – Т. 6. – № 7. – С. 23 – 26.
6. Металлорежущие станки: учеб. для машиностроительных вузов / под ред. В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
7. Weck M., Brecher C. Werkzeugmaschinen 5. Messtechnische Untersuchung und Beurteilung, dynamische Stabilitaet. Springer-Verlag.-Berlin // Heidelberg. 2006. 474 S.

Трофимов Владимир Владимирович

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж
Доктор технических наук, профессор
Тел. 89036516564
E-mail: profprof@hotmail.com

Несмеянов Евгений Александрович

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж
Аспирант
Тел. 89155482668
E-mail: adem16@ya.ru

V.V.TROFIMOV, E.A.NESMEYANOV

**APPLICATION DAMPING OF SYSTEMS FOR
IT IS A LOT OF SPINDLE MACHINE TOOLS**

In article problems vibration stability the multi-spindle machine tools are observed. On the basis of the spent experimental researches the reasons of decrease in dynamical stability of the twin-spindle milling processing centre are established. Use of active damping system for raise of productivity of the multi-spindle machine tools is offered.

Keywords: *the multi-spindle machine tools; chatter stability; damping devices.*

BIBLIOGRAPHY

1. Avtomatizirovannye dinamicheskie ispytaniya stankov: Metodicheskie rekomendacii / pod red. Ko-chineva N.A. . – М.: JeNIMS, 1990. – 47 s.
2. Gurychev, S.E. Issledovanie dinamicheskikh harakteristik mnogoceleвого stanka / S.E. Gurychev, A.V. Gringlaz, S.G. Bolotin. – Stanki instrument. – 1985. - №1. – s 22-24.
3. Dobrynin, S.A. Metody avtomatizirovannogo issledovaniya vibracij mashin: Spravochnik / S.A. Dobrynin, M.S. Fel'dman, G.I. Firsov. – М: Mashinostroenie, 1987. – 224 s.
4. Kudinov, V.A. Dinamika stankov / V.A. Kudinov. - М.: Mashinostroenie, 1967. - 359 s.
5. Nesmejanov, E.A. Povyshenie vibroustojchivosti oborudovaniya pri kompleksnoj obrabotke / E.A. Nesmejanov, Ju.V. Trofimov // Vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2010. – Т. 6. – № 7. – С. 23 – 26.
6. Metallorozhuwie stanki: ucheb. dlja mashinostroitel'nyh vtuzov / pod red. V.Je. Pusha. – М.: Mashinostroenie, 1985. – 256 s.
7. Weck M., Brecher C. Werkzeugmaschinen 5. Messtechnische Untersuchung und Beurteilung, dynamische Stabilitaet. Springer-Verlag.-Berlin // Heidelberg. 2006. 474 S.

Trofimov Vladimir Vladimirovich

Voronezh state technical university, Voronezh
Doctor of technical science, professor
Tel: 89036516564
E-mail: profprof@hotmail.com

Nesmeyanov Evgeniy Aleksandrovich

Voronezh state technical university, Voronezh
Post-graduate student
Tel: 89155482668
E-mail: adem16@ya.ru

МЕТОДИКА НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ УЧПУ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ КОНТУРА ДЕТАЛИ²

Предложена методика настройки станочных параметров, позволяющая определить точность всей технологической системы, идентифицировать влияние каждого из факторов на точность обработки траектории перемещения режущим инструментом. Методика позволяет добиться необходимой точности обработки траектории путем оптимизации станочных параметров при проведении планового, капитального ремонта, а также при модернизации токарного станка с ЧПУ.

Ключевые слова: *точность траектории инструмента; оптимизация; станочные параметры; система диагностики; токарный станок с ЧПУ, контур положения.*

Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений неразрывно связано с обеспечением геометрической точности деталей.

На формирование геометрии поверхности детали оказывают влияние такие факторы как погрешность установки заготовки (сюда входят погрешности базирования, закрепления, а также погрешности приспособления), погрешность настройки станка, размерный износ режущих инструментов, упругие перемещения узлов станка, тепловые деформации технологической системы, остаточные напряжения в деталях, геометрическая неточность станка, обусловленная погрешностями изготовления, установки станков, износом его узлов (направляющих, шарико - винтовой пары (ШВП)), а также кинематическими погрешностями, включающими погрешности позиционирования суппортов станка.

Доля каждой из погрешностей, входящих в допуск на размер, при обработке деталей машин на металлорежущих станках различна. Для детали типа вала, обработанного на токарно-револьверном станке с числовым программным управлением (ЧПУ) с установкой в трехкулачковом патроне (рис. 1а), с уменьшением допуска на размер, доля погрешности, обусловленная геометрическими неточностями станка, растет (рис. 1б). При анализе суммарной погрешности обработки детали использовалась методика, представленная в работе [1]. При расчете использовались следующие условия обработки: резцы из твердого сплава (на 1-м переходе - Т5К10, 2-м переходе – Т14К8, 3-м переходе – Т15К6, 4-м переходе – Т30К4) с параметрами лезвия $\varphi=45^\circ$; $\varphi_1=10^\circ$; $\gamma=5^\circ$; $\alpha=5^\circ$, в качестве заготовки для детали использовался прокат сталь 45 ($\sigma_b=600$ Н/мм²) с качеством IT13. На заключительном переходе вал обрабатывался с допуском по качеству IT7. Так, при обработке с допуском IT7 основной погрешностью, определяющей суммарную погрешность обработки, с учетом того, что погрешность, вызванная размерным износом резца, на токарном станке с ЧПУ компенсируется благодаря коррекции положения резца, является погрешность, обусловленная геометрической неточностью станка.

Уменьшение величины этой погрешности позволит значительно повысить точность деталей машин, обрабатываемых на токарных станках с ЧПУ.

² Исследование выполнено в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. № 14.740.11.0324 от 17 сентября 2010 г.

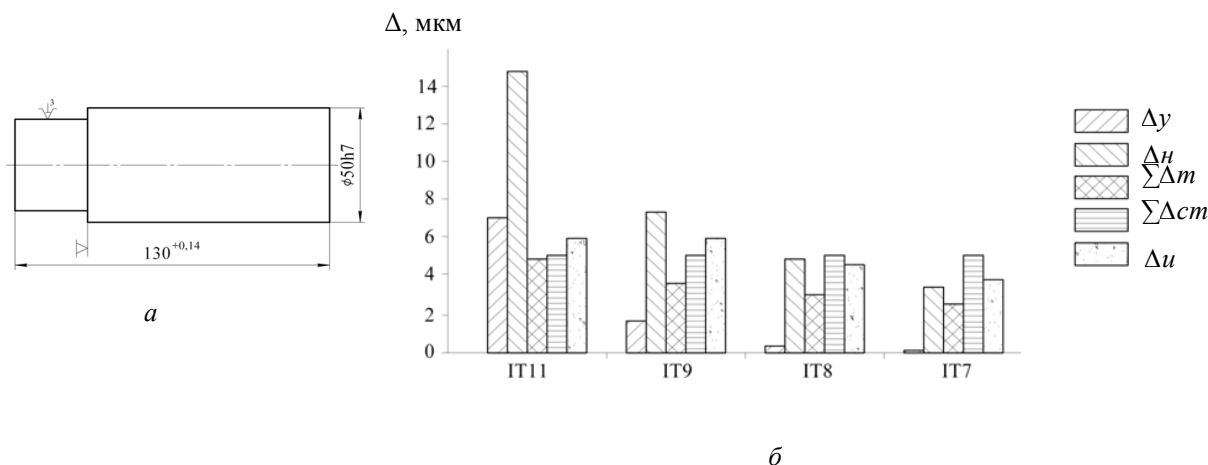


Рисунок 1 – Анализ погрешностей, входящих в допуск на размер, при обработке деталей на токарных станках с ЧПУ

Δ_u - погрешность установки заготовки; Δ_n - погрешность настройки станка; $\sum \Delta_t$ - тепловые деформации узлов станка; $\sum \Delta_{ст}$ - геометрическая неточность станка; Δ_i - размерный износ режущих инструментов

Решению такой задачи как повышение геометрической точности станка, обусловленной кинематикой станка, посвящено достаточно большое количество работ. В работах [2,3] геометрическая точность станка достигается за счет контроля процесса резания. Требуемая точность достигается за счет адаптивных систем, позволяющих изменять структуру системы управления станком при изменении динамических процессов во время резания, а также формировании корректирующих управляющих воздействий.

Тем не менее, базовая кинематическая точность станка определяется точностью системы управления приводом подачи токарного станка с ЧПУ и зависит от точности ее настройки. Способы синтеза системы управления приводом подачи представлены в работах [4,5]. В данных работах считается, что привод удовлетворяет условиям заданной точности, если логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) разомкнутого контура положения этого привода лежит выше запретной зоны, ограниченной некоторой желаемой ЛАЧХ (рис.2).

Данный метод не позволяет оценить влияние на точность станка таких факторов как коэффициентов усиления ПИД-регулятора контура положения, погрешности, обусловленной частотой задающего воздействия на привод, сухого трения, люфта в ШВП, накопленной погрешности ходового винта и других.

Современные системы числового программного управления позволяют компенсировать большинство из выше перечисленных факторов путем настройки соответствующих станочных параметров [6]. Предлагаемый метод позволит определить точность отработки траектории перемещения режущим инструментом, а также влияние на нее каждого из выше перечисленных факторов, тем самым, компенсируя соответствующие погрешности, можно добиться необходимой точности отработки траектории инструмента (рис. 5).

В качестве траектории перемещения исследуется дуга окружности, так как именно при отработке круговой

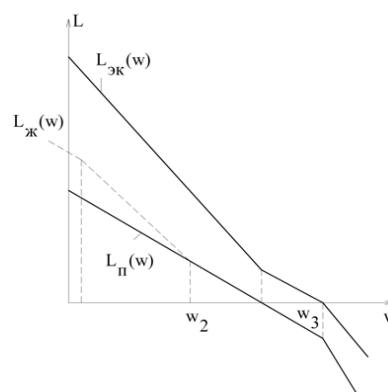


Рисунок 2 – ЛАЧХ аналогового СЭП

$L_n(w)$ – ЛАЧХ, не удовлетворяющая требованиям по точности;
 $L_{эк}(w)$ – ЛАЧХ, удовлетворяющая требованиям по точности;
 $L_{жс}(w)$ – желаемая ЛАЧХ

траектории проявляется действие всех вышеперечисленных факторов.

Для определения траектории перемещения режущего инструмента, а также идентификации факторов, влияющих на эту траекторию на токарно-револьверном станке с ЧПУ мод. 1В340Ф30 с приводами подачи ТНР, была смонтирована система диагностики. Привод выполнен по одноконтурной схеме с ПИ-регулятором скорости и блоком нелинейного токоограничения. Блок-схема привода приведена на рисунке 3 [7].

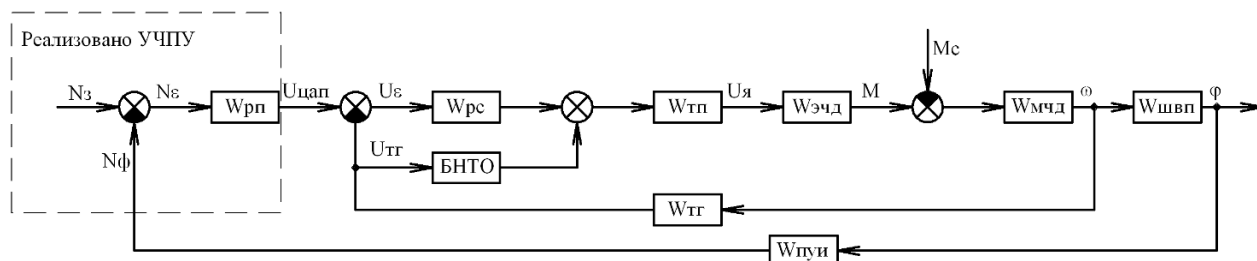


Рисунок 3 – Структурная схема следящего привода подачи

$Uя$ – напряжение на якоре, M – момент на двигателе, ω – угловая скорость, φ – угол поворота ШВП, $Wрп$ – передаточная функция регулятора положения, $Wрс$ – передаточная функция регулятора скорости, $Wтп$ – передаточная функция тиристорного преобразователя, $Wэчд$ – передаточная функция электрической части двигателя, $Wмчд$ – передаточная функция двухмассовой механической системы, $Wтг$ – передаточная функция тахогенератора, $Wпуи$ – передаточная функция преобразователя «угол-импульс», БНТО – блок нелинейного токоограничения

Система диагностики состоит из датчиков линейных перемещений ЛИР-8.000, установленных на продольном и поперечном суппортах станка (рис.4), и вычислительной ЭВМ, позволяющей обрабатывать данные от датчиков. Датчики линейных перемещений имеют дискретность перемещения (0,1 мкм) на порядок выше, чем дискретность перемещения привода станка (1мкм). Помимо этого возможности датчиков таковы, что они позволяют контролировать перемещения



а



б

Рисунок 4 – Расположение датчиков линейных перемещений
а – по координате X; б – по координате Z; Д - датчики

привода во всем диапазоне подач станка без какого-нибудь существенного влияния датчиков на погрешность траектории перемещения инструмента.

С помощью системы диагностики получена реальная траектория перемещения инструмента при отработке круговой интерполяции (рис. 5).

Здесь ось абсцисс соответствует идеальной траектории перемещения инструмента, заданной в кадре управляющей программы (УП). По оси ординат откладывается величина равная разности между радиусом, заданным в УП, и фактическим, измеренным с помощью системы диагностики

$$\Delta R = R - R_{\phi},$$

где R – радиус, заданный в УП, мм;

R_{ϕ} – фактический радиус полученный с помощью системы диагностики, мм.

Качество переходных процессов в приводах подачи является важнейшим показателем точности их работы, который имеет тем большее значение, чем выше скорость подачи при отработке траектории.

На рисунке 5 представлено несколько траекторий инструмента при различных настройках ПИД-регулятора контура положения УЧПУ. Изменяя параметры ПИД-регулятора

контура положения УЧПУ, на выходе регулятора положения формируется различное суммарное управляющее воздействие

$$u_y(i) = k_n N_\varepsilon(i) + k_o \Delta N_\varepsilon(i) + k_u \sum_{i=0}^i N_\varepsilon(i) + k_c [N_z(i) - N_z(i-1)],$$

где k_n – коэффициент добротности привода по положению;

k_o – коэффициент дифференциальной составляющей ошибки по положению;

k_u – коэффициент интегральной составляющей ошибки по положению;

k_c – коэффициент компенсации скоростной составляющей ошибки;

$N_\varepsilon(i), \Delta N_\varepsilon(i)$ – ошибка рассогласования и ее изменение соответственно;

$N_z(i), N_z(i-1)$ – заданное значение перемещения по оси за текущий и предыдущий i -й цикл прерывания соответственно.

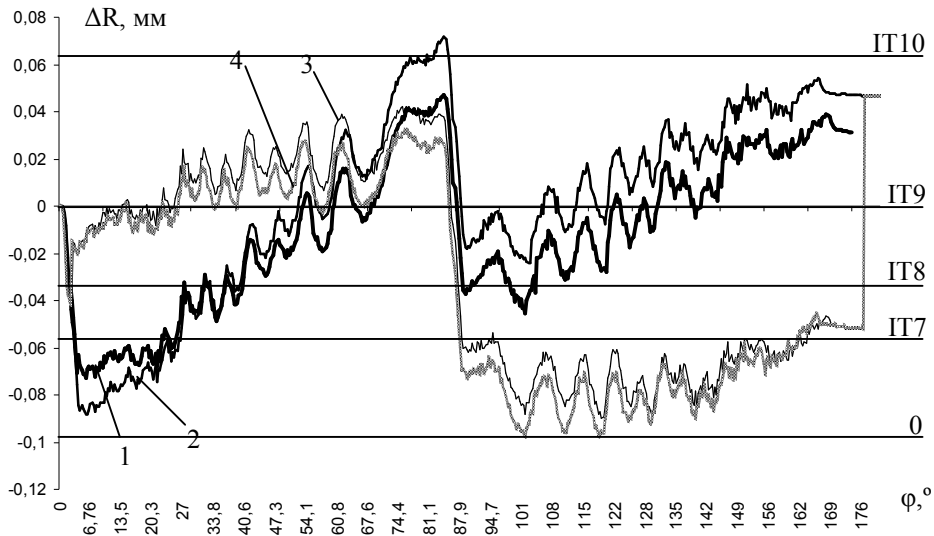


Рисунок 5 – Фактическое отклонение траектории инструмента

1 – $K_\delta=1$; 2 – $K_\delta=0,8$; 3 – $K_\delta=2$; 4 – $K_\delta=2,25$; K_δ – дифференциальный коэффициент усиления

В результате при обработке приводом траекторий с ускорением (обработка сферических или сплайновых поверхностей) смена задания на ЦАП при определенных скоростях происходит во время переходного процесса (рис.6а). При отработке первого задания на ЦАП возникает переходный процесс (кривая 1). При следующем задании возникает новый переходный процесс (кривая 2). Этот переходный процесс накладывается на переходный процесс от предыдущего задания. Процесс повторяется при последующих задающих воздействиях на ЦАП. В результате возникает накопленная погрешность, вызванная динамикой привода. Это подтверждается экспериментально при отработке единичного воздействия на ЦАП системы ЧПУ NC201M токарно-револьверного станка (рис.6б). Время ре-

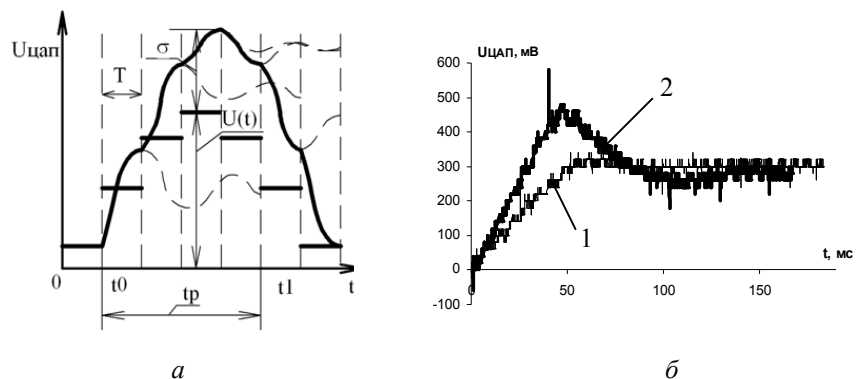


Рисунок 6 – Переходный процесс задающего воздействия на ЦАП

а – при непрерывно изменяющемся напряжении задания, б – реальный переходный процесс ($U_{цап}$ – напряжение задания, σ – перерегулирование, T – тик УЧПУ, $U(t)$ – задающее воздействие, t_p – время регулирования, кривая 1 – при $K_\delta=1$, кривая 2 – при $K_\delta=2$)

действия на ЦАП системы ЧПУ NC201M токарно-револьверного станка (рис.6б). Время ре-

гулирования значительно превышает тик УЧПУ, равный 2 мс и изменяется в зависимости от настройки ПИД-регулятора.

Для ее компенсации следует добиться определенных параметров качества переходного процесса, таких как время регулирования, перерегулирование, статическая ошибка, число колебаний (рис.7). В идеальном случае время переходного процесса должно быть сведено к минимуму. Однако существуют определенные ограничения, такие как некомпенсируемая постоянная времени привода, предельный коэффициент усиления пропорциональной составляющей, от которого зависит устойчивость привода, коэффициенты усиления дифференцирующей и интегрирующей составляющих, которые определяют величину перерегулирования и время регулирования.

Для задания коэффициентов цифрового ПИД-регулятора положения системы ЧПУ NC201M в файле характеристики осей AXCFIL в секции 2 программируются две инструкции: GMnn и FRC.

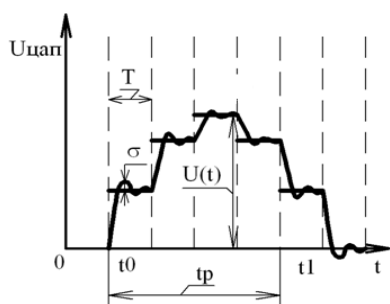


Рисунок 7 – Желаемая динамика привода подачи

Инструкция GMnn определяет параметры скорости быстрого хода и коэффициент пропорциональной составляющей усиления для текущей характеризуемой оси. Инструкция FRC предназначена для определения коэффициентов дифференцирующей и интегрирующей составляющих ПИД регулятора интерполируемой оси. Помимо этого имеются станочные параметры позволяющие компенсировать сухое трение, люфт в ШВП, накопленную погрешность ходового винта и другие [8].

Метод настройки станочных параметров может широко применяться как при наладке новых токарных станков с ЧПУ, модернизации устаревших, а также при проведении планового и капитального ремонта станочного оборудования. Метод дает возможность принять решение о необходимости проведения капитального ремонта и модернизации станочного оборудования, а также степени проведения модернизации (модернизировать весь станок или только систему управления).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т.1/ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. М.: «Машиностроение», 1985. - 694 с.
2. Заковоротный, В.Л. Динамика процесса резания. Синергетический подход / В.Л. Заковоротный, М.Б. Флек// Ростов н/Д: Терра, 2006. – 876 с.
3. Базров, Б.М. Технологические основы проектирования самоподнастраивающихся станков/ Б.М. Базров. - М.: Машиностроение, 1978. - 216 с.
4. Каган, В.Г. Цифровые электромеханические системы/ В.Г. Каган, Ю.Д. Бери, Б.И. Акимов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 208 с.
5. Коровин, Б.Г. Системы программного управления промышленными установками и робототехническими комплексами / Б.Г. Коровин, Г.И. Прокофьев, Л.Н. Рассудов // Учебное пособие для вузов. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. - 352 с.
6. Устройство числового программного управления NC201-M. Руководство по характеристике. Санкт-Петербург: ООО «Балт-Систем», 2008. - 146 с.
7. Чернов, Е.А. Электроприводы подач станков с ЧПУ: Справочное пособие / Е.А. Чернов, В.П. Кузьмин, С.Г. Синичкин. - Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. – 271 с.
8. Федонин, О.Н. Способ повышения эффективности работы токарных станков с ЧПУ / О.Н. Федонин, А.В. Агеенко // Модернизация машиностроительного комплекса России на научных основах технологии машиностроения (ТМ-2011): Сб. тр. 3-й междунар. Науч.-техн. конф., г. Брянск, 19-20 мая 2011 г./ Под общ. ред. А.Г. Сулова. – Брянск: Десяточка, 2011. – С. 328-329.

Агеенко Алексей Владимирович

Брянский государственный технический университет, г. Брянск
Аспирант каф. «Автоматизированные технологические системы»
E-mail: atsys@tu-bryansk.ru

A.V. AGEENKO

METHODICS OF NC CONTROLLER PARAMETER SETTING OF LATHE MACHINES FOR ASSURANCE OF GIVEN ACCURACY OF PART PROFILE

The method of setting the parameters of machine tool, which allows to determine the accuracy of the whole technological system to identify the influence of each factor on the accuracy of the castings move the cutting tool trajectory. The technique allows to achieve the necessary precision castings trajectory by optimizing the machining parameters during the planning, overhaul, as well as the modernization of CNC lathe.

Keywords: accuracy of the tool path; optimization; machine tool parameters; system diagnostics; lathe with CNC; contour position.

BIBLIOGRAPHY

1. Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja. V 2 t. T.1/ Pod red. A.G. Kosilovoj i R.K. Mewerjakova. M.: «Mashinostroenie», 1985. - 694 s.
2. Zakovorotnyj, V.L. Dinamika processa rezanija. Sinergeticheskij podhod / V.L. Zakovorotnyj, M.B. Flek// Rostov n/D: Terra, 2006. – 876 s.
3. Bazrov, B.M. Tehnologicheskie osnovy proektirovanija samopodnastraivajuvihsja stankov/ B.M. Baz-rov. - M.: Mashinostroenie, 1978. - 216 s.
4. Kagan, V.G. Cifrovye jelektromehaničeskie sistemy/ V.G. Kagan, Ju.D. Beri, B.I. Akimov i dr. – M.: Jenergoatomizdat, 1985. – 208 s.
5. Korovin, B.G. Sistemy programmogo upravlenija promyshlennymi ustanovkami i robototehničeskimi kompleksami / B.G. Korovin, G.I. Prokofev, L.N. Rassudov // Učebnoe posobie dlja vuzov. L.: Jenergo-atomizdat. Leningr. otd-nie, 1990. - 352 s.
6. Ustrojstvo čislovogo programmogo upravlenija NC201-M. Rukovodstvo po harakterizacii. Sankt-Peterburg: OOO «Balt-Sistem», 208. - 146 s.
7. Chernov, E.A. Jelektroprivody podach stankov s ChPU: Spravočnoe posobie / E.A. Chernov, V.P. Kuz'min, S.G. Simichkin. - Gor'kij: Volgo-Vjatskoe kn. izd-vo, 1986. – 271 s.
8. Fedonin, O.N. Sposob povyšeniija jeffektivnosti raboty tokarnyh stankov s ChPU / O.N. Fedonin, A.V. Ageenko // Modernizacija mashinostroitel'nogo kompleksa Rossii na nauchnyh osnovah tehnologii mashi-nostroeniija (TM-2011): Sb. tr. 3-j mezhdunar. Nauch.-tehn. konf., g. Brjansk, 19-20 maja 2011 g./ Pod obw. red. A.G. Suslova. – Brjansk: Desjatočhka, 2011. – S. 328-329.

Ageenko Aleksey Vladimirovich

Bryansk state technical university, Bryansk

Post-graduate student of department “Automated technological systems”

E-mail: atsys@tu-bryansk.ru

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ **И ИНСТРУМЕНТЫ**

УДК 621.787.4

Д.О. ДОРОХОВ

УПРАВЛЯЕМОЕ ФОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ИЗДЕЛИЯХ МЕТОДАМИ КОМПЛЕКСНОГО ЛОКАЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Рассмотрен процесс комплексного локального деформирования, на примере обработки втулки из бронзового сплава. При этом определены механические свойства исследуемого литого сплава и исследованы параметры распределения микротвердости по сечению обработанной заготовки. Описаны достоинства предлагаемого метода формирования структуры металла. Построены графики зависимости распределения различных параметров микротвердости по сечению в зависимости от числа циклов обработки. Показана математическая модель рассматриваемого процесса в его сравнении с экспериментальными данными. Предложены аппроксимирующие зависимости для распределения параметров микротвердости. Подтверждена адекватность математической модели процесса комплексной локальной деформации. В результате математического моделирования получено распределение по сечению параметра Удквиста (Odqvist) в зависимости от числа проходов. На основе анализа параметра Удквиста (Odqvist) предложена схема управляемого формирования требуемых механических свойств в изделиях. Что позволяет заранее задавать необходимое распределение механических свойств в зависимости от параметров обработки, в частности от числа циклов обработки.

Ключевые слова: упрочнение, локальное деформирование, механические свойства, параметр Удквиста.

Проблема управляемого формирования требуемых структур в объемных металлических материалах приобрела особое значение с пониманием ведущей роли в развитии промышленности нанотехнологий. Если удастся формировать субмикро – и наноструктуры в образцах, то органически вытекает потребность в прогнозировании распределения данных структур по объему какой-либо заготовки и детали. Давно известно, что например, валы должны иметь высокую твердость поверхностного слоя и «мягкую», вязкую сердцевину. Подшипники скольжения должны обладать высокой износостойкостью, отличными антифрикционными свойствами и в то же время меньшей прочностью по сравнению с сопрягаемыми деталями [1]. Отсюда вытекает требование к разработке новых технологий, в первую очередь связанных с обработкой давлением, которые бы сочетали возможности формирования мелкозернистой кристаллической структуры, вплоть до наноуровня, и позволяли бы качественно управлять процессом формирования требуемых механических свойств.

Одним из возможных решений указанной задачи является технология упрочняющей валковой штамповки как одного из методов комплексного локального деформирования [1-4]. В качестве практического применения для исследования данной технологии был выбран способ [5] (см. рис. 1) обработки втулок из сплава БрО5С5Ц5 (см. рис. 2). Процесс формирования структуры (упрочнение от наружной поверхности) протекает за счет пластической деформации от внедрения кольцевого выступа в металл заготовки и его винтовом перемещении в результате возвратно-поступательного перемещения ролика (6) в осевом направлении, при этом ролик(и) (5) создают квазигидростатическое давление [1,5].

Исследуемый сплав БрО5С5Ц5 является литейным, и его пластические свойства практически не подвергались исследованию. Важнейшей характеристикой механических свойств того или иного материала является кривая деформация – напряжение. Для построения данной кривой использовались образцы по ГОСТ 1497-84 тип III №4 с диаметром $d_0 = 10$ мм. и

испытывались на растяжение на разрывной машине МР-200. Полученная кривая упрочнения представлена на рис. 3. В качестве величин, характеризующих степень упрочнения, в экспериментах использовались микротвердость H_{μ} , глубина упрочнения h_{μ} (мкм) и степень наклепа. По распределению твердости можно определить напряжения в пластической области [6]. Для определения микротвердости по сечению образцов их распиливали и изготовляли полированные шлифы, измерение микротвердости проводили на микротвердомере МНТ-10.

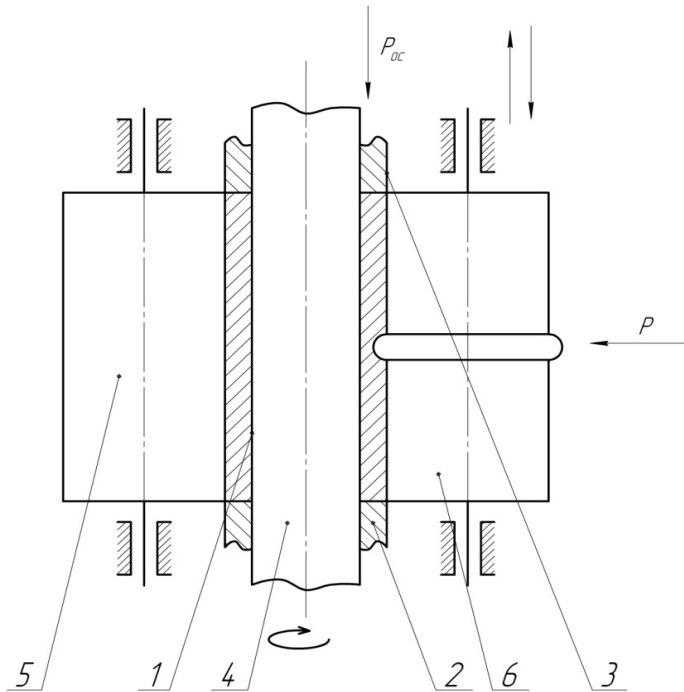


Рисунок 1 – Схема способа получения полых осесимметричных изделий

1 – заготовка, 2 – упор, 3 – прижим, 4 – оправка, 5,6 – ролики



Рисунок 2 – Исследуемый образец (штулка)

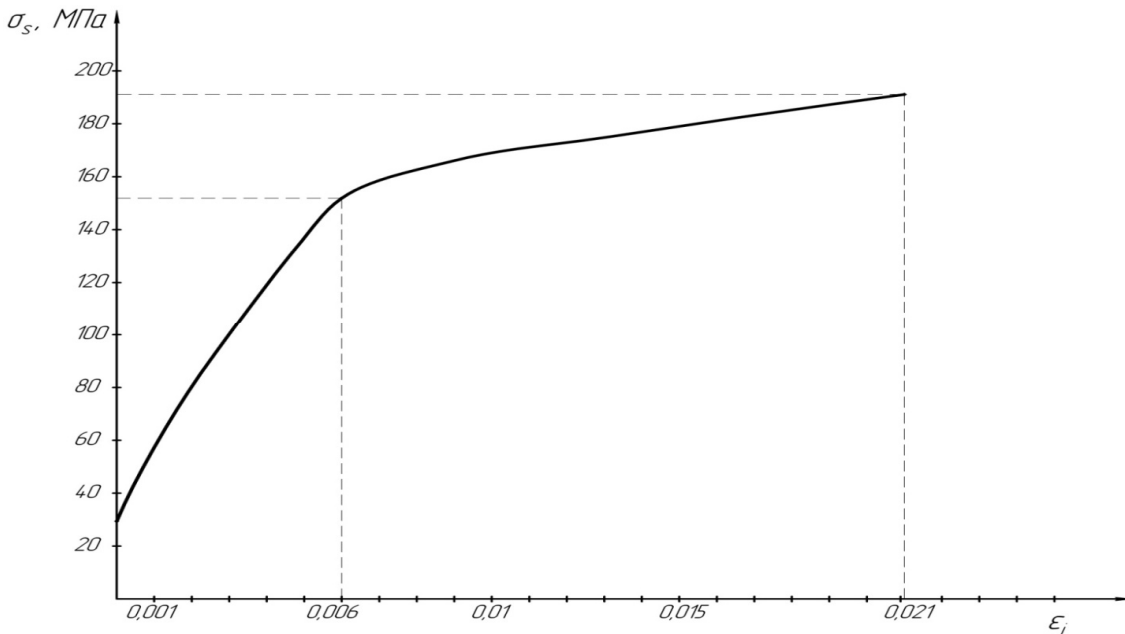


Рисунок 3 – Кривая упрочнения для сплава BrO5Ц5С5

Ниже представлены данные экспериментальных работ по обработке втулок $\phi_{\text{нар.}} = 45\text{мм}$ и $\phi_{\text{внут.}} = 30\text{мм}$ из сплава BrO5Ц5С5 $H_{\mu 0} = 102,8$ по способу [5] с числом проходов от 1 до 38: распределение значений микротвердости (H_{μ} , МПа) в зависимости от расстояния до

поверхности (h_μ , мкм) и числа проходов (n) при определенной силе со стороны инструмента ($P'_{и}, H$) (см. рис. 4); также показана аппроксимация полученных данных $H_\mu = f(h_\mu; n)$ в виде зависимости:

$$H_\mu = a_1 + a_2 \cdot n^2 + a_3 \cdot n + a_4 \cdot n \cdot h_\mu + a_5 \cdot h_\mu^2 + a_6 \cdot h_\mu + H_{\mu 0}, \quad (1)$$

где a_i – эмпирические коэффициенты (см. табл. 1), зависящие от приложенных сил, скорости обкатки, геометрии инструмента, обрабатываемого материала.

Таблица 1 – Значения коэффициентов a_i в формуле 1

Сила, Н	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
310	55,65	0,0467	0,0192	0,0011	$8,037 \cdot 10^{-6}$	0,0467
580	76,82	0,0161	0,0141	0,0008	$1,093 \cdot 10^{-5}$	0,0343
800	80,59	0,0137	0,012	0,0007	$1,286 \cdot 10^{-5}$	0,0292

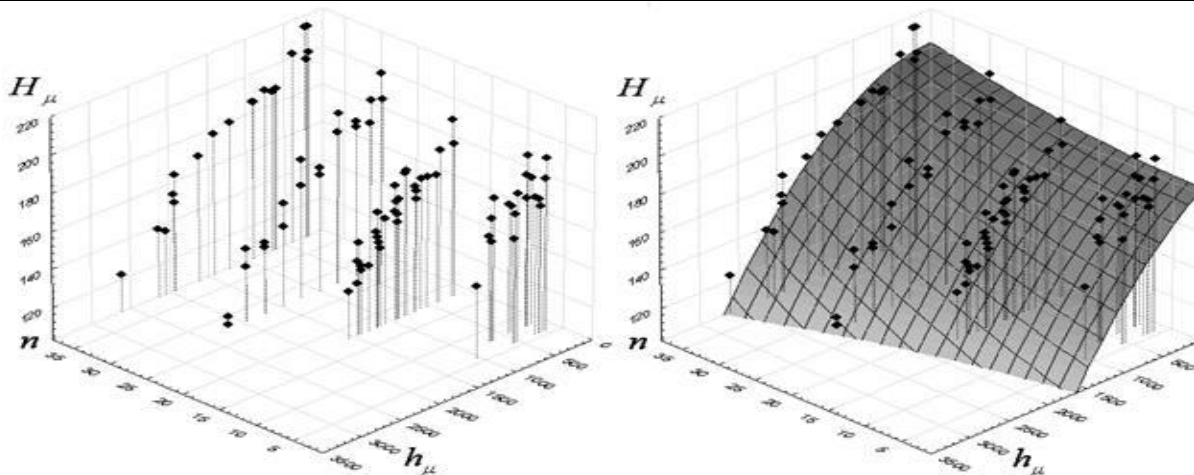


Рисунок 4 – Распределение значений микротвердости (H_μ) и их аппроксимация $H_\mu = f(h_\mu; n)$ по сечению для сплава Бр05Ц5С5 $P'_{и}=800$ Н

Распределение значений степени микротвердости $\Delta H_\mu = \frac{H_\mu - H_{\mu 0}}{H_{\mu 0}} 100\%$ в зависимости

от отношения текущего расстояния точки к общей длине (h_μ/h , %) и числа проходов (n) при определенной силе со стороны инструмента ($P'_{и}, H$) показано на рис. 5, параллельно изображена аппроксимация $\Delta H_\mu = g\left(\frac{h_\mu}{h}; n\right)$ в виде зависимости:

$$\Delta H_\mu = a'_1 + a'_2 \cdot n^2 + a'_3 \cdot n + a'_4 \cdot n \cdot \left(\frac{h_\mu}{h}\right) + a'_5 \cdot \left(\frac{h_\mu}{h}\right)^2 + a'_6 \cdot \left(\frac{h_\mu}{h}\right), \quad (2)$$

где a'_i – эмпирические коэффициенты,

$$h = 7500 \text{ мкм}.$$

Также показана зависимость глубины упрочненного слоя (h_μ , мкм) от числа проходов (n), т. е. кривая $h_\mu = w(n)$ (рис. 5).

Параллельно было проведено математического моделирование исследуемого процесса [6]. В результате моделирования были получены картины распределения интенсивности напряжений σ_i при варьировании числа проходов от 1 до 38 и различной глубины внедрения инструмента в тело заготовки (силы, действующей на инструмент).

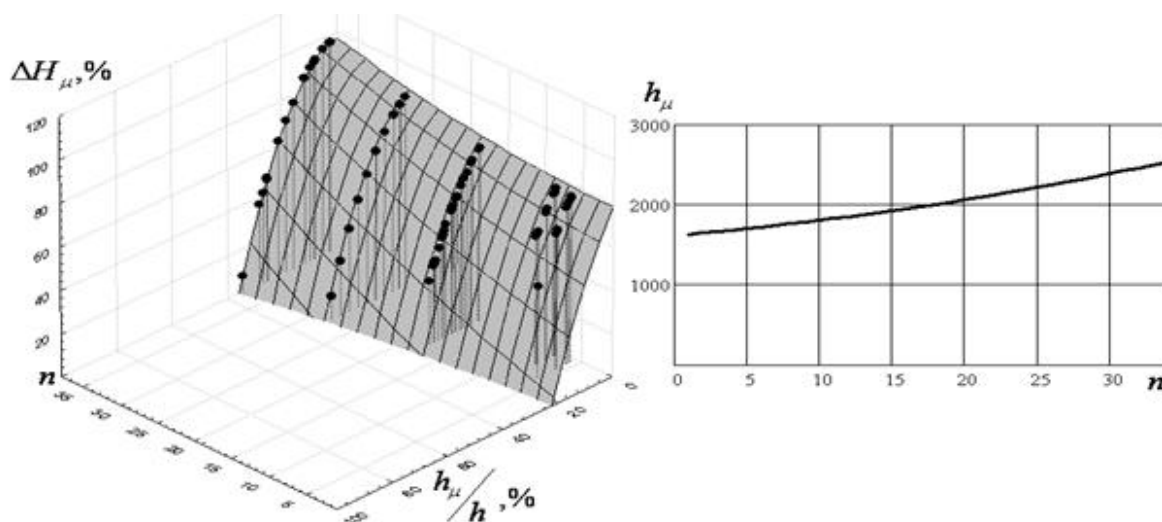


Рисунок 5 – Распределение значений микротвердости (H_μ) и их аппроксимация $H_\mu = f(h_\mu; n)$ по сечению для сплава Бр05Ц5С5 $aP'_и=800$ Н

Для сравнения полученных данных с экспериментальными интерпретируем их по зависимости:

$$\sigma_i = 0,33 \cdot H_\mu, \quad (3)$$

где 0,33 – коэффициент связи, определяемый следующим образом: брались цилиндрические образцы Бр05Ц5С5 с соотношением $h/d = 3$, где d – диаметр, а h – высота, и проводилась их осадка с разной степенью деформации, рассчитывали интенсивность напряжений, полученные образцы разрезали пополам и измеряли их среднюю микротвердость по сечению, сопоставляя данные, приходили к указанной зависимости.

Аналогично описанной выше методики строили зависимость вида $H_\mu = f(h_\mu; n)$ и проверяли адекватность разработанной математической модели (см. рис. 6). Сравнение коэффициентов в выражении (1) по результатам математического моделирования и эксперимента представлено в табл. 2.

Анализируя полученные результаты, можно говорить о том, что данная математическая модель в достаточной степени достоверна: коэффициенты a_i в формуле (1) близки по своим значениям, значения твердости на глубине 0,1мм практически идентичны. Для $h_\mu = w(n)$ при числе циклов 1 – 15 ($P'_и=800$ Н и $n=15$) отклонение составляет 5,6%, а при большем количестве проходов расхождение растет ($P'_и=800$ Н и $n=20$ - 7,67%; $P'_и=800$ Н и $n=38$ - 14%). Имеются расхождения в кривых $\Delta H_{\mu h} = u(n)$. Указанные отличия говорят о том, что данная математическая модель дает результаты, находящиеся в рамках теоретической погрешности для числа проходов 1-20, а для $n>20$ – приближенное решение. [1-6]

Экспериментальные данные и математическая модель показали, что с ростом циклов деформирования происходит незначительное увеличение твердости поверхностных слоев (при $h_\mu = 100$ мкм, $P'_и=310$ Н, n от 1 до 38 твердость увеличивается максимально в 1,2 раза). С увеличением n растет глубина упрочненной зоны h_μ (при $P'_и=310$ Н, n от 1 до 38 h_μ увеличивается в 2,9 раза). Уменьшается градиент наклепа, что свидетельствует о более плавной проработке структуры. Количество циклов не может быть бесконечно большим. Например, при $P'_и= 800$ Н в экспериментах уже наблюдается незначительное «шелушение» поверхности при $n>18 - 22$.

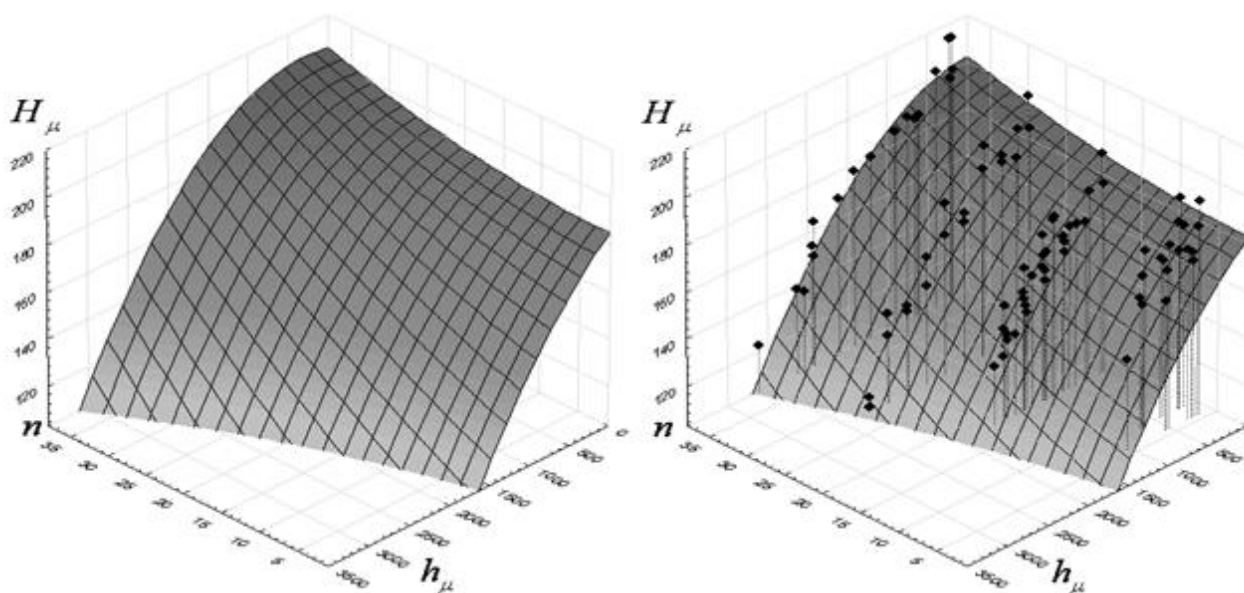


Рисунок 6 – Распределение значений микротвердости (H_{μ}) $H_{\mu} = f(h_{\mu}; n)$ для математической модели (слева) и аппроксимации экспериментальных данных по сечению для сплава $BrO5Ц5C5$ $P'_{\mu} = 800$ Н

Таблица 2 – Сравнение значений коэффициентов a_i в формуле (1)

	Сила, Н	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
Эксперимент	310	55,65	0,0467	0,0192	0,0011	$8,037 \cdot 10^{-6}$	0,0467
Мат. модель	310	62,2	0,05	0,02	0,001	$8,3 \cdot 10^{-6}$	0,05
Эксперимент	580	76,82	0,0161	0,0141	0,0008	$1,093 \cdot 10^{-5}$	0,0343
Мат. модель	580	81,2	0,018	0,015	0,001	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,035
Эксперимент	800	80,59	0,0137	0,012	0,0007	$1,286 \cdot 10^{-5}$	0,0292
Мат. модель	800	82,2	0,015	0,014	0,001	$1,32 \cdot 10^{-5}$	0,03

Показатели твердости не могут в полной мере отразить картину напряженно-деформированного состояния изделия после обработки, это является следствием того, что они являются некоторой функцией интенсивности напряжений σ_i . Сама σ_i представляет собой величину, пропорциональную квадратному корню из второго инварианта девиатора напряжений, т.е. скалярно описывает напряженное состояние в точке тела. Параметры твердости, в частности микротвердости, были выбраны из-за доступности их экспериментального определения и наличия качественных, проверенных методик. Процесс создания структуры металла (размер зерен, субзерен, степень их разориентировки) зависит от степени деформации. Очевидны зависимости между величинами разориентировки зерен и их размерами от степени накопленной деформации, при этом существенную роль играет гидростатическая составляющая нагружения. Следовательно, необходимо оценить и деформированное состояние, в качестве такой оценки может быть выбран параметр Удквиста (Odqvist). В используемой теории пластического течения устанавливается функциональная зависимость между интенсивностью напряжений и деформациями [6, 7]:

$$\sigma_i = \Phi\left(\int q\right), \tag{4}$$

где $q = \int \overline{d\varepsilon}_i^P$ – параметр Удквиста.

В выражении (4) интегрирование производится по пути деформирования, а величина $\overline{d\varepsilon}_i^P$ является приращением интенсивности пластических деформаций. Изменение параметра Удквиста для $BrO5Ц5C5$ в зависимости от числа проходов на различной глубине пред-

ставлено на рисунке 7. Подобные картины наблюдаются и для сил $P'_{и} = 580$ Н и $P'_{и} = 800$ Н. [2, 5, 6]

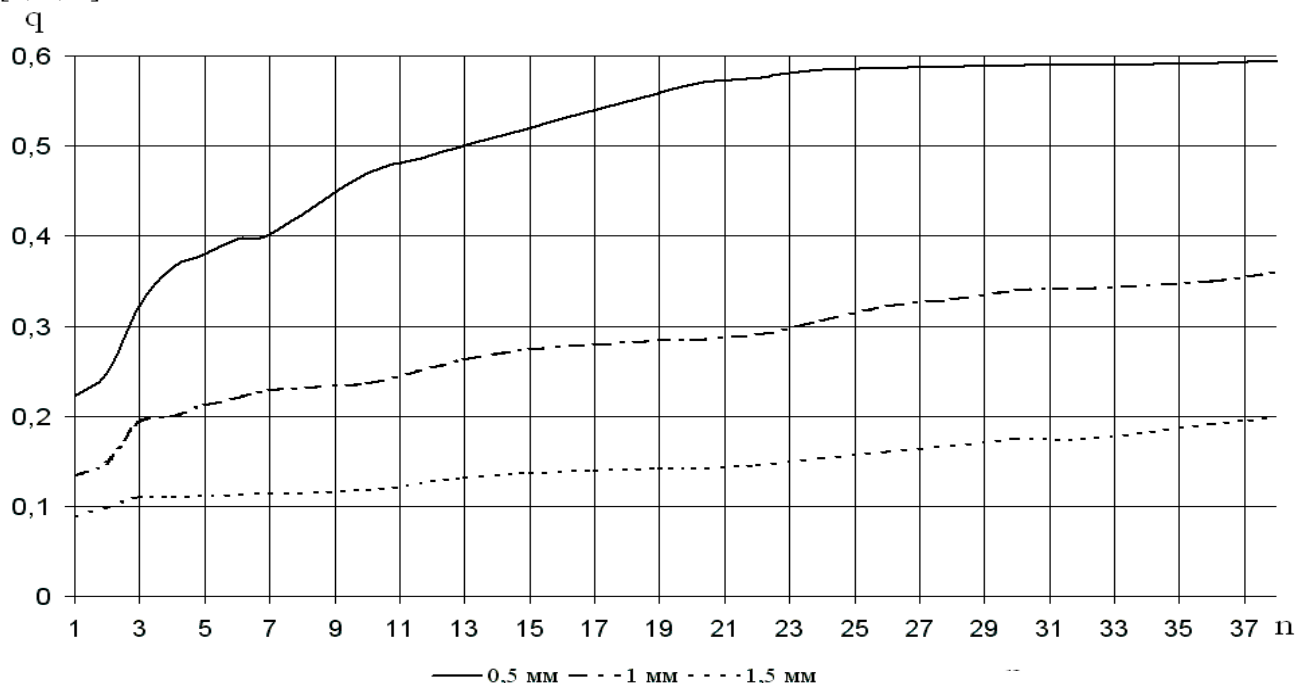


Рисунок 7 – Параметр Удквиста для БрО5Ц5С5 при $P'_{и} = 310$ Н [6]

Необходимо отметить, что параметр Удквиста – одна из возможных характеристик не только оценки напряжено-деформированного состояния, но и та характеристика, которая может быть положена в основу оптимизации и управления процессами обработки давлением в целом. Так, анализируя рисунок 7, видно, что при $h_{\mu} = 500$ мкм и $n > 20$ параметр прекращает расти; при $h_{\mu} = 1500$ мкм на участке n_2 - n_{36} линейно возрастает; наибольшее увеличение наблюдается после 2-3 циклов, а устойчивый рост – при 6-7 на все глубинах. Однако использование данной меры существенно ограничено: во-первых, она практически не может быть измерена (необходимо моделировать процесс и оценивать степень адекватности модели косвенно – как сделано в данной работе), во-вторых, не каждый пакет математического моделирования задач обработки давлением дает расчет параметра Удквиста.

В качестве примера приведена методика определения числа циклов деформирования при обработке осесимметричных изделий по способу [5]. В основу управления процессом положено достижение требуемых параметров упрочнения, в частности, по распределению микротвердости. Принципиальная блок-схема указанного алгоритма приведена на рис. 8. Блоки на рис. 8 пояснены ниже.

Исходные данные $H(q)$, G , μ . Задаются необходимые данные для математического моделирования, отражающие механические свойства материала заготовки (кривая упрочнения, модуль сдвига, коэффициент трения).

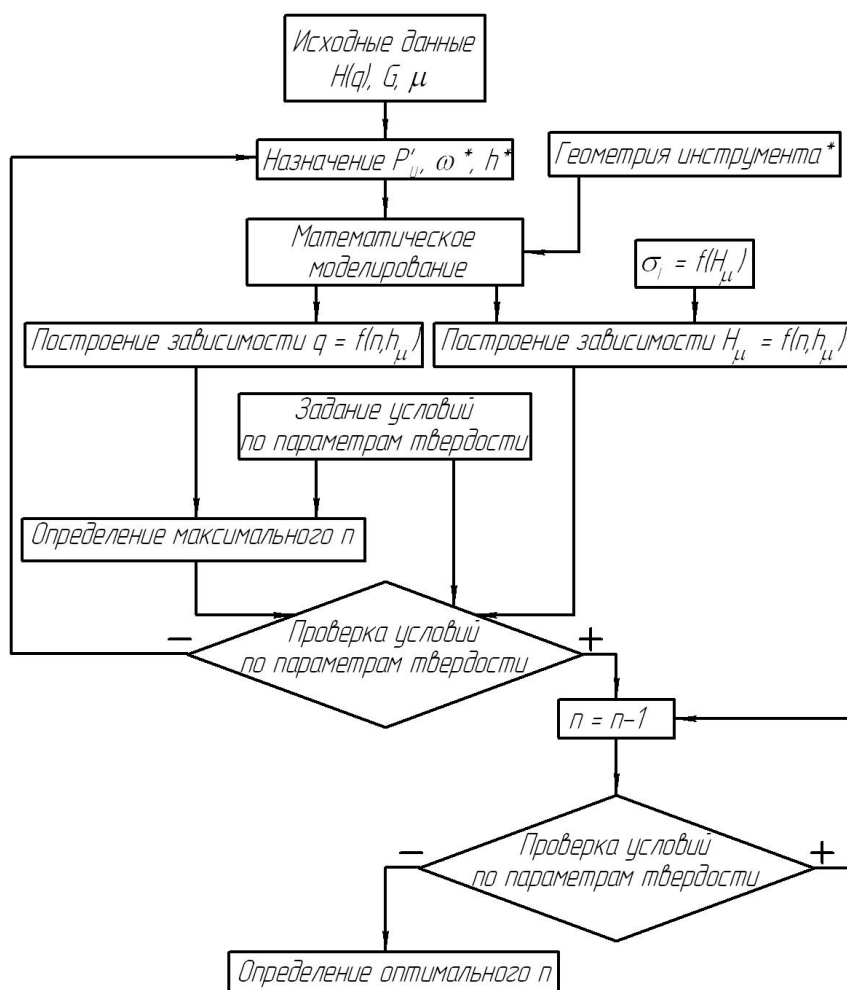


Рисунок 8 – Методика определения числа циклов деформирования

Назначение P', ω, h . Задаются технологические параметры процесса: действующая сила, скорость вращения, шаг. При невыполнении какого-либо условия по параметрам твердости происходит возвращение к указанному блоку. Тогда необходимо корректировать один или группу параметров.

Геометрия инструмента. Задается геометрия инструмента (в частности, геометрия выступа на ролике – см. рис.1).

Математическое моделирование. Производится ППП "ШТАМП" с использованием модификации скоростного вариационного принципа квазистатического равновесия системы контактирующих тел и методики решения системы разрешающих уравнений для КЭ на основе метода Рунге-Кутты [8].

Задание условий по параметрам твердости. Задается условие целостности слоев на определенной глубине (т.е. значение критической глубины, выше которого может иметь место разрушение – «шелушение») и требуемое распределение параметров твердости.

Определение максимального n . По зависимости параметра Удквиста от числа циклов деформирования и глубины упрочнения определяется максимальное n , при котором прекращается рост параметра (начинается асимптотическое приближение к определенной величине) на, заданной глубине.

Проверка условий по параметрам твердости. Проверяется условие требуемого распределения параметров твердости, при невыполнении корректируется P' и (или ω, h), в противном случае понижается значение n и проверка повторяется.

Таким образом, приведен пример управления процессом формирования требуемых механических свойств путем определения числа проходов. Подобным образом можно реализовать регулирование сил со стороны формирующего инструмента, скоростных условий процесса и т.д. Особую роль играет возможность определения оптимальной геометрии инст-

румента, что, однако, требует отдельных модельных изысканий. Рассмотренный пример может служить базой для создания запрограммированного распределения комплекса механических свойств изделий, получаемых с применением не только указанного процесса, но и других технологий, основанных на комплексном локальном нагружении очага деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голенков, В.А. Применение комплексного локального нагружения при формировании градиентных механических свойств [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, О.В. Дорофеев, Д.О. Дорохов // Заготовительные производства в машиностроении. №10 - 2009. - С. 22-25
2. Голенков, В. А. Создание градиентных структур на основе метода валковой штамповки [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, О.В. Дорофеев, Д.О. Дорохов // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», № 3/275(561). – Орел: ОрелГТУ. - 2009. - С.42-46.
3. Голенков, В. А. Перспективы применения технологии «валковая штамповка» для получения градиентных субмикро- и наноструктурных материалов [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2. - Тула: Изд-во ТулГУ, - 2008. - С.123-128.
4. Голенков, В. А. Формирование градиентных субмикро – и наноструктурных состояний комплексным локальным нагружением очага деформации [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2009. - №3. - С. 54-56.
5. Пат 2389580 Российская Федерация, В21D 51/02. Способ получения металлических втулок с градиентной субмикро- и нанокристаллическими состоянием материала [Текст] / В.А., Голенков, С.Ю., Радченко, Д.О.Дорохов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ОрелГТУ». - № 2008146754/02; заявл. 26.11.2008; опубл. 20.05.2010, Бюл. №14.
6. Голенков, В. А. Математическое моделирование упрочняющей валковой штамповки [Текст] / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», № 4/276(575). – Орел: ОрелГТУ. – 2009. - С.54-58.
7. Морев, П. Г. Вариант метода конечных элементов для контактных задач с трением [Текст] / П.Г. Морев // Известия РАН, сер. Механика твёрдого тела. 2007, №4, С.168-182.

Дорохов Даниил Олегович

Мценский филиал Федерального образовательного учреждения высшего профессионального образования «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
кандидат технических наук, доцент каф. «Технология машиностроения»
Тел. (48646) 31951
E-mail: ddostu@mail.ru

D.O. DOROHOV

OPERATED FORMATION OF MECHANICAL PROPERTIES IN PRODUCTS METHODS OF COMPLEX LOCAL DEFORMATION

Process of complex local deformation, on an example of processing of the plug from a bronze alloy is considered. Mechanical properties of an investigated cast alloy are thus defined and parameters of distribution of microhardness on section of the processed preparation are investigated. Advantages of an offered method of formation of structure of metal are described. Schedules of dependence of distribution of various parameters of microhardness on section depending on number of operation cycles are constructed. The mathematical model of considered process in its comparison with experimental data is shown. Approximating dependences for distribution of parameters of microhardness are offered. Adequacy of mathematical model of process of complex local deformation is confirmed. As a result of mathematical modeling distribution on section of Odqvist parameter depending on number of passes is received. On the basis of the analysis of Odqvist parameter the scheme of operated formation of demanded mechanical properties in products is offered. That allows to set in advance necessary distribution of mechanical properties depending on processing parameters, in particular from number of operation cycles.

Keywords: *hardening, local deformation, mechanical properties, Odqvist parameter.*

BIBLIOGRAPHY

1. Golenkov, V.A. Primenenie kompleksnogo lokal'nogo nagruzhenija pri formirovanii gradientnyh mekhanicheskikh svojstv [Tekst] / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, O.V. Dorofeev, D.O. Dorohov // Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii. №10 - 2009. - S. 22-25

2. Golenkov, V. A. Sozdanie gradientnyh struktur na osnove metoda valkovoj shtampovki [Tekst] / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, O.V. Dorofeev, D.O. Dorohov // Izvestija OrelGTU. Serija «Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii», № 3/275(561). – Orel: OrelGTU. - 2009. - S.42-46.

3. Golenkov, V. A. Perspektivy primeneniya tehnologii «valkovaja shtampovka» dlja poluchenija gradi-entnyh submikro- i nanostrukturnyh materialov [Tekst] / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov // Iz-vestija TulGU. Tehnicheskie nauki. Vyp. 2. - Tula: Izd-vo TulGU, - 2008. - S.123-128.

4. Golenkov, V. A. Formirovanie gradientnyh submikro – i nanostrukturnyh sostojanij kompleksnym lokal'nym nagruzheniem ochaga deformacii [Tekst] / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov // Uprochnjajuwe tehnologii i pokrytija. - 2009. - №3. - S. 54-56.

5. Pat 2389580 Rossijskaja Federacija, B21D 51/02. Sposob poluchenija metallicheskih vtulok s gradi-entnoj submikro- i nanokristallicheskimii sostojaniem materiala [Tekst] / V.A., Golenkov, S.Ju., Radchenko, D.O. Dorohov; zajavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «OrelGTU». - № 2008146754/02; zajavl. 26.11.2008; opubl. 20.05.2010, Bjul. №14.

6. Golenkov, V. A. Matematicheskoe modelirovanie uprochnjajuwej valkovoj shtampovki [Tekst] / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov // Izvestija OrelGTU. Serija «Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii», № 4/276(575). – Orel: OrelGTU. – 2009. - S.54-58.

7. Morev, P. G. Variant metoda konechnyh jelementov dlja kontaktnyh zadach s tre-niem [Tekst] / P.G. Morev // Izvestija RAN, ser. Mehanika tvjordogo tela. 2007, №4, S.168-182.

Dorohov Daniil Olegovich

The Federal State Higher Education Professional Institution «State University –Education-Scientific-Production Complex» branch in Mzenzk

Candidate of technical science, associate professor « Engineering technique»

Tel.: (48646) 31951

E-mail: ddostu@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРУЮЩЕ-РЕЖУЩИХ ПРОТЯЖЕК С УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИМ НАГРУЖЕНИЕМ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ

В статье представлен процесс формирования деформированных и механически упрочненных слоев металла деформирующе-режущим протягиванием с упругопластическим нагружением зоны резания. Эти исследования явились основой для разработки методики расчета технологических и конструктивных параметров протяжек.

Ключевые слова: деформирующе-режущее протягивание, образование форм деформированных слоев.

Деформирующе-режущее протягивание (ДРП) один из эффективнейших методов протягивания, который заключается в предварительном деформировании поверхности отверстия перед каждым циклом резания, деформирующим элементом кольцевой формы [1]. Пластическое деформирование приводит к более эффективному увеличению диаметра отверстия, чем при процессе резания, а механическое упрочнение снижает силы при последующем его срезании и, тем самым, способствует повышению стойкости режущих зубьев и всего инструмента в целом. Дальнейшая интенсификация процессов ДРП осуществлялась по пути объединения процесса резания и деформирования во времени и пространстве. Это достигалось размещением деформирующих зубьев в местах расположения стружечных канавок. Такое расположение деформирующих зубьев с одной стороны позволяло осуществлять стружкодеделение, а с другой - обеспечивало создание растягивающих напряжений в зоне резания и, как следствие, дальнейшее снижение энергозатрат на процесс резания.

После первого прохода деформирующе-режущих элементов через отверстие диаметром d_0 (рис. 1) деформирующие зубья продавливают пазы глубиной δ_{en} (δ_{env}) и диаметром d_2 . Одновременно участок поверхности между деформирующими зубьями оттесняется за счет неравномерности деформации по толщине втулки до диаметра d_3 , и на поверхности отверстия образуются продольные выступы высотой h (h_y). Но поскольку между деформирующими зубьями расположен режущий зуб, то часть этого выступа, толщиной a_{p1} при проходе первого элемента и толщиной a_{p2} при всех последующих срезается, образуя поверхность диаметром d_4 . При следующем проходе деформирующий зуб располагается в зоне срезанного выступа, а режущий – в зоне впадины. Теперь деформирующий зуб увеличивает отверстие диаметром d_4 до $d_{2(2)}$ 2-го прохода, а режущий увеличивает диаметр d_2 до $d_{4(2)}$ 2-го прохода и т.д.

Деформирующие зубья каждого элемента механически упрочняют поверхностный слой, который срезается следующим за ним режущим зубом элемента. Кроме того, деформирующие зубья при прохождении через отверстие образуют выступ, высотой h при первом проходе деформирующе-режущих элементов по не наклепанному слою, h_y - при втором и последующих проходах по механически упрочненному слою. Образованный выступ упруго пластически растягивается и в таком состоянии поступает в зону резания, которую образуют режущие зубья того же деформирующе-режущего элемента (рис. 1, а).

Таким образом, в процессе резания предварительно механически упрочненный поверхностный слой упруго пластически растягивается, что значительно снижает энергосиловые затраты на процесс.

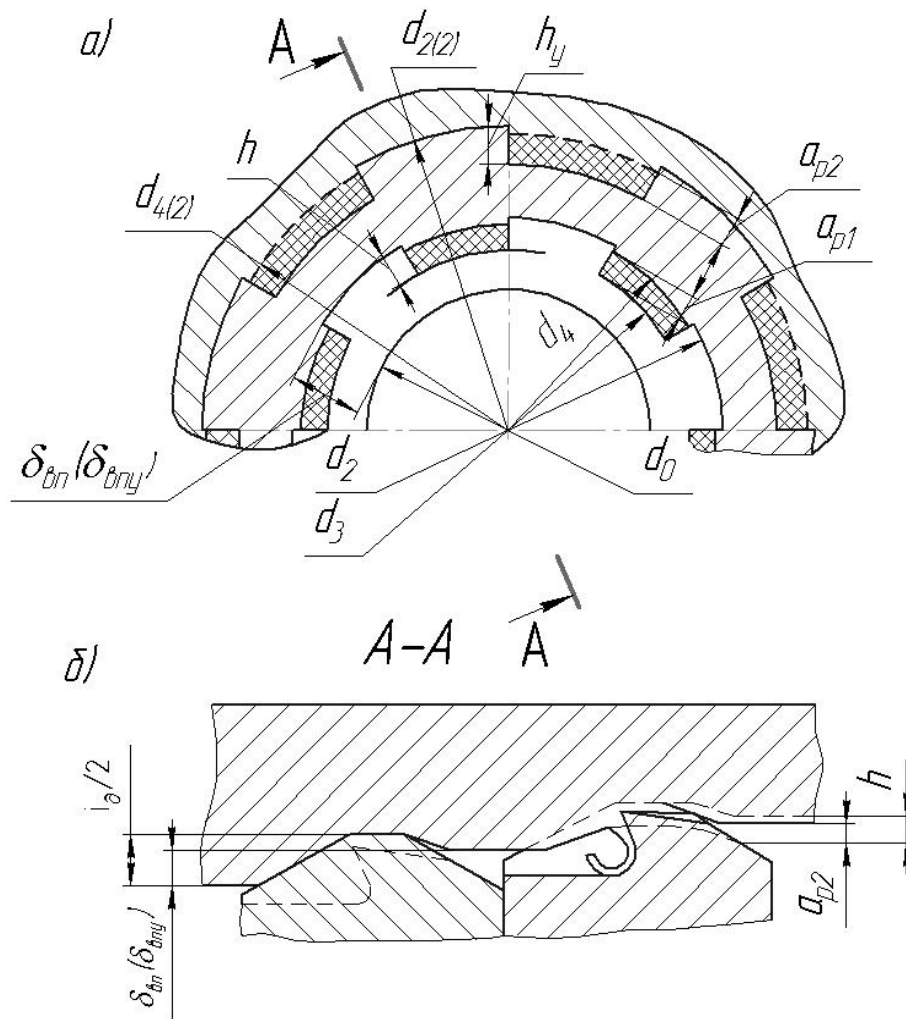


Рисунок 1 – Схема для определения технологических параметров процесса деформирующе-режущего протягивания с УПН зоны обработки

Такое более легкое разрушение резанием происходит везде, где режущие зубья расположены между деформирующими, однако уменьшение силы резания возникает при срезании слоя определенной толщины: $a_{p2}=0,02...0,06$ мм при экспериментально установленных натягах $i=0,4 \dots 0,7$ мм. для втулок из конструкционных сталей [2].

На основании вышеизложенного и приведенной схемы резания и деформирования (рис. 1, 2) диаметры по переходам на n-ном переходе на резание и деформирование определяются следующими выражениями:

$$d_{o1} = d_0 + i_1 \tag{1}$$

$$d_{o2} = d_0 + i_2 + 2\delta_{en1} - 2h_1 + 2a_{p1} \tag{2}$$

$$d_{o3} = d_{p2} - (i_2 - 2\delta_{en2}) + i_3 = d_0 + i_3 + 2\delta_{en1} + 2\delta_{en2} - 2h_2 + 2a_{p2} \tag{3}$$

$$d_{p1} = d_0 + i_1 - 2h_1 + 2a_{p1} \tag{4}$$

$$d_{p2} = d_{o2} - (2h_2 - (2h_1 - 2a_{p1})) + a_{p2} = \\ = d_0 + i_2 + 2\delta_{en1} - 2h_2 + 2a_{p2} \tag{5}$$

$$d_{p3} = d_{o3} - (2h_3 - (((2h_2 - (2h_1 - 2a_{p1})) - a_{p2}))) + 2a_{p3} = \\ = d_0 + i_3 + 2\delta_{en1} + 2\delta_{en2} - 2h_3 - 2h_1 + 2a_{p1} + 2a_{p3} \tag{6}$$

где d_o, d_p – диаметры по деформирующим и режущим зубьям с первого по третий переходы, δ_{en} – пластическая деформация по дну канавок образующихся после прохождения деформирующего элемента с натягом i ,

a_{pn} – толщина срезаемого слоя на первом переходе и всех последующих переходах.

При условии постоянства действительных подач на резание в указанном диапазоне при постоянстве натягов или экспоненциальному закону их изменения на переходах, с целью упрощения расчетов конструктивных элементов, а также обеспечения максимального снижения силы резания, необходимо выполнить следующие условия: т.е. $i_n = i_1 / \varphi^{n-1}$ и на основании выражений (1) и (6) получим выражения для расчета диаметров n – ных элементов:

$$d_{\partial n} = d_{p(n-1)} - (i_{n-1} - 2\delta_{\partial n(n-1)}) + i_n \quad (7)$$

$$d_{pn} = d_{\partial n} - \left(\sum_{\substack{i=2 \\ i=i+2}}^n h_i \cos \pi n - \sum_{\substack{i=-1 \\ i=i+2}}^{n-1} h_i \cos \pi n + \right. \\ \left. + \sum_{\substack{i=-1 \\ i=i+2}}^{n-1} a_{pi} \cos \pi n - \sum_{\substack{i=2 \\ i=i+2}}^n a_{pn} \cos \pi n \right) + a_{pn} \quad (8)$$

$$S_{\partial 1} = \delta_{\partial n 1} - h_1 + a_{p1} + (i_2 - i_1) / 2 \quad (9)$$

$$S_{\partial 2} = \delta_{\partial n 2} - h_2 + h_1 + a_{p2} - a_{p1} + (i_3 - i_2) / 2 \quad (10)$$

$$S_{\partial n} = \delta_{\partial n(n)} - \sum_{\substack{i=2 \\ i=i+2}}^n h_i \cos \pi n + \sum_{\substack{i=-1 \\ i=i+2}}^n h_i \cos \pi n + \\ + \sum_{\substack{i=2 \\ i=i+2}}^n a_{pi} \cos \pi n - \sum_{\substack{i=-1 \\ i=i+2}}^n a_{pi} \cos \pi n + (i_{n+1} - i_n) / 2 \quad (11)$$

$$S_{p1} = \delta_{\partial n 1} + h_1 - h_2 - a_{p1} + a_{p2} + (i_2 - i_1) / 2 \quad (12)$$

$$S_{p2} = \delta_{\partial n 2} - h_1 + h_2 - h_3 + a_{p1} - a_{p2} + a_{p3} + (i_3 - i_2) / 2 \quad (13)$$

$$S_{pn} = \delta_{\partial n(n)} + \sum_{\substack{i=2 \\ i=i+2}}^{n+1} h_i \cos \pi n - \sum_{\substack{i=-1 \\ i=i+2}}^{n+1} h_i \cos \pi n - \\ - \sum_{\substack{i=2 \\ i=i+2}}^{n+1} a_{pi} \cos \pi n + \sum_{\substack{i=-1 \\ i=i+2}}^{n+1} a_{pi} \cos \pi n + (i_{n+1} - i_n) / 2 \quad (14)$$

$$F_{S0} = S_{p0} / S_{\partial 0} = (i_1 - 2h_1 + 2a_p) / i_1 \quad (15)$$

$$F_{Sn} = S_{pn} / S_{\partial n} = [\delta_n - \sum_{\substack{i=2 \\ i=i+2}}^n h_i \cos \pi n + \sum_{\substack{i=-1 \\ i=i+2}}^n h_i \cos \pi n + \\ + \sum_{\substack{i=2 \\ i=i+2}}^n a_{pi} \cos \pi n - \sum_{\substack{i=-1 \\ i=i+2}}^n a_{pi} \cos \pi n + (i_{n+1} - i_n) / 2] / \\ / [\delta_n + \sum_{\substack{i=2 \\ i=i+2}}^{n+1} h_i \cos \pi n - \sum_{\substack{i=-1 \\ i=i+2}}^{n+1} h_i \cos \pi n - \\ - \sum_{\substack{i=2 \\ i=i+2}}^{n+1} a_{pi} \cos \pi n + \sum_{\substack{i=-1 \\ i=i+2}}^{n+1} a_{pi} \cos \pi n + (i_{n+1} - i_n) / 2] \quad (16)$$

где $S_{\partial n}$ – подача на n -ном деформирующем элементе,

S_{pn} – подача на n-ном режущем элементе,

F_{sn} – функция согласования между подачами на деформирующих и режущих элементах.

Пластическую деформацию по дну впадин δ_{en} и высоту выступа h , входящие в состав формул, определяют экспериментально путем замеров после пробного прохода элемента с деформирующими зубьями или по эмпирической зависимости, удовлетворяющей приведенным выше условиям и ограничениям.

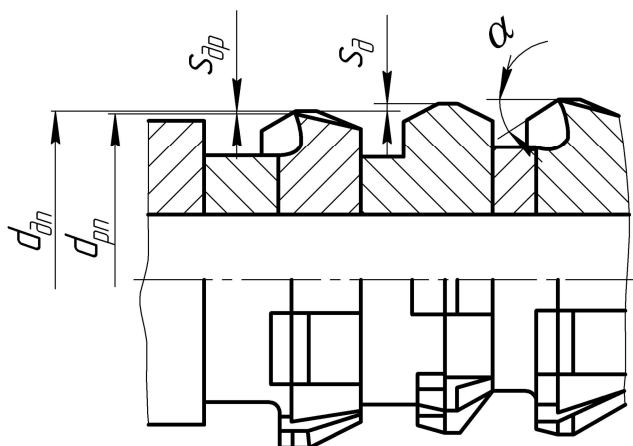


Рисунок 2 – Основные расчетные параметры протяжки с УПН зоны обработки

Обработка экспериментальных данных проводилась в соответствии с методикой регрессионного анализа, результатом которого являются уравнения регрессии степенного вида:

$$h = 508,32 \cdot i^{0,81} \cdot (D/d)^{1,14} \cdot (HB)^{-1,55} \quad (17)$$

$$\delta_{en} = 18407,27 \cdot i^{1,27} \cdot (D/d)^{-0,704} \cdot (HB)^{-1,94} \quad (18)$$

$$h_y = 10039,67 \cdot i \cdot (D/d)^{1,48} \cdot (HB)^{-2,25} \cdot i_c^{-0,08} \quad (19)$$

$$\delta_{eny} = 24627,57 \cdot i^{1,54} \cdot (D/d)^{-0,97} \cdot (HB)^{-2,45} \cdot i_c^{-0,05} \quad (20)$$

Выражения (17), (18) получены при $i_c=0$ мм и применимы для определения параметров неупрочненного срезаемого слоя.

Изменение пластических свойств на первом и последующих переходах (величин δ и h) ведет к изменению конструктивных параметров (диаметров d_p , d_o – режущих и деформирующих зубьев) и нелинейному согласованию между подачами на резание и деформирование (рис. 3), которые получены на основании формул 1 – 20:

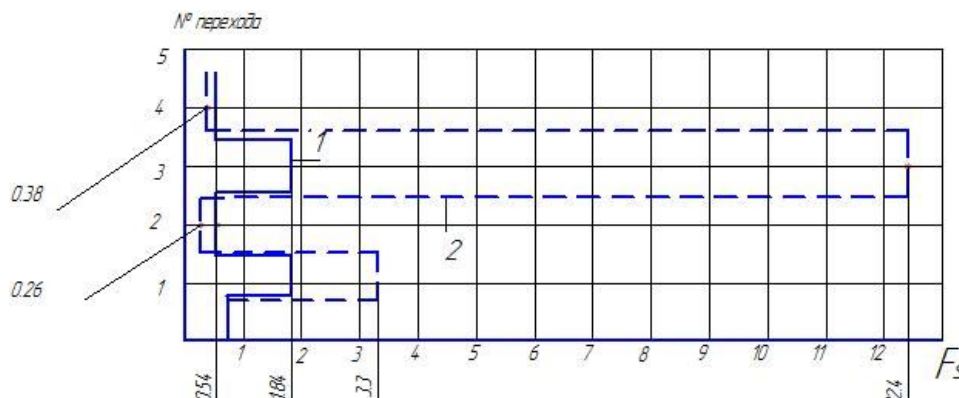


Рисунок 3 – Графики нелинейного согласования между движениями подачи $D/d = 1,6$; $a_p = 0,04$ мм.; сталь 45

1 – при постоянном натяге ($i = 0,6$ мм); 2 – при переменном натяге ($i_n = i_1/\varphi^{n-1}$, $i = 0,6$ мм. $\varphi = 1,2$)

ВЫВОДЫ

1. Проведены экспериментальные исследования пластической деформации по дну впадин и высоты образованных выступов в зависимости от натягов на деформирующе ре-

жущие элементы и радиальной жесткости втулок в соответствии с методикой регрессионного анализа.

2. Разработана методика расчета конструкторско-технологических параметров деформирующе-режущих протяжек с УПН и косоугольным резанием на основании проведенных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, А.М., Обработка комбинированным протягиванием круглых отверстий в деталях из вязких материалов [Текст] / А.М. Кузнецов, А.З. Марин // Автомобильная промышленность. – №4, 1970, С. 33 – 35.

2. Киричек, А.В. Интенсификация процессов комбинированного протягивания круглых отверстий [Текст] / А.В. Киричек, С.К. Амбросимов. – М.: Машиностроение – 1, 2009, 148 с.

Амбросимов Сергей Константинович

Липецкий государственный технический университет

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»

Тел. (4742) 74-39-36,

E-mail: avadro@mail.ru

S.K. AMBROSIMOV

DEFINITION DESIGNER OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS DEFORMATION-CUTTING BROACH WITH ELASTIC - PLASTIC LOADING ZONES OF CUTTING

The article presents process of shaping deformation and pre-strengthening layers of metal by deforming cutting broaches with elastic-plastic loading the zone of cutting. This research was a base for elaborating the method of account broaches technological and constructive parameters.

Keywords: *deforming- cutting broaching process, shaping deformation layers forms.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kuznecov, A.M., Obrabotka kombinirovannym protjagivaniem kruglyh otverstij v detaljah iz vjazkih materialov [Tekst] / A.M. Kuznecov, A.Z. Marin.//Avtomobil'naja promyshlennost'. – №4, 1970, s. 33 – 35.

2. Kirichek, A.V. Intensifikacija processov kombinirovannogo protjagivaniya kruglyh otverstij [Tekst] / A.V. Kirichek, S.K. Ambrosimov// – М.: Mashinostroenie – 1, 2009, 148 s.

Ambrosimov Sergey Konstantinovich

Lipetsk state technical university

Candidate of technical science, associate professor of department “Mechanical-engineering technology”

Tel: 4742-74-39-36,

E-mail: avadro@mail.ru

В.В. ИВАНОВ, Я.С. БУЛГАКОВ

ОКСИДИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ ВИБРАЦИОННЫМ МЕХАНОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

В статье рассмотрены перспективы применения вибрационных механохимических покрытий. Проведены исследования, по совмещению вибрационной обработки и оксидирования в полиэтиленовых средах. Определены, модификаторы улучшающие качество оксидной пленки.

Ключевые слова: оксидирование алюминия, вибрационное механохимическое покрытие, оксидная пленка.

Технологические возможности процесса виброобработки определяются особенностями взаимодействия частиц рабочей среды с поверхностью обрабатываемых деталей, видом рабочей среды и режимами работы виброустановки.

Изучение возможности разработки процесса вибрационной обработки и оксидирования деталей из алюминия и его сплавов показывает, что совмещение процессов позволяет улучшить качество поверхностного слоя, повысить декоративный вид и коррозионную стойкость деталей.

В процессе вибрационной обработки поверхностный слой металла под действием нормальной и тангенциальной сил в момент удара деформируется. Пластическая деформация вызывает накопление дислокаций и вакансий в поверхностном слое, увеличивая адсорбционную активность и реакционную способность поверхности и ионов раствора. Скользящий удар способствует разрушению оксидной пленки, взрывлению поверхностных слоев, образованию ювенильных участков, что также приводит к повышению активности и реакционной способности/1,2/.

Процессы, происходящие при ВиО, возможность управлять их интенсивностью, позволяют создавать надлежащую структуру и чистоту поверхности, являющиеся основным требованием получения качественных покрытий и прочного сцепления их с основой.

Объем работ, выполненных в области комбинирования метода ВиО и оксидирования, позволил установить параметры, обеспечивающие нормальное течение процесса, включающего очистку поверхности, отделку и оксидирование.

Необходимым условием роста оксидной пленки химическим способом, независимо от состава раствора, является наличие пор в покрытии, обеспечивающих приток оксидирующего раствора к поверхности металла. Так как ВиО обеспечивает эти условия, то можно с уверенностью сказать, что при совмещении процесса ВиО и оксидирования по отработанным технологическим параметрам могут быть использованы растворы щелочно-хроматный, фосфатно-хроматный, оксидно-фосфатный, дающие покрытия с различными физико-химическими свойствами, что расширяет область их применения. Так, например, в первых из них формируются пленки, обладающие небольшой механической прочностью, что ограничивает их применение главным образом в качестве грунта под лакокрасочные покрытия. Пленки, полученные в растворах второй группы, отличаются лучшей защитной способностью и механической прочностью, что позволяет использовать их в качестве антикоррозионных покрытий. Отличительной особенностью пленок, сформированных в хроматно-фторидных растворах, является низкое электросопротивление.

Одним из вариантов процесса оксидирования можно считать химическое пассивирование, которое широко применяется в автомобильной и некоторых других отраслях промышленности для защиты от коррозии деталей из алюминиевых сплавов. Пленки, полученные при пассивировании, имеют небольшую толщину, но обладают сравнительно хорошими защитными свойствами. В ряде случаев химическое пассивирование применяют взамен анодного оксидирования в хромовокислом электролите кремнистых алюминиевых сплавов, что с точки зре-

ния технико-экономической эффективности весьма целесообразно. Поэтому совмещение процессов виброобработки и пассивирования представляет значительный интерес.

Работы, проведенные нами по модификации оксидирующего раствора, показали положительные результаты. Так, при введении в оксидирующий раствор таннина, в количестве 0,5 г. на литр, антикоррозионные свойства покрытия значительно возросли. Можно предположить, что таннин гидролизуясь в растворе переходит в галловую кислоту, которая, взаимодействуя с оксидом алюминия, образует соединения, способствующие повышению коррозионной стойкости покрытия. Есть сведения о том, что таннин способствует повышению электрической прочности покрытия. На рисунке 1 представлено оксидное покрытие, модифицированное таннином после коррозионных испытаний в 3-х % растворе хлорида натрия.

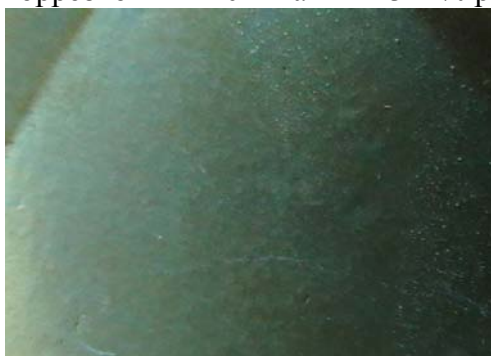


Рисунок 1 – Оксидное покрытие модифицированное таннином, полученное вибрационным способом после 685 часов коррозионных испытаний в 3%-ном растворе хлорида натрия. Материал образцов АДО

Незначительные цветовые изменения оксидной пленки в виде пятен наблюдались после 685 часов испытаний. Коррозионные потери за это время составили 0,16 г/м², что в 1,5 раза меньше, чем без таннина - 462 часа.

Положительные результаты с таннином свидетельствуют о возможности модификации покрытия в процессе его формирования при виброобработке, что является предпосылкой для дальнейших изысканий, с целью повышения качества поверхности и покрытия.

Технологические возможности комбинирования метода виброобработки и оксидирования не ограничиваются только обработкой деталей из алюминия и его сплавов. Значительный интерес представляет совмещение процессов очистки, отделки и нанесения покрытия на детали из меди, алюминия и титана. Этот процесс может быть эффективно применен для обработки фурнитуры, прежде всего мебельной.

Экспериментально установлено, что с применением полиэтиленовых шаров в условиях виброобработки повышается отражательная способность покрытия [3]. Этот эффект в технике получения покрытий очень важен, так как применяемые с этой целью в гальванопроизводстве блескообразующие добавки не утилизируются. Поэтому снижение их количества или исключение из электролита при совмещении процесса позволит улучшить экологическую обстановку и повысить технико-экономические показатели.

Приводимый пример свидетельствует о широких возможностях вибрационных механохимических покрытий. Залогом возможности совмещения процессов является высокое качество подготовки поверхности, обеспечиваемое виброобработкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабичев, А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев. – Часть I, Ростов-на-Дону, 1993.
2. Бабичев, А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев Часть 2, Ростов-на-Дону, 1994.
3. Иванов, В. В. Технология формирования декоративных покрытий на деталях из алюминиевых сплавов в условиях вибрационной обработки / В. В. Иванов В.А. Лебедев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. – №10.

Иванов Владимир Витальевич

Азовский технологический институт (филиал) Донского государственного технического университета
Кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник
Тел: (863-42) 44-2-77
E-mail: ivanov@atidstu.ru

Булгаков Ян Сергеевич

Донской государственный технический университет
Аспирант кафедры «Технология машиностроения»
Тел: 8-926-363-71-95
E-mail: faser_yan@mail.ru

V. V. IVANOV, Y. S. BULGAKOV

**OXIDATION ALUMINIUM AND HIS ALLOYS VIBRATING
MECHANIC-CHEMISTRY IN THE WAY**

The brief review of vibration mechano-chemical covering and samples of practical application of the solid oil on the basis of disulphureous molybdenum, made up under conditions of vibration is given in the article. The traces of straight and oblique impact were defined on the metal with the 1 mkm oxide film.

Keywords: *oxidation aluminium, vibration mechano-chemical covering, oxide film.*

BIBLIOGRAPHY

1. Babichev, A.P. Osnovy vibracionnoj tehnologii / A.P. Babichev. – Chast' I, Rostov-na-Donu, 1993.
2. Babichev, A.P. Osnovy vibracionnoj tehnologii / A.P. Babichev Chast' 2, Rostov-na-Donu, 1994.
3. Ivanov, V. V. Tehnologija formirovanija dekorativnyh pokrytij na detaljah iz aljuminievych splavov v usloviyah vibracionnoj obrabotki / V. V. Ivanov V.A. Lebedev // Uprochnjajuwie tehnologii i pokrytija. – 2005. – №10.

Ivanov Vladimir Vitalievich

Azov technological institute (branch) of Don state technical university
Candidate of technical science, associate professor, senior research assistant
Tel. 863-42-44-2-77
E-mail: ivanov@atidstu.ru

Bulgakov Yan Sergeevich

Don state technical university
Post-graduate student of department “Mechanical-engineering technology”
Tel. 8-926-363-71-95
E-mail: faser_yan@mail.ru

УДК 621.9.047

А.Н. ОСЕКОВ, А.М. КОЗЛОВ, И.Ю. КУЗНЕЦОВ

КОМБИНИРОВАННОЕ МАРКИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОКРЫТИЕМ

В статье рассмотрен механизм формирования информационных знаков, получаемых электрохимическим методом на металлических деталях с диэлектрическим покрытием. Приведены технологические режимы маркирования сплавов с покрытием.

Ключевые слова: диэлектрическое покрытие, электрохимический процесс, технология.

ВВЕДЕНИЕ

Отличительным признаком любого изделия является индекс, содержащий сведения о месте изготовления объекта, порядковом номере, иногда о дате выполнения операции и исполнителе работы.

Главным требованием к наносимой информации является: сохраняемость индексов в течение всего срока эксплуатации (а иногда и хранения) продукции; отсутствие нагрузок, вызывающих деформацию деталей; формирование контура знаков, не создающего концентраторов напряжений и снижающего усталостную прочность материала. В условиях эксплуатации изделий авиационно-космической отрасли (как и в машиностроении) требуется защита деталей от коррозии, улучшение износостойкости контактных поверхностей, придание объектам товарного вида. Чаще всего это достигается путем нанесения металлических и диэлектрических покрытий, толщина которых должна составить не более 0,15-0,20 мм. Металлические покрытия могут быть частью детали (легирование поверхностного слоя, диффузионные слои и др.) Они, как правило, легко поддаются анодной обработке, в том числе нанесению информации [1]. Сложнее обстоит дело с маркированием деталей, имеющих диэлектрические покрытия (лаки, грунтовки, краски, окислы и др.) До последнего времени считалось, что нанесение информации на такие изделия электрохимическим методом не осуществимо. Попытки вскрытия покрытия, например царапанием, не дали положительных результатов, так как многие виды поверхностных слоев при такой операции осыпаются или в них формируются знаки, не отвечающие стандартным требованиям, особенно, если продукция поставляется на экспорт.

Механизм маркирования деталей.

Первые попытки нанесения информации [2] на детали, имеющие покрытия, с высоким электрическим сопротивлением, были сделаны в Воронеже в 80-е годы прошлого века, но они не затронули диэлектрики и не нашли использования в промышленности.

Однако проблема нанесения информации через нетокопроводящий слой становится все более острой, особенно в авиационной и космической отрасли, где в случае летных происшествий необходимо точно установить адрес тех или иных деталей, узлов, агрегатов, имеющие серьезные повреждения, а иногда и утрату диэлектрического покрытия в условиях высоких температур. Если информация наносилась на покрытия, то она может быть безвозвратно утрачена, что вызывает трудности в установлении причин аварий и катастроф.

Ранее узкие штрихи в металлических материалах получали через диэлектрические шаблоны на поверхности деталей [3], где глубина электрохимической обработки могла достигать 0,4-0,5 мм. Однако здесь диэлектрический слой защищал только не обрабатываемую часть детали, а место анодного формирования углубления не имело изоляции. Тем не менее, анализ известных работ [3] в области разделения металлических материалов по диэлектрическим шаблоном позволил обосновать технологически допустимую глубину знаков в металлических заготовках при глубоком маркировании. Здесь этот показатель обычно ограничен 0,1-0,15 мм.

В литературе [1] имеются указания на возможность получения знаков с глубиной до 0,3 мм, но это требует принудительной прокачки электролита и трудно осуществимо в мобильных установках, обычно используемых для глубокого электрохимического маркирования.

Знаки с глубиной 0,10-0,15 мм остаются видимыми даже при повторной окраске (например, при ремонте) изделий, поэтому такая глубина вполне отвечает запросам машиностроения. Получение мелкого (цветного) изображения требует удаления в металле слоя не более 0,02 мм, что не вызывает трудностей, если слой диэлектрического покрытия снят точно по контуру знаков информационных надписей. При этом необходимо обеспечивать точность ширины штриха в пределах допуска на толщину линий знаков. По [4] предельные колебания таких размеров составляют 50мкм для высоты знаков 1,8-5 мм и 70 мкм для последующих размеров шрифтов.

Основную сложность локального удаления диэлектрических покрытий (путем их разрушения электрическими импульсами) представляет управление режимами: напряжения и тока, при которых ширина штрихов в диэлектрике укладывается в стандартные требования по ширине линий формирования знаков с учетом допусков на этот параметр.

В результате пробоя диэлектрика возникает круглое отверстие до металлического материала, который при этом обычно не разрушается, так как тепловое воздействие разряда, в основном, воспринимается низкоплавким и теплоемким покрытием. Диаметр отверстия должен быть равен (с учетом допуска) ширине штриха, что обеспечивается емкостью конденсаторов определяющих время разрушения покрытия и ширину штриха, а шаг между соседними отверстиями должен давать в месте сопряжения отверстий выступы, не превышающие допуска на ширину штриха.

Контур знаков раньше выполнялся с помощью пантографов. В настоящее время эти функции осуществляются по программам, разрабатываемым автоматически. Здесь же закладываются технологические режимы: напряжение на электродах разрядника, емкость конденсаторов, частота следования импульсов, диаметр пятна разряда, шаг между отверстиями в диэлектрике, длительность импульса.

На рисунке 1 показан контур части знака в диэлектрике, полученный серией импульсов в диэлектрическом покрытии. Ширина знака $B=1,3$ мм, высота $H=2,5$ мм, ширина штрихов $h=0,25$ мм, допуск на ширину штрихов $\Delta h=0,05$ мм, тогда радиус отверстий составляет 0,125-0,05мм.

Таким образом, для получения одного отверстия в покрытии с толщиной t , необходимо затратить количество теплоты Q_1 . Если материал покрытия переходит в жидкое состояние, то

$$Q_1 = \lambda \cdot m, \quad (1)$$

где λ – удельная теплота плавления материала покрытия (для термоактивных пластмасс $\lambda = 3,4 \cdot 10^5$ Дж/кг),

m – масса расплавленного материала (находят по диаметру отверстия, глубине знака, плотности материала).

Очевидно, что переход материала в жидкое состояние не гарантирует его выброс, поэтому требуется дополнительный нагрев Q_2 до получения плазмы, которая образуется при температурах более 3500К. Плазма обеспечивает выброс расплавленных продуктов из углубления. Если покрытие горючее, то необходима дополнительная теплота (Q_3) для выгорания расплава в углублении. В этом случае процесс протекает до формирования плазмы. Тогда

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (2)$$

Или

$$Q = Q_1 + Q_3, \quad (3)$$

где $Q_3 = gm$ (здесь q -теплота сгорания материала покрытия, $q=(0,5-1,0) \cdot 10^7$ Дж/кг)

Величина Q_2 находится из выражения

$$Q_2 = \bar{c}m(t_{плз} - t_{пл}), \quad (4)$$

где \bar{c} – удельная теплоемкость материала расплава ($\bar{c}=1000-4000$ Дж/кг),

$t_{плз}$ – температура образования плазмы, $t_{пл}$ - температура плавления материала покрытия.

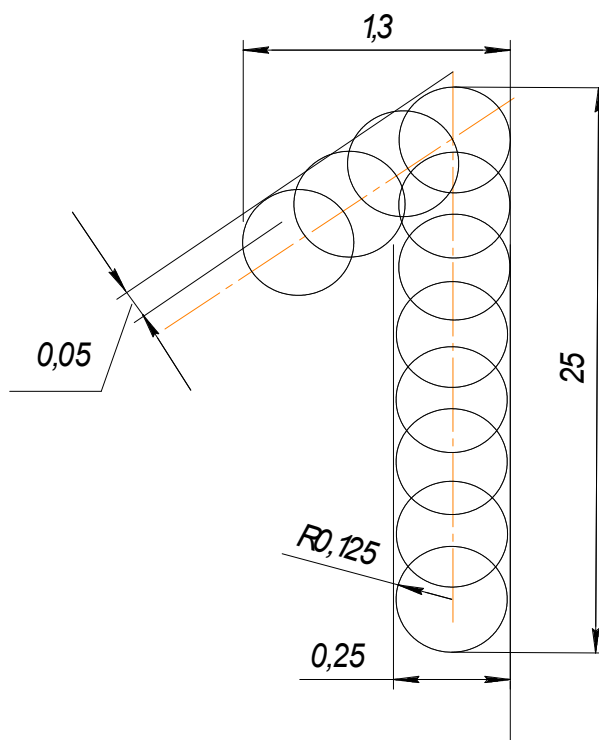


Рисунок 1 – Формирование части стандартного знака в диэлектрическом покрытии толщиной 0,1 мм

Если материал не плавится, то находится количество теплоты для перехода его в возможное агрегатное состояние (например испарение).

Принимая разряд как кратковременный импульс тока, можно не учитывать потери теплоты в окружающее пространство и на нагрев заготовки. Тогда количество теплоты от разряда составит

$$Q_4 = UI \tau_U, \quad (5)$$

где U – напряжение,

I – ток ($I = \frac{U}{R}$), R – сопротивление материала покрытия,

τ_U – время импульса.

По закону Ома сопротивление зависит от удельного сопротивления материала покрытия (ρ), толщины покрытия (t), площади отверстия ($F = \frac{\pi d^2}{4}$) Здесь $d=h$.

До определенной ширины (h) штриха в процессе маркирования можно сразу получить контур знаков, как это показано на рисунке 1. Если ширина штриха более 0,5мм, то потребуются повторный проход разрядником по контуру знаков со сдвигом от первоначального контура до получения нужной ширины (h). Обычно за один проход получают знаки с высотой шрифта до 5 мм.

Приравнявая) $Q = Q_4$, получаем величину напряжения в импульсе.

– для горючих плавящихся покрытий

$$U_1 = \sqrt{\frac{(\lambda + g) \rho \gamma_M t}{\frac{1}{v} - \tau_n}} \quad (6)$$

где γ_M – плотность материала покрытия,

v – частота следования импульсов,

τ_n – время пауз между разрядами.

Частота следования импульсов зависит от их деятельности и параметров разряда [5]

$$v = \frac{1}{2,3RC \log\left(\frac{U_1 - U_k}{U_1 - U_{\text{ПР}}}\right)}, \quad (7)$$

где C – емкость конденсаторов,

U_1 – напряжение на электродах,

U_k – напряжение в конце разряда,

$U_{\text{ПР}}$ – пробивное напряжение.

По [5] $U_k \approx 0$, а $U_{\text{ПР}} = 0,7U_1$.

Приближенно можно принять

$$v = \frac{k_f}{RC}, \quad (8)$$

где k_f – численный коэффициент (можно принять $k_f = 0,837$).

Если частота задана, то емкость конденсаторов

$$C = \frac{k_f}{U \cdot R}, \quad (9)$$

Для такой частоты длительность импульса τ_U

$$\tau_U = \frac{1}{v} - \tau_n = \frac{RC}{k_f} - \tau_n, \quad (10)$$

Длительность пауз оценивается скважностью, обычно соотношение

$\tau_U / \tau_n = 1:1$

Тогда

$$\tau_U = 2 \frac{RC}{k_f}, \quad (11)$$

Формула (6) принимает вид (11). Тогда напряжение пробоя

$$U_1 = \sqrt{\frac{(\lambda + g)\rho\gamma_M tk_f}{2RC}}, \quad (12)$$

Для неплавящихся, но горючих покрытий

$$U_2 = \sqrt{\frac{g\rho\gamma_M tk_f}{2RC}}, \quad (13)$$

Для плавящихся негорючих покрытий

$$U_3 = \sqrt{\frac{[(\lambda + c((t_{\text{нлз}} - t_{\text{нл}}))] + \rho\gamma_M tk_f}{2RC}}, \quad (14)$$

Для неплавящихся негорючих покрытий

$$U_4 = \sqrt{\frac{(\bar{c}(t_{\text{нлз}} - t_0) + \rho\gamma_M tk_f)}{2RC}}, \quad (15)$$

где t_0 – температура окружающей среды

Современные разрядники имеют напряжение в импульсе до 100 мегавольт и способны доводить до плазменного состояния любые известные материалы, в том числе все покрытия.

В формулах (6)-(15) сопротивление (R) материала покрытия

$$R = \frac{4\rho t}{\pi h^2}, \quad (16)$$

Тогда из (9) и (16) можно найти емкость конденсаторов, обеспечивающей получение требуемой ширины штриха (h)

$$C = \frac{k_f \pi h^2}{4\nu\rho t}, \quad (17)$$

Экспериментальные исследования показали, что для покрытий из лака, краски, клея требуется напряжение (рисунок 2) не ниже 30-40 кВ.

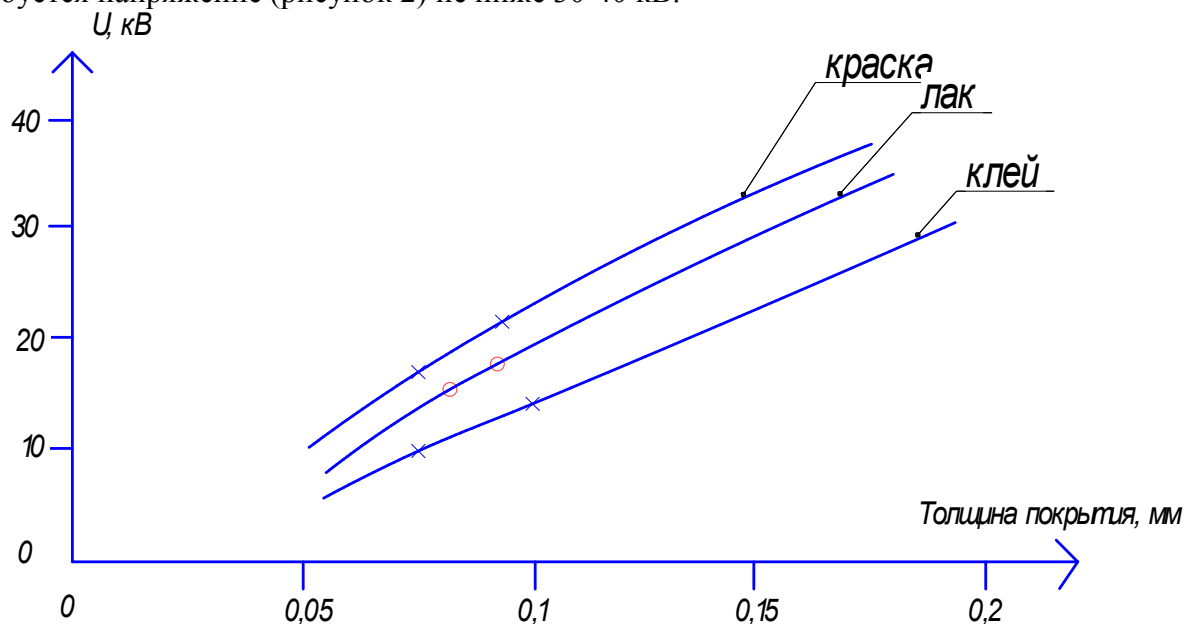


Рисунок 2 – Напряжение разрядника требуемое для получения стандартной ширины штриха

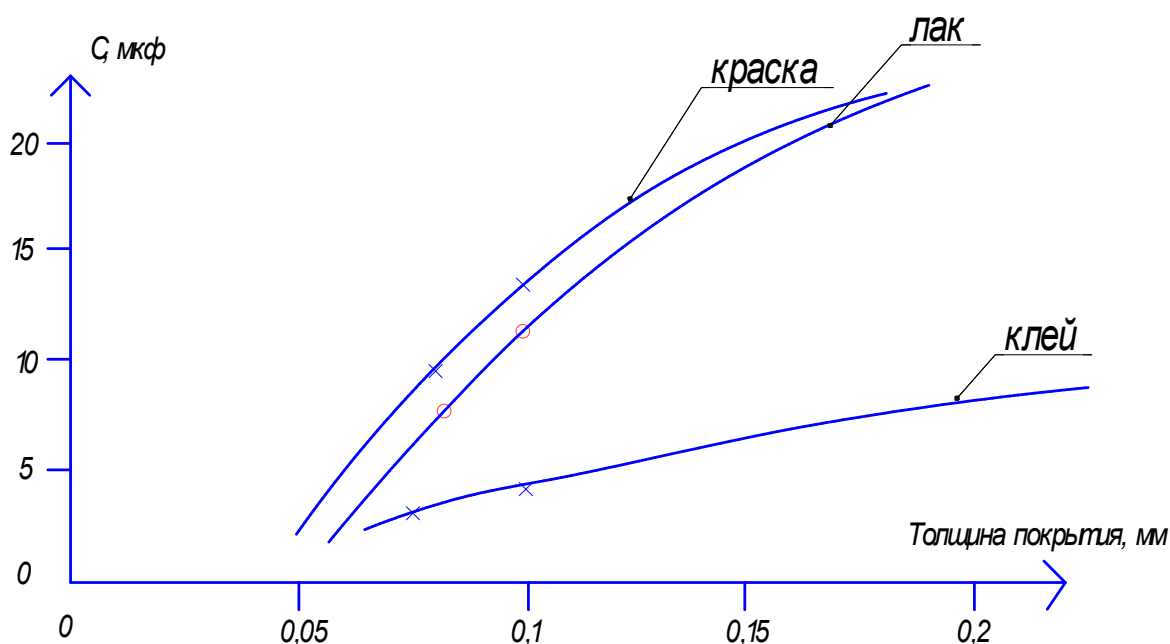


Рисунок 3 – Емкость конденсаторов, обеспечивающая получение штрихов заданной ширины

На рисунках 2, 3 показаны точки, полученные экспериментальным путем. Анализ рисунков показывает, что расхождение результатов расчетов с экспериментальными не превышает 7%, что убедительно подтверждает правомерность предложенных методов расчета режимов обработки материалов с покрытием.

После вскрытия покрытия происходит углубление знака за счет анодного растворения. Таким образом, процесс маркирования сплавов с диэлектрическими покрытиями становится комбинированным, включающим тепловое и химическое воздействие.

Время нанесения цветных знаков при мелком маркировании (глубина до 0,02 мм) не превышает 2,5-3 секунд, из которых сам процесс анодного растворения составляет 0,15-0,8 секунды, а в остальное время происходит осаждение контрастного продукта обработки.

При глубоких знаках (до 0,15-0,25 мм) цветной контрастный осадок не обязателен, хотя его наличие повышает контрастность изображения. Время получения информации с глубиной знака 0,15мм для сталей не превышает 25-30 секунд.

ВЫВОДЫ

1. Решена принципиально новая техническая проблема получения качественных текстов, цифр, изображений на металлических изделиях с диэлектрическим покрытием толщиной до 0,2мм.

2. Разработаны режимы получения контура стандартной информации в покрытиях, что обеспечивает возможность анодного формирования знаков на металлических деталях под слоем покрытия и получать качественную информацию для любых шрифтов высотой от 1,8 до 14 мм.

3. Приведенные материалы могут послужить базой для создания специального оборудования для маркирования деталей с диэлектрическим покрытием. В частности появляется возможность разработки переносных и ручных средств нанесения информации, обеспечивающих получение стандартных изображений, требуемых для экспортной продукции машиностроения и в случае крупногабаритных деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смоленцев, В.П. Электрохимическое маркирование деталей / В.П. Смоленцев, Г.П.Смоленцев, З.Б. Садыков. – М: Машиностроение, 1983. – 72с.
2. А.с. №973271 (СССР). Способ маркирования деталей из токопроводящих материалов / В.П.Смоленцев и др.// Бюл. изобр., 1982, №42
3. Смоленцев, М.Г. Выбор способа разделения листовых материалов / М.Г. Смоленцев // Металлообработка. – 2004. – №4. – С. 6-8.
4. Общетехнический справочник / Под ред. Е.А.Скороходова. – М: Машиностроение, 1990.-496с.
5. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. В 2Т, Т1 / Под ред. В.П. Смоленцева. – М: Высш. шк., 1983.-247с.

Осеков Алексей Николаевич

Липецкий государственный технический университет
аспирант

Дом. адрес: г. Липецк, ул. Физкультурная, д. 12, кв. 28

Тел. раб. (4742) 44-54-55

E-mail: Osekov_an@nlmk.ru

Козлов Александр Михайлович

Липецкий государственный технический университет
профессор

398000, г. Липецк, ул. Московская, 30

E-mail: Osekov_an@nlmk.ru

Кузнецов Илья Юрьевич

Воронежского государственного технического университета
аспирант

394026, г. Воронеж, Московский проспект, д.14,

Тел. (473) 2348-145

A.N. OSEKOV, A.M. KOZLOV, I.Y. KUZNETSOV

COMBINED MARKING OF DIELECTRIC-COATED PARTS

The article covers mechanism of forming information signs that are got by electrochemical method on metal parts with dielectric coatings. Coated alloys marking operating practices are given.

Keywords: dielectric coating, electrochemical process, technology.

BIBLIOGRAPHY

1. Smolencev, V.P. Jelektrohimicheskoe markirovanie detalej / V.P. Smolencev, G.P.Smolencev, Z.B. Sadykov // M: Mashinostroenie, 1983. – 72s.
2. A.s. №973271 (SSSR). Sposob markirovanija detalej iz tokoprovodjajawih materialov / V.P.Smolencev i dr.// Bjul. izobr., 1982, №42
3. Smolencev, M.G. Vybor sposoba razdelenija listovyh materialov / M.G. Smolencev // Metallobrabotka. – 2004. – №4. – S.6-8.
4. Obwetechnicheskij spravochnik / Pod red. E.A.Skorohodova //M: Mashinostroenie, 1990.-496s.
5. Jelektrofizicheskie i jelektrohimicheskie metody obrabotki materialov. V 2T, T1 / Pod red. V.P. Smolenceva // M: Vyssh. shk., 1983.-247s.

Osekov Aleksey Nickolaevich

Lipetsk state technical university

Post-graduate student

Tel: 4742-44-54-55

E-mail: Osekov_an@nlmk.ru

Kozlov Aleksandr Mihaylovich

Lipetsk state technical university

Professor

E-mail: Osekov_an@nlmk.ru

Kuznetsov Ilya Yurievich

Voronezh state technical university, Voronezh

Post-graduate student

Tel: 473-23-48-1-45

В.А. ЯШКОВ, Л.В. СИЛИН

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СОКРАЩЕНИЮ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРИРАБОТКИ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с оптимизацией режимов приработки изделий машиностроения с целью сокращения её продолжительности. Предлагается подход к назначению режима роста нагрузки близкому к предельному, но не допускающему заедания.

Ключевые слова: детали машин, трибологический процесс, финишные методы обработки поверхности трения.

Одной из основных причин, приводящих к постепенным эксплуатационным отказам изделий, является изнашивание их элементов при внешнем трении. Среди проблем повышения общей износостойкости элементов машин большое значение имеют вопросы оптимизации режимов их приработки при вводе изделий в эксплуатацию. Сокращение продолжительности приработки кроме совершенствования ее технологии обеспечивается также конструктивными факторами и, в первую очередь, подбором материалов, обладающих заданными характеристиками прирабатываемости.

Вопросы изучения приработки деталей машин и прирабатываемости их материалов не могут решаться в отрыве от общей теории трения и изнашивания, поэтому при анализе существующих базовых концепций в оценке прирабатываемости и описании физических и математических закономерностей приработки следует опираться на современные достижения в исследовании сложных трибологических процессов.

При приработке обычно протекает сложный комплекс процессов, характерных для трения и изнашивания. При этом различные виды механических, химических и теплофизических явлений в поверхностных слоях протекают, как правило, с явным преобладанием одного или нескольких из них. Известно, что для приработанной пары трения при стационарном изнашивании на любом заданном режиме характерен определенный комплекс параметров трения и изнашивания, являющийся оптимальным применительно к заданным внешним условиям воздействия. В частности, после приработки устанавливается некоторая оптимальная для данного режима микрогеометрия поверхности. Очевидно, что начальное качество поверхности трения, определяемое технологией изготовления, влияет на износостойкость детали в основном только через приработку.

Наиболее общими требованиями, предъявляемыми к приработке, являются обеспечение при отсутствии заедания минимальных значений приработочного износа, продолжительности приработки и скорости изнашивания после ее завершения.

Увеличение внешних нагрузочных воздействий при приработке (действующих усилий, скоростей скольжения и т.п.) на практике производится по ступенчатому или бесступенчатому режимам.

При повышении нагрузки увеличение уровня пластических и упругих деформаций, температуры на поверхностях трения и т.п. приводит к интенсификации процессов, определяющих приработку. Отсюда очевидно, что достаточно интенсивное проведение приработки должно осуществляться при непрерывно растущей нагрузке. Постоянное повышение нагрузки при этом как бы компенсирует постоянное снижение интенсивности протекания приработки. На практике режимы испытаний и режимы стендовых обкаток часто задаются субъективно, что приводит к их большому многообразию и к несопоставимости результатов испытаний.

Основное назначение направленных изменений при приработке состоит в постепенном повышении $Q_{н.с.}$ несущей способности трущихся сопряжений. В процессе приработки это достигается как за счет увеличения контурной поверхности касания A_c (вследствие изнашивания), так и за счет повышения во времени τ несущей способности $P_{н.с.}$ единицы пло-

щади этой поверхности (вследствие улучшения физико – химических и микрогеометрических ее характеристик). В общем случае, функционально нагрузку несущей способности можно представить в виде:

$$Q_{н.с.} = Q(\tau) = A_c(\tau) \cdot P_{н.с.}(\tau)$$

В первую очередь интерес представляет прирабатываемость, как способность пары трения быстро приспосабливаться без заедания к утяжелению внешних нагрузочных воздействий путем изменения $P_{н.с.}$. При этом следует учитывать, что по мере совершенствования технологии изготовления деталей машин значение приработки как фактора устранения макроотклонений, неточности сборки и др. будет уменьшаться, а доля второй составляющей, т.е. повышения несущей способности в процессе приработки за счет направленного изменения физико-химических свойств поверхностей трения и их микро и субмикрогеометрии, возрастает. Способность материала повышать несущую способность за счет увеличения $P_{н.с.}$ при прочих равных условиях приводит к уменьшению приработочного износа, что является положительным фактором.

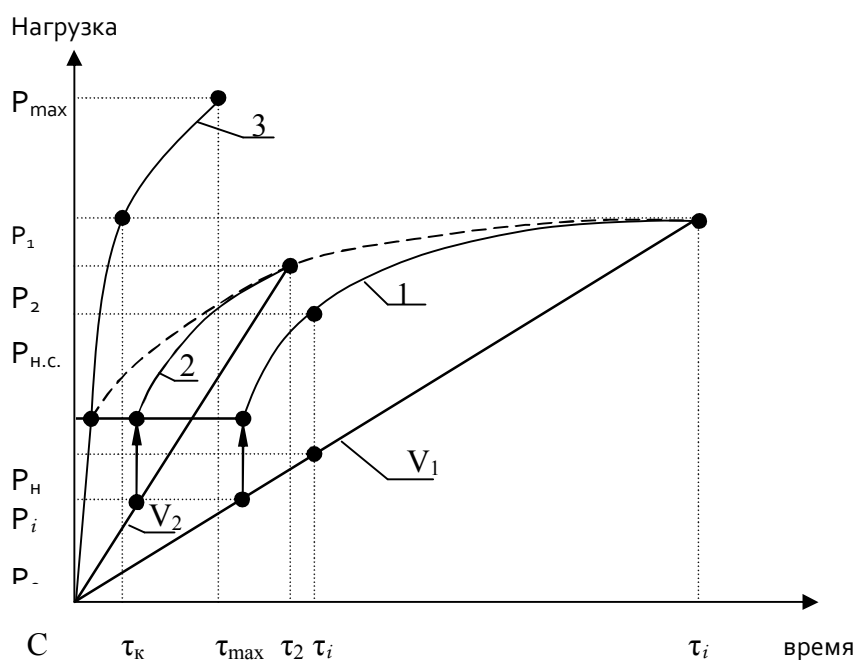


Рисунок 1 – Схема изменения несущей способности при приработке с постоянными скоростями роста нагрузки (линии 1 и 2) и в режиме близком к заеданию (линия 3)

На рисунке 1 схематически показано изменение действующей нагрузки (линии V_1 и V_2) и соответствующей ей несущей способности (линии 1 и 2) для двух скоростей нагружения.

Любому текущему значению действующей нагрузки P_i , в данный момент времени τ_i соответствует вполне определенное значение нагрузки несущей способности $P_{н.с.}$, которое может, быть определено быстрым (в пределах мгновенным) донагружением узла трения до заедания.

До достижения действующей нагрузкой некоторого значения P_0 изменения нагрузки несущей способности P_n практически не происходит, поскольку режим смазки гидродинамический. Значение P_0 определяется начальными условиями и качественными характеристиками поверхностей трения после изготовления, а также характеристиками примененного смазочного материала, тепловым режимом и др.

При различных скоростях нагружения значения нагрузок, приводящих к заеданию (P_1 или P_2) различны. При достаточно больших скоростях нагружения заедание может насту-

пить за очень короткий промежуток времени (практически мгновенно). При малых скоростях роста нагрузки процессы оптимизации характеристик поверхностей трения будут доминировать практически во всех этапах приработки и заедание наступит при нагрузке близкой к нагрузке максимальной несущей способности для данной пары трения.

Было выдвинуто предположение, которое подтвердилось результатами проведенного исследования, что оптимальным в процессе приработки является поддержание нагрузки в любой момент на таком уровне, чтобы обеспечивались условия, когда при большей нагрузке для данной степени приработанности наступает заедание, а при меньшей увеличивается продолжительность приработки.

Данная идея ясна, но ее реализация требует определенного научно – технологического обеспечения. Во-первых – это, кроме «правильного» подбора материалов для пар трения, рациональные и проверенные исследованиями финишные методы обработки поверхностей трения. Такими методами обработки могут быть: ультразвуковая обработка (УЗ-технология), шлифование сборными абразивными кругами, в том числе с подвижными элементами и др.

Вторым, принципиальным подходом к прогрессивной приработке должны явиться нагрузочные режимы с научно обоснованными критериями контроля увеличения нагрузки без заедания. Это могут быть электрическое сопротивление масляного клина между поверхностями трения или методы контроля «сближения» поверхностей или другие критерии.

Исследования в этой области могут быть очень эффективны в плане рационального сокращения периода приработки узлов и изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зелинский, В.В. Структура нагрузочной способности подшипников скольжения / В.В. Зелинский, А.А. Лобанов, Л.В. Силин // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности: материалы науч. работ.* Вып.1. – Муром: Изд. – полиграфический центр МИ ВлГУ, 2002.
2. Яшков, В.А. Технологическое обеспечение качества поверхности при внутреннем шлифовании / В.А. Яшков, Л.В. Силин // *Новые методы и технологии в машиностроении: материалы международной научно-технической конференции.* Выпуск 7 – Брянск: БГИТА, 2007.
3. Карасик, И.И. Оценка прирабатываемости материалов по предельным режимам нагружения / И.И. Карасик, Л.В. Силин // *«Экспресс – стандарт», 1972. – №20.*
4. Карасик, И.И. Оптимизация режима нагружения при приработке / И.И. Карасик, Л.В. Силин // *«Экспресс - стандарт», 1974. – №51.*
5. Карасик, И.И. Оптимизация режима нагружения при приработке / И.И. Карасик, Л.В. Силин // *«Экспресс - стандарт», 1974. – №51.*
6. Карасик, И.И. Оптимизация режима приработки антифрикционных материалов / И.И. Карасик, Л.В. Силин // *«Вестник машиностроения», 1974. – №12.*

Яшков Валентин Александрович

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
Старший преподаватель, соискатель
Тел.: (49234) 77-1-01
Факс: (49234) 77-1-28
E-mail: zirjd@mail.ru

Силин Леонид Владимирович

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
Кандидат технических наук, доцент
Тел.: (49234) 77-1-01
Факс: (49234) 77-1-28
E-mail: Oid@Mivlgu.ru

V.A. YASHKOV, L.V.SILIN

THE TECHNOLOGICAL APPROACH TO REDUCTION OF DURATION EXTRA EARNINGS

The article addresses issues related to the optimization mode break-engineering products to reduce its duration. An approach to the assignment mode to load growth which is close to the limit, but not permitting jamming.

Keywords: *details of machines, tribologic process, finishing methods of processing of a surface of friction.*

BIBLIOGRAPHY

1. Zelinskij, V.V. Struktura nagruzochnoj sposobnosti podshipnikov skol'zhenija / V.V. Zelinskij, A.A. Lobanov, L.V. Silin // Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti: materialy nauch. robot. Vyp.1. – Murom: Izd. – poligraficheskij centr MI VIGU, 2002.
2. Jashkov, V.A. Tehnologicheskoe obespechenie kachestva poverhnosti pri vnutrennem shlifovanii / V.A. Jashkov, L.V. Silin // Novye metody i tehnologii v mashinostroenii: materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Vypusk 7 – Brjansk: BGITA, 2007.
3. Karasik, I.I. Ocenka prirabatyvaemosti materialov po predel'nyh rezhimam nagruzenija / I.I. Karasik, L.V. Silin // «Jekspress – standart», 1972. – №20.
4. Karasik, I.I. Optimizacija rezhima nagruzenija pri prirabotke / I.I. Karasik, L.V. Silin // «Jekspress – standart», 1974. – №51.
5. Karasik, I.I. Optimizacija rezhima nagruzenija pri prirabotke / I.I. Karasik, L.V. Silin // «Jekspress – standart», 1974. – №51.
6. Karasik, I.I. Optimizacija rezhima prirabotki antifrikcionnyh materialov / I.I. Karasik, L.V. Silin // «Vestnik mashinostroenija», 1974. – №12.

Yashkov Valentin Aleksandrovich

Murom institute (branch) of Vladimir state university
Senior teacher, candidate for a degree
Tel: 49234-77-1-01
Fax: 49234-77-1-28
E-mail: zirjd@mail.ru

Silin Leonid Vladimirovich

Murom institute (branch) of Vladimir state university
Candidate of technical science, associate professor
Tel: 49234-77-1-01
Fax: 49234-77-1-28
E-mail: Oid@Mivlgu.ru

ИННОВАЦИИ И КАДРЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 378.14

Н.Г. КАЛАШНИКОВА, М.В. БОРЗОВА

МОДУЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕПОДАВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

Статья посвящена вопросам повышения эффективности качества обучения графическим дисциплинам при переходе к модульному обучению в связи с модернизацией системы высшего профессионального образования и переходом к новым ФГОС ВПО. В статье определена роль графических дисциплин в системе современного высшего технического образования, обоснована необходимость перехода к инновационным методам преподавания, предложен подход к разработке структуры модульных учебных рабочих программ графических дисциплин по направлениям подготовки бакалавров. Приведены примеры построения модульных образовательных программ для различных направлений и профилей обучения на основе унифицированных модулей, предложена модульная структура организации учебного процесса для графических дисциплин.

Ключевые слова: модернизация системы высшего профессионального образования, модульное обучение, графические дисциплины, модульные учебные рабочие программы

Исторически сложилось, что основой любого технического образования являются фундаментальные дисциплины, к которым можно отнести дисциплины графического блока «Начертательная геометрия», «Инженерная графика». В широком смысле графические дисциплины содержат в себе методологические основы отображения реального мира, базирующиеся на различных визуальных технологиях. Графические изображения являются результатом творческой деятельности человека, способом образного познания реальности. Они соединяют в единый процесс образное и логическое мышление. Метод изображений широко применяется в самых различных областях знаний. Визуальный канал восприятия и передачи информации является одним из наиболее эффективных способов невербального делового общения специалистов с помощью графических изображений. Из всего многообразия знаковых систем язык графических изображений является наиболее удачным в представлении научно-технической информации, что позволяет ему стать профессионально-ориентированным языком в инжиниринге. Это – международный язык общения, не требующий перевода, точный, наглядный и лаконичный. Особую значимость он приобрел благодаря развитию компьютерной графики и ее повсеместному использованию в процессе производства и проектирования. По результатам исследований международной компании «CAD/CAM/CAE/GIS/Industry Service» в технике объем процесса проектирования на 92% строится на графических изображениях и только 8% составляют математика, вербальное и письменное общение.

Визуализация окружающего нас пространства имеет свои конструктивные элементы (визуальный ряд графических фигур – точек, отрезков прямых и дуг, плоских кривых линий) и определенные правила их построения. Закономерности построения изображений и технических чертежей сформулированы на основе методов проецирования, правил и стандартов оформления конструкторских документов.

Инновационное развитие производства, внедрение информационных технологий во всех областях техники и технологии требуют визуальной образованности и графической грамотности инженеров. Графическая культура становится второй грамотностью, одной из составляющих профессиональной инженерной компетентности.

В социальном плане владение графическим языком играет коммуникативную роль, разрешая без помощи слов проблему понимания, позволяет наглядно отображать любые

объекты и процессы, излагать мысли в виде графических образов. В личностном плане визуальная образованность способствует развитию творческого мышления, что дает специалисту дополнительный шанс к достижению успеха в мире конкуренции.

В процессе обучения графические дисциплины обеспечивают студента необходимым объемом фундаментальных инженерно-геометрических знаний, которые, прежде всего, создают необходимую основу для изучения других базовых дисциплин, таких как теоретическая механика, сопромат, теория машин и механизмов, детали машин и других конструкторско-технологических специальных дисциплин, а также позволяют приобрести новые знания в области компьютерной графики и геометрического моделирования. Навыки, полученные в процессе обучения (умение выполнять эскизы, читать чертежи, работать с популярными графическими программными продуктами) создают дополнительные конкурентные преимущества выпускникам на рынке труда.

Блок инженерно-графических дисциплин: «Начертательная геометрия», «Инженерная графика», «Компьютерная графика», «Основы САПР» занимает важное место в обеспечении качества инженерно-технической подготовки специалистов. Содержание и объем часов, отводимых на их изучение, должны обеспечивать формирование базовых знаний, необходимых студентам для успешного усвоения общеинженерных и специальных дисциплин, включенных в учебные планы, а также быструю адаптацию выпускников вузов в дальнейшей профессиональной деятельности. Традиционная практика составления рабочих программ по инженерным дисциплинам не отражает изменений, происходящих в современной высшей школе и производственной сфере. В разработке рабочих программ используется, как правило, эвристический принцип обоснования содержания их разделов, базирующийся на опыте преподавателя, аналогиях, устаревших моделях. Такой подход во многом субъективен, слабо учитывает специфику специализации, современные инновационные образовательные технологии, изменения требований к конкретной инженерной деятельности. Все это снижает эффективность подготовки специалистов, создает дополнительные затруднения в освоении предметов студентами, что приобретает дополнительное значение в условиях реально возникающей конкуренции технических вузов.

Модернизация системы высшего профессионального образования требует корректировки традиционных подходов к преподаванию общетехнических дисциплин, в частности начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики. В документах реформирования российской системы профессионального образования «Концепция Федеральной целевой программы развития образования на 2006-2010 годы» и «Стратегия Российской Федерации в области развития науки и инноваций на период до 2010 года» ведущая роль отводится, в том числе, следующим аспектам:

- компетентностному подходу в профессиональном образовании, ориентированному на личностно-значимые и практические результаты;
- модульному обучению, которое становится стратегической глобальной технологией в условиях реализации компетентностного подхода [1].

В связи с переходом на новые федеральные государственные образовательные стандарты третьего поколения, построенные на концепции компетентностного подхода, возникает необходимость поиска новых решений формирования рабочих учебных планов и рабочих программ дисциплин, определения набора дисциплин базовой и вариативной части, наполнение содержания отдельных дисциплин и их взаимосвязи в составе программы. Кроме того, возникла необходимость оптимизации учебной нагрузки путем объединения групп различных направлений подготовки бакалавров и магистров в потоки для повышения эффективности учебного процесса. Переход на модульное обучение представляется весьма перспективным для повышения качества подготовки студентов технического вуза и эффективности усвоения учебного материала графических дисциплин. Особенности модульного обучения делают его наиболее востребованным в условиях для динамичной и информационно насыщенной системы образования. Оно дает возможность разделить содержание учебного курса на тематически законченные блоки информации, имеющие самостоятельное методическое

обеспечение, усвоение которых осуществляется в соответствии с поставленной целью. Вариация наборов учебных модулей позволяет обеспечить индивидуальность в обучении, гибкость и приспособляемость к конкретным условиям, построить индивидуальные образовательные маршруты или траектории для студентов различных направлений и специализаций.

Основным понятием модульного обучения является понятие модуля. На сегодняшний день в специальной литературе определению понятие модуля имеет несколько определений. Для организации учебного процесса наиболее подходящим является значение модуля как некоторый объем учебного материала в рамках одной учебной дисциплины. Под модулем может пониматься часть предмета, дидактическая единица по величине равная одной или нескольким темам учебного курса. [2]. Так, модулем учебной дисциплины может являться логически завершенная часть семестрового курса (раздела, главы, темы), которая заканчивается определенным видом контроля. Модули могут охватывать несколько разделов дисциплины, расчетно-графические, курсовые, зачетные работы. При данном подходе модуль – это структурированная, логически завершенная единица учебной программы, имеющая конкретные цели обучения, программу и методическое руководство, обеспечивающее достижение поставленных целей. Обязательной составляющей учебного модуля является оценивание уровня его освоения обучающимися, что дает возможность рассредоточить в течение семестра контрольные мероприятия, стимулируя студентов к регулярной работе на протяжении всего периода обучения. [3].

МОДУЛИ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН																				
НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ								ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА				МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ЧЕРЧЕНИЕ		СТРОИТЕЛЬНОЕ ЧЕРЧЕНИЕ		КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА				ОСНОВЫ САПР
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Методы проецирования. Проекции фигур	Позиционные и метрические задачи	Способы преобразования чертежа	Поверхности	Взаимное расположение поверхностей	Проекция с числовыми отметками	Перспективные проекции	Аксонметрические проекции	Основные сведения по выполнению чертежей	Изображения на технических чертежах	Изображения соединений	Конструкторские документы	Рабочие чертежи и эскизы. Сборочный чертеж	Деталирование сборочного чертежа	Строительные чертежи	Чертежи инженерных сетей	Основы компьютерной графики	Работа с КОМПАС	Работа с AutoCAD	Деловая графика	Основы САПР
НГ1	НГ2	НГ3	НГ4	НГ5	НГ6	НГ7	НГ8	ИГ1	ИГ2	ИГ3	ИГ4	МЧ1	МЧ2	СЧ1	СЧ2	КГ1	КГ2	КГ3	КГ4	САПР1

Рисунок 1 – Модульная структура блока графических дисциплин

Переход на модульное обучение связан с разработкой модульных программ и учебных модулей, а также с решением проблемы определения актуального содержания геометрографической подготовки студентов технического вуза. Авторами предлагается модульная схема организации учебного процесса блока графических дисциплин для различных направлений подготовки бакалавров, основанная на современных образовательных и информационных технологиях. Материал полного традиционного курса обучения, состоящего из графических дисциплин: «Начертательная геометрия», «Инженерная графика», «Компьютерная графика», «Основы САПР», а также различных специальных курсов, необходимых для узкой профессиональной подготовки, преобразуется в набор базовых модулей. Примерная структура такого курса показана на рисунке 1.

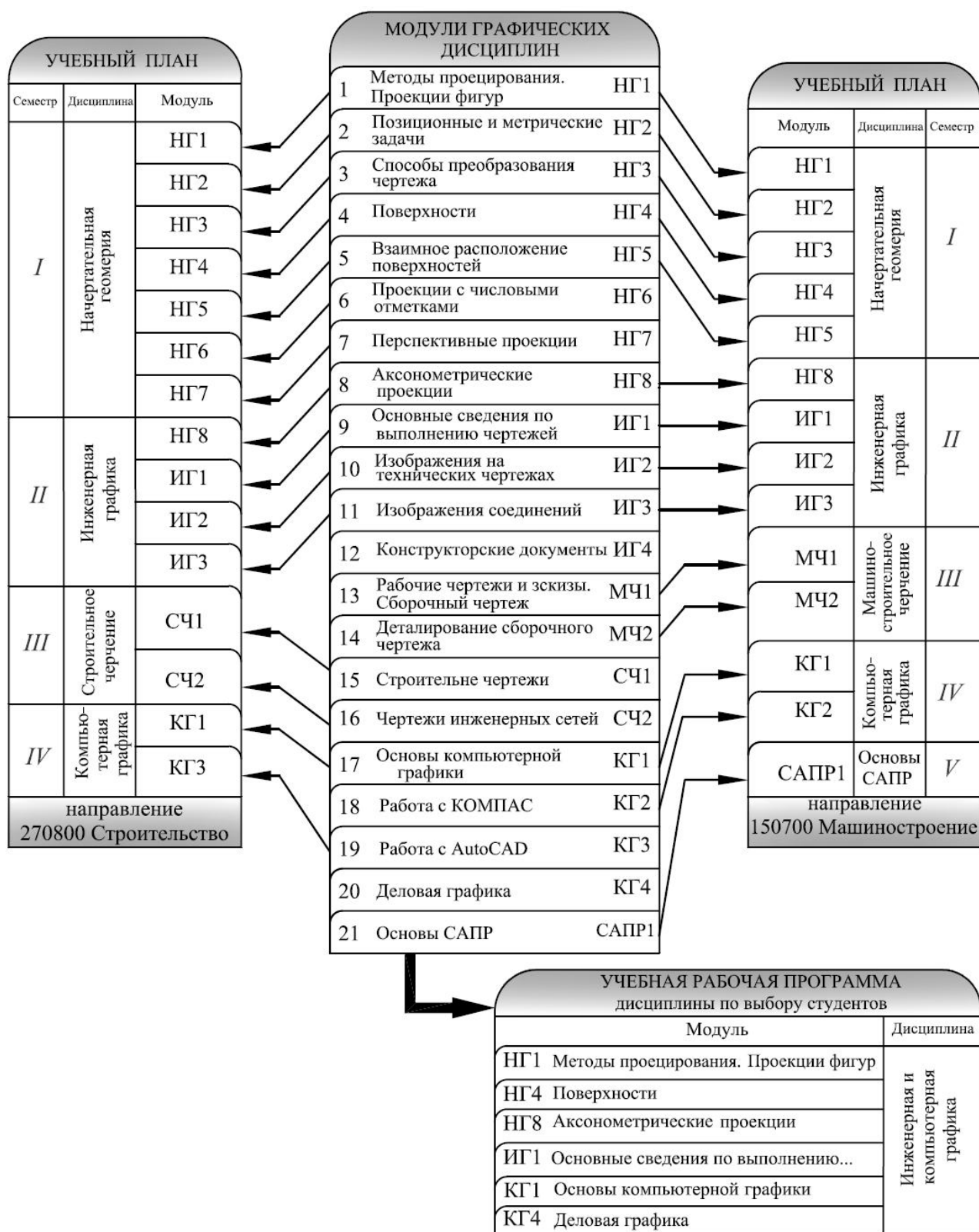


Рисунок 2 – Проектирование рабочих учебных планов направлений

Каждый модуль включает в себя структурированный, логически завершенный объем материала, представляющий самостоятельную учебную дидактическую единицу, целевую программу действий учащегося, методические рекомендации по ее успешной реализации. По окончании изучения модуля предусматривается проведение модульного контроля. Трудоемкость модуля определяется в зачетных единицах. Содержание модуля разрабатывается веду-

щими преподавателями кафедры, обсуждается и утверждается на заседаниях учебно-методического семинара.

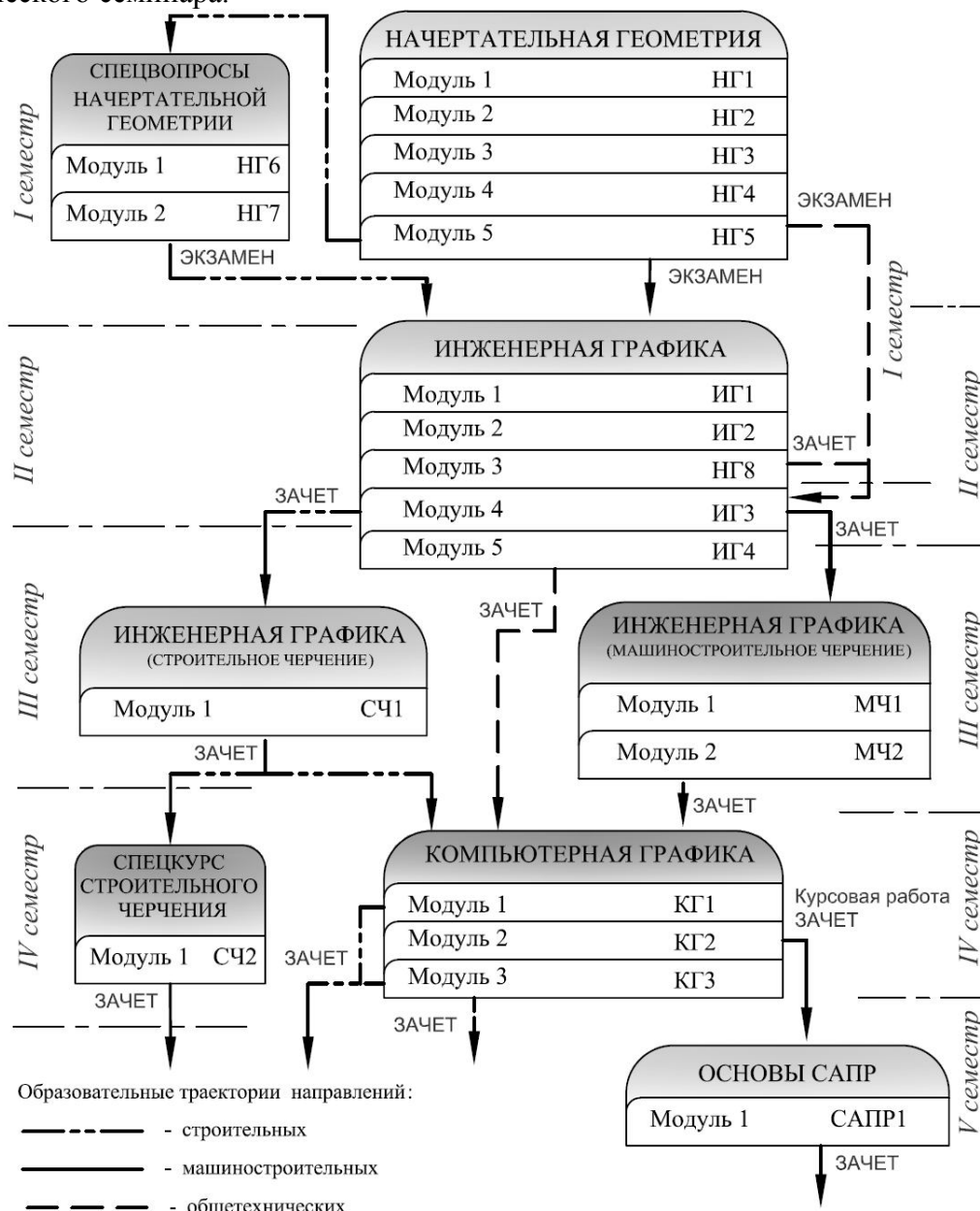


Рисунок 3 – Модульная структура учебного процесса блока графических дисциплин

На каждый модуль разрабатывается учебно-методический комплекс: учебная рабочая программа модуля, конспект лекций, демонстрационный мультимедийный курс, задания для аудиторной и самостоятельной работы, методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов, вопросы и задания для модульного контроля. Модульная структура организации учебного процесса создает дополнительные предпосылки для реализации балльно-рейтинговой системы оценки знаний в преподавании графических дисциплин, так как в каждом модуле определяется структура балльной оценки.

Формирование рабочих программ учебных дисциплин и рабочих учебных планов для отдельных направлений подготовки бакалавров ведется в соответствии с ФГОС ВПО данного направления. Набор модулей и объединение их в учебные дисциплины зависит от содержания компетенций, заложенных в стандарте. Модульная структура курса формируется совместно с выпускающими кафедрами и деканатом при проектировании рабочего учебного плана. Проектирование учебного плана с позиции модульных технологий позволяет индивидуализировать процесс подготовки специалиста путем разработки индивидуальных образо-

вательных траекторий обучения, в том числе для формирования содержания и реализации дисциплин по выбору студентов (элективных курсов). Пример формирования учебных планов для строительных и машиностроительных направлений подготовки бакалавров и построения программы элективного курса приведен на рисунке 2.

Схема организации учебного процесса в соответствии с модульными технологиями приведена на рисунке 3. В зависимости от наполнения курса обучение графическим дисциплинам может продолжаться от одного до пяти семестров. Преподавание отдельных дисциплин организуется, как правило, последовательно, но возможно параллельное преподавание некоторых дисциплин в одном семестре, что отражено на схеме.

Развитие современных образовательных технологий – это непрерывный процесс, обусловленный развитием промышленных и информационных технологий, социальными процессами, происходящими в обществе. Модульная структура организации учебного процесса графических дисциплин позволяет наиболее оперативно реагировать на происходящие изменения и обеспечивать качественную инженерную подготовку специалистов. Проектирование рабочих учебных планов и рабочих программ по блоку графических дисциплин («Начертательная геометрия», «Инженерная графика», «Компьютерная графика», «Основы САПР») с позиции модульного обучения позволяет индивидуализировать процесс подготовки бакалавров по разным направлениям и обеспечивает высокую степень гибкости к конкретным организационным и технологическим условиям. Такой способ организации учебного процесса создает предпосылки создания модульных учебно-методических разработок единых для различных специализаций и форм обучения, а также возможность изменять и совершенствовать модули без изменения общей структуры программы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капустина, Г.Ю. Теория и практика реализации модульного подхода в компетентностно-ориентированном профессиональном образовании. Педагогический колледж №7 «Маросейка» / Г.Ю. Капустина, С.В. Обоева // Научно-методические рекомендации под редакцией проф. Симонова В.П., М., 2010. – 82 с.
2. Юцявичене, П. Теория и практика модульного обучения / П. Юцявичене. – Каунас: Швиеса, 1989. – 272 с.
3. Караваева, Е.В. Методические рекомендации по применению системы зачетных единиц при проектировании основных образовательных программ на основе ФГОС ВПО и самостоятельно устанавливаемых вузами образовательных стандартов / Караваева Е.В., Ковтун Е.Н., Родионова С.Е. – М., – ООО «Издательство «КДУ», – 2011. – 29с.

Калашникова Наталья Григорьевна

ФГОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная графика и САПР»
Тел.: +7(4862) 43-58-94
E-mail: naka.61@mail.ru

Борзова Марина Вячеславовна

ФГОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Старший преподаватель кафедры «Инженерная графика и САПР»
Тел.: +7(4862) 41-98-41

N.G. KALASHNIKOVA, M.V. BORZOVA

MODULAR TECHNOLOGIES FOR TEACHING GRAPHIC DISCIPLINES

The article is devoted to the questions of increase of effectiveness of graphic disciplines teaching quality at the transition to the modular education in connection with modernization of the higher professional educational system and the transition to the new Federal State Educational Standards of Higher Professional Training. The article defines the role of graphic disciplines in the system of modern higher technical education. The article motivates the necessity of transition to innovative

teaching methods and suggests the approach to structure development of modular working programs for graphic disciplines in the Bachelors training directions. The gives the examples of modular educational programs compositions for different directions and profiles of education on the basis of unified modules and suggests the modular structure of teaching process organization for graphic disciplines.

Keywords: *modernization of the higher professional educational system, modular education, graphic disciplines, modular working programs.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kapustina, G.Ju. Teorija i praktika realizacii modul'nogo podhoda v kompetentnostno-orientirovannom professional'nom obrazovanii. Pedagogicheskij kolledzh №7 «Marosejka» / G.Ju. Kapusti-na, S.V. Oboeva // Nauchno-metodicheskie rekomendacii pod redakciej prof. Simonova V.P., M., 2010. – 82 s.
2. Jucjavichene, P. Teorija i praktika modul'nogo obuchenija / P. Jucjavichene. – Kaunas: Shviesa, 1989. – 272 s.
3. Karavaeva, E.V. Metodicheskie rekomendacii po primeneniju sistemy zachetnyh edinic pri proek-tirovanii osnovnyh obrazovatel'nyh programm na osnove FGOS VPO i samostojatel'no ustanavlivaemyh vuzami obrazovatel'nyh standartov / Karavaeva E.V., Kovtun E.N., Rodionova S.E. – M., – ООО «Izdatel'stvo «KDU», – 2011. – 29s.

Kalashnikova Natalia Grigorievna

State University – Education Science Production Complex, Orel

Candidate of technical science, associate professor of department “Engineering graphics and CAD system”

Tel: 4862-43-58-94

E-mail: naka.61@mail.ru

Borzova Marina Vyacheslavovna

State University – Education Science Production Complex, Orel

Senior teacher of department “Engineering graphics and CAD system”

Tel: 4862-41-98-41

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ **И БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

УДК 620.179.1.082.7:658.58

В.В. МИШИН, К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ, В.В. МАРКОВ

ПРИБОРНАЯ БАЗА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ

Представлено описание приборной базы для реализации комплексных методов диагностирования подшипников качения. В качестве диагностических параметров используются параметры электрической проводимости смазочной пленки в трибосопряжениях подшипника, вибромеханические, кинематические параметры и сигналы термо- и трибоЭДС в зонах трения.

Ключевые слова: диагностирование, подшипник, сопротивление трибосопряжения, подшипниковый узел.

Процессы в зонах трения работающего подшипника качения или скольжения носят сложный характер, поэтому получение достоверной количественной оценки о состоянии фрикционного контакта и узла трения в целом является сложной диагностической задачей. Это обуславливает принципиальную невозможность получения исчерпывающей информации о состоянии объекта при использовании только одного из методов диагностирования. Каждый метод лишь в большей или меньшей степени характеризует те или иные стороны процессов взаимодействия отдельных деталей пары трения, и, в зависимости от конкретной задачи, может быть более или менее эффективным. Одним из эффективных путей повышения достоверности диагностирования подшипников является комплексный подход, заключающийся в совместном использовании для оценки состояния объекта различных методов диагностирования, основанных на различных физических принципах. Такой подход позволяет разрабатывать новые комплексные методы получения и оценки диагностической информации о процессах в подшипнике с последующим получением информации, требуемой для прогнозирования состояния подшипника на всех стадиях его жизненного цикла [1].

Данная работа посвящена описанию приборной базы для реализации комплексного метода диагностирования, основанного на информации из зон трения деталей подшипника, получаемой преимущественно электрическим методом, основанном на оценке временных функций электрического сопротивления (проводимости) подшипника. Для повышения достоверности результатов диагностирования в качестве дополнительного источника диагностической информации используются вибромеханические процессы в подшипнике.

Электрические методы диагностирования в основной массе основаны на оценке параметров процесса микроконтактирования деталей подшипника. При этом отдельные микроконтактирования оцениваются по параметрам импульсов проводимости подшипника. Общепринято, что состояние подшипника, классифицируемое как микроконтактирование, фиксируется по снижению его электрического сопротивления до уровня 10 - 50 Ом, что свидетельствует о разрушении гидродинамической смазочной пленки в зонах трения деталей.

Так же при диагностировании определяется средняя частота или средняя длительность микроконтактирований. Но каждый из этих параметров в отдельности не характеризует однозначно состояние подшипника, поскольку частота не учитывает длительности микроконтактирований, а длительность импульсов – их количество. Указанных недостатков лишен метод, основанный на применении диагностического параметра - нормированное интегральное время (НИВ) микроконтактирования. Численно параметр равен отношению суммарной (интегральной) длительности импульсов проводимости, соответствующих разрушениям смазочной пленки в контактных зонах деталей подшипника, ко времени измерения:

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i}{T_u} = \sum_{i=1}^n (t_{\kappa_i} - t_{\eta_i}) / T_u, \quad (1)$$

где τ_i – длительность i -го импульса проводимости (микроконтактирования);

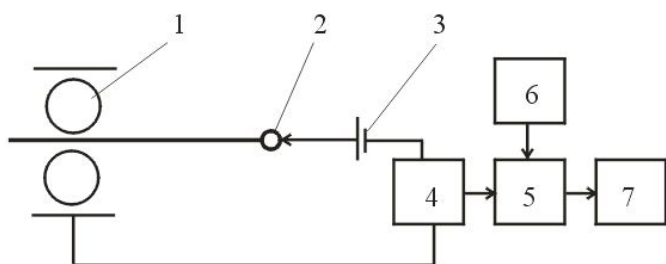
T_u – время измерения;

n – количество импульсов проводимости за время T_u ;

$t_{\kappa(n)i}$ – время конца(начала) i -ого импульса проводимости (микроконтактирования).

Практически НИВ равно относительному времени разрушения смазочной пленки в контактных зонах деталей. При этом учитывается как длительность каждого отдельного микроконтактирования, так и частота их следования. Таким образом, данный параметр является статистической оценкой вероятности микроконтактирования в подшипнике.

При оценке значения вероятности микроконтактирования путем инструментального измерения параметра НИВ, кольца подшипника включаются в электрическую цепь (рис. 1), позволяющую преобразовать импульсы проводимости подшипника в импульсы напряжения. Эту роль обычно выполняют входные устройства в виде делителей напряжения или мостовых схем, одним из плеч которых является подшипник. Введение в измерительную цепь порогового элемента, обеспечивает формирование на выходе схемы импульсов прямоугольной формы с длительностью, равной времени разрушения смазочной пленки. Следовательно, появляется возможность измерения относительного времени микроконтактирования [1].



1 - подшипник; 2 - токосъемник; 3 - источник напряжения;
4 - формирователь импульсов; 5 - временной селектор;
6- генератор; 7 - счетчик

Рисунок 1 – Принцип построения средств диагностирования

Длительность микроконтактирования измеряется методом последовательного счета путем заполнения импульсов напряжения высокочастотными импульсами генератора опорной частоты с последующим их счетом за некоторое время измерения T_u .

В результате определяется относительное время микроконтактирования K (параметр НИВ) в соответствии с выражением:

$$K = \frac{N_u}{N_3} = \frac{N_u T_3}{N_3 T_3} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (\tau_i) \right)}{T_u}, \quad (2)$$

где N_u – количество импульсов генератора, заполнивших импульсы напряжения, соответствующие микроконтактированию;

N_3 – общее число импульсов заполнения, выработанных генератором за время измерения T_u ;

T_3 – период импульсов генератора опорной частоты.

Измеренное значение K является статистической оценкой вероятности микроконтактирования, которая при $N_3 \rightarrow \infty$ сходится по вероятности к вероятности микроконтактирования:

$$\lim_{N_3 \rightarrow \infty} K = P_{\kappa}. \quad (3)$$

В качестве измерительного оборудования для оценки временных функций вероятности микроконтактирования, оцениваемой по диагностическому параметру НИВ предлагается использовать аналоговый модуль преобразования параметров импульсов микроконтактиро-

вания в аналоговый унифицированный сигнал. Структурная схема модуля представлена на рисунке 2, внешний вид макета в обычном исполнении и с SMD монтажом – на рисунке 3.

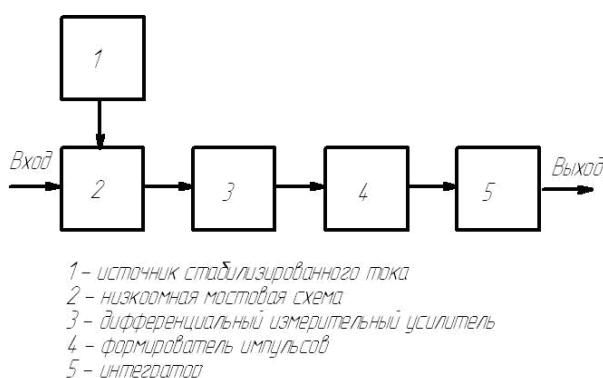


Рисунок 2 – Структурная схема модуля



Рисунок 3 – Внешний вид макета модуля измерения НИВ

Модуль имеет следующие характеристики:

Время ($T_{и}$) измерения НИВ, с	0,01 до 10
Порог срабатывания по сопротивлению ($R_{пор}$), Ом	70±15
Минимальная длительность учитываемых импульсов микроконтактирования, мкс, не более	0,1
Значение опорного напряжения на объекте, мВ:	150±20
Выходной сигнал	
1) импульсный сигнал напряжения, В	от 0 до 2,5
2) временной аналоговый сигнал напряжения, В	±10
Габаритные размеры (корпуса измерителя), мм, не более	80x90x40
Масса, кг, не более	0,2

Модуль работает следующим образом. При работе трибосопряжения подшипника его детали разделены изолирующим слоем смазочного материала. При разрыве смазочной пленки (микроконтактировании) электрическое сопротивление между деталями резко падает (увеличивается проводимость). В рассматриваемом модуле трибосопряжение через соединительные кабели включено в мостовую схему 2 (рис. 2) в качестве одного из её плеч. Особенностью схемы является низкое сопротивление резисторов плеч (не более 30 Ом). Такой выбор значения сопротивлений позволяет максимально снизить входное сопротивление модуля, что в значительной мере повышает помехозащищенность за счет подавления на низком входном сопротивлении по отношению к трибосопряжению помех и собственных ЭДС (тер-

мо, трибо) работающего трибосопряжения. Для улучшения метрологических характеристик модуля мостовая схема питается от источника 1 стабильного тока. Выбор элементной базы источника тока позволяет обеспечить стабильность выходного тока при высокой частоте изменения сопротивления плеч мостовой схемы. Данный фактор снижает вероятность получения ошибочных результатов измерения.

Мостовая схема преобразует электрическое сопротивление трибосопряжения в дифференциальное напряжение, усиливаемое далее дифференциальным инструментальным усилителем 3. Элементная база дифференциального усилителя обеспечивает широкий частотный диапазон (сотни МГц) и высокие импульсные характеристики (скорость нарастания выходного сигнала 2,4 КВ/мкс). Такой усилитель вносит минимальные искажения в регистрируемые импульсы сопротивления. Выходной сигнал с дифференциального усилителя поступает на формирователь 4 импульсов, который формирует на своем выходе импульс напряжения с нормированной амплитудой при достижении измеряемого сопротивления порогового значения (70 -75 Ом). Длительность импульса выходного напряжения формирователя равна длительности импульса проводимости (микрореконтактирования) в исследуемом трибосопряжении. С выхода формирователя импульсов сигнал поступает на интегрирующую цепочку 5, которая в зависимости от длительности входных импульсов и времени интегрирования на выходе формирует аналоговое напряжение, пропорциональное суммарной длительности микрореконтактирования (вероятности микрореконтактирования). Далее унифицированный аналоговый сигнал регистрируется с помощью аналого-цифрового преобразователя в ЭВМ. Для этого используется цифровой модуль для регистрации сигналов DSO 2090, обладающий следующими характеристиками и преимуществами:

- интерфейс USB 2.0 (не требует внешнего питания);
- малые габариты -размер (мм):190(длина) x100(ширина) x35(высота);
- высокая производительность, частота дискретизации 100 МГц (100 Мвыб/с) в реальном времени, полоса пропускания 40МГц;
- ОС: Windows98, Windows Me, Windows NT, Windows 2000, Windows XP, VISTA;
- 23 функции измерения, самопроверка;
- средняя форма сигнала, интенсивность, инвертирование, эмуляция электронного люминофора, сложение, вычитание, умножение, деление, X-Y график;
- сохранение сигнала в следующие форматы: текстовый, jpg/bmp, MS excel/word file;
- FFT;
- поддержка Labview\VB\VC\Delphi\C++Builder;
- каналов: 2;
- импеданс: 1 МОм, 25пФ;
- режимы: AC/DC/GND;
- вертикальное разрешение: 8 бит;
- диапазоны: 10 мВ-5В, 9 шагов;
- погрешность по постоянному току: $\pm 3\%$;
- временные диапазоны: 4 нс-1 ч, 38 шагов;
- управление вертикальным положением;
- типы триггера: по растущему фронту, по спадающему фронту;
- источник триггера: канал 1 (CH1), канал 2 (CH2), внешний (EXT);
- размер буфера: 10 КБ - 32 КБ на канал;
- полоса пропускания: до 40МГц;
- частота дискретизации (выборки в секунду): 100 МГц (100 Мвыб./с) в одноканальном режиме, 50 Мвыб/с при 2-х каналах.

Для более низких значений вероятности микрореконтактирования разработан цифровой измеритель НИВ, выполненный на основе серийно выпускаемого частотомера GFC - 8010H (рис. 4). Измеритель работает следующим образом. Исследуемый подшипник включается в одно из плеч мостовой схемы 2, запитанной от стабилизатора 1. Режим питания моста может быть выбран либо по току, либо по напряжению. При изменении сопротивления подшипника

происходит изменение тока в измерительной диагонали мостовой схемы. Это изменение фиксируется преобразователем ток – напряжение 3, построенном на высокочастотных операционных усилителях. Усиленное напряжение, пропорциональное сопротивлению подшипника поступает на первый вход быстродействующего компаратора напряжения 4. На второй вход компаратора поступает напряжение с формирователя меры (стабилизатора 1). При нахождении сопротивления ниже заданного порога на выходе компаратора формируется импульс напряжения. Для улучшения характеристик измеритель снабжен формирователем

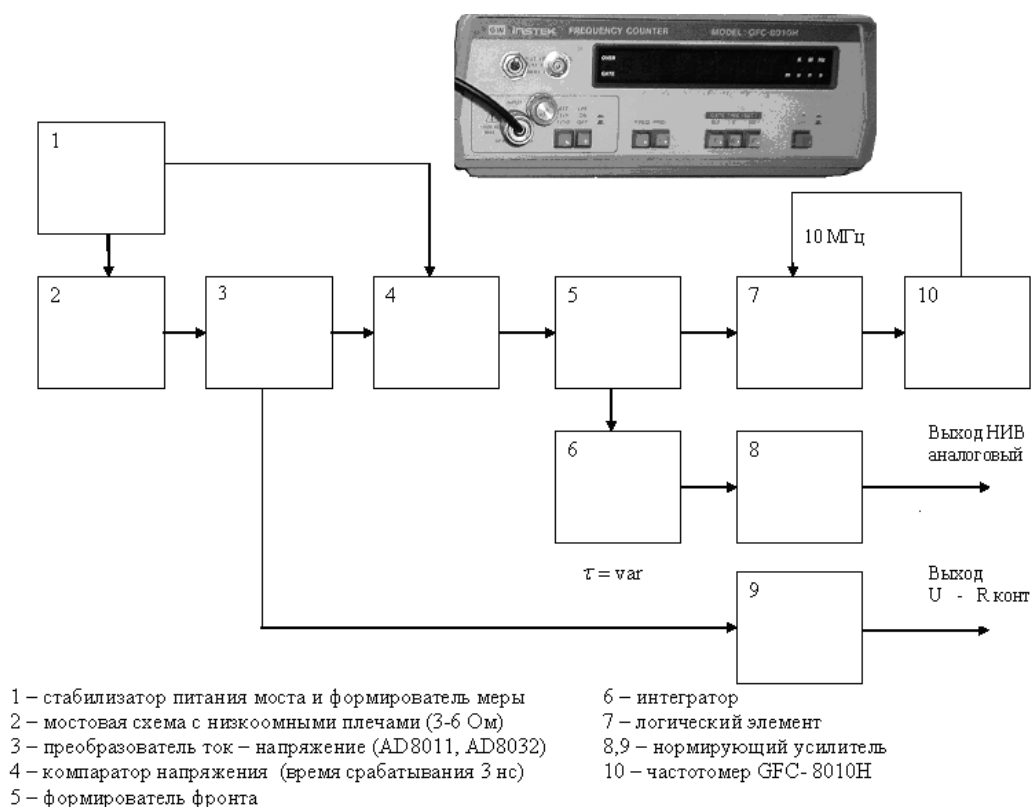


Рисунок 4– Измеритель параметра НИВ

фронта 5 импульса. Далее сигнал разветвляется на вход цифрового измерения (логический элемент 7, частотомер 10) и на вход аналогового измерения (интегратор 6, нормирующий усилитель 8).

При цифровом измерении импульс напряжения с выхода формирователя 5 поступает на логический элемент, где заполняется высокочастотными импульсами с частотомера (10 МГц). Частотомер производит последовательный счет этих импульсов, число которых пропорционально измеряемому параметру НИВ. В аналоговой цепи импульсы с выхода формирователя фронта 5 поступают на интегратор 6. Выходное напряжение интегратора 6 пропорционально отношению длительности импульсов снижения сопротивления подшипника ниже заданного порога к времени интегрирования, т.е. параметру НИВ. Нормирующий усилитель 8 согласует уровень выходного сигнала аналогового канала измерителя с входными сигналами серийных систем сбора данных.

Измеритель НИВ также имеет аналоговый выход, напряжение которого пропорционально импульсу сопротивления подшипника. Для формирования такого сигнала в схеме предусмотрен нормирующий усилитель 9. Представленный измеритель позволяет регистрировать импульсы микроконтактирования с минимальной длительностью 0,5 мкс при пороге срабатывания 100 Ом. Таким образом, рассмотренное оборудование позволяет оценивать временные функции вероятности микроконтактирования (НИВ) в зависимости от различных факторов.

Для измерения параметров временных функций электрического сопротивления подшипника необходимо осуществлять регистрацию функции сопротивления $R(t)$ подшипника на некотором интервале времени. Для получения функции $R(t)$ путем инструментального измерения мгновенных значений сопротивления подшипника используется электронное устройство, выполненное согласно структурной схеме на рисунке 5.

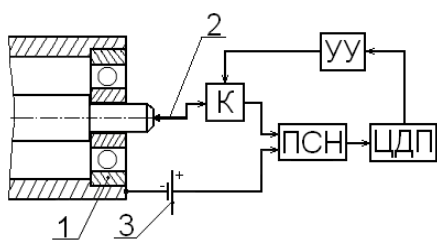


Рисунок 5 – Структурная схема устройства для получения функции

при измерениях мгновенных значений сопротивления подшипника. Устройство управления УУ позволяет преобразовать сопротивление подшипника в напряжение и получить электрический сигнал, пропорциональный функции $R(t)$, которая получается как совокупность мгновенных значений сопротивления, собранных за время измерения T , заданное устройством управления.

Инструментальные особенности измерения мгновенных значений сопротивления подшипника являются причиной замены действительной, непрерывной функции изменения сопротивления во времени, измеренной – дискретной во времени функцией $R(t)$, период дискретизации которой определяется, с одной стороны, из условия обеспечения требуемой точности оценки сопротивления подшипника, а с другой стороны – возможностью восстановления функции $R(t)$ по мгновенным значениям сопротивления R_i .

При измерении сопротивления подшипник, в зависимости от задачи диагностирования и измеряемого параметра (сопротивление, проводимость) может быть включен либо в цепь источника тока либо в цепь источника напряжения. Для измерения сопротивления на фоне значительных ЭДС, возникающих в объекте непосредственно и от дополнительных внешних наводок, предлагается использовать измеритель сопротивления с разделением составляющих ЭДС и R (далее измеритель R). Источник напряжения, включенный в цепь измеряемого сопротивления, позволяет получить сигнал, пропорциональный проводимости. Однако для подшипников качения средняя проводимость не всегда является величиной обратной среднему сопротивлению. Поэтому в измерителе R (рисунок 6) используется источник тока. Для предотвращения возникновения опасных с точки зрения пробоя смазочной пленки напряжений, значение тока выбирается минимально возможным для определенного диапазона сопротивления, и подшипник шунтируется ограничительным резистором. Так как через подшипник пропускается очень маленький по значению стабильный ток, то при малой толщине смазочной пленки (малом сопротивлении) на ней падает маленькое значение напряжения и пробой практически невозможен. При больших значениях толщины пленки пробой маловероятен.

Выделение составляющей напряжения, пропорциональной сопротивлению подшипника, основано на принципе отдельной во времени (с высокой частотой) записи сигнала при подключенном источнике тока и без него. При этом сначала регистрируется сигнал, содержащий в себе шумовые (термо- и трибоЭДС) составляющие и полезный сигнал. Затем регистрируется только шумовая составляющая. Значения результатов измерения запоминаются и затем вычитаются. Далее измерения с высокой частотой циклически повторяются.

Указанный принцип реализован в устройстве для измерения R (рис. 6). Коммутируемый источник 1 тока периодически подключается к измерительной цепи, в которой содержится диагностируемый подшипник, шунтирующий резистор 2 и электрометрический повторитель (усилитель) 3. Сигнал выхода блока 3 поступает на УВХ 5, 6 которые запоминают значения сигнала при подключенном и отключенном источнике тока. Для обеспечения стабильности работы входные цепи УВХ снабжены фильтрами низких частот.

Выходные сигналы УВХ поступают на входы дифференциального усилителя 7, где происходит их вычитание. Выходной сигнал усилителя 7 сглаживается фильтром 9 и поступает на систему сбора данных 11. Схема также позволяет регистрировать и общий уровень электрических шумов подшипника (блоки 8, 10). Изготовленный макет измерителя R работает в диапазоне сопротивлений от 41 кОм до 1 МОм и в частотном диапазоне до 25 кГц. Так же разработана версия модуля для высокочастотных измерений сопротивления (до 2 МГц) с аналогичным принципом компенсации погрешности от собственных и внешних ЭДС.

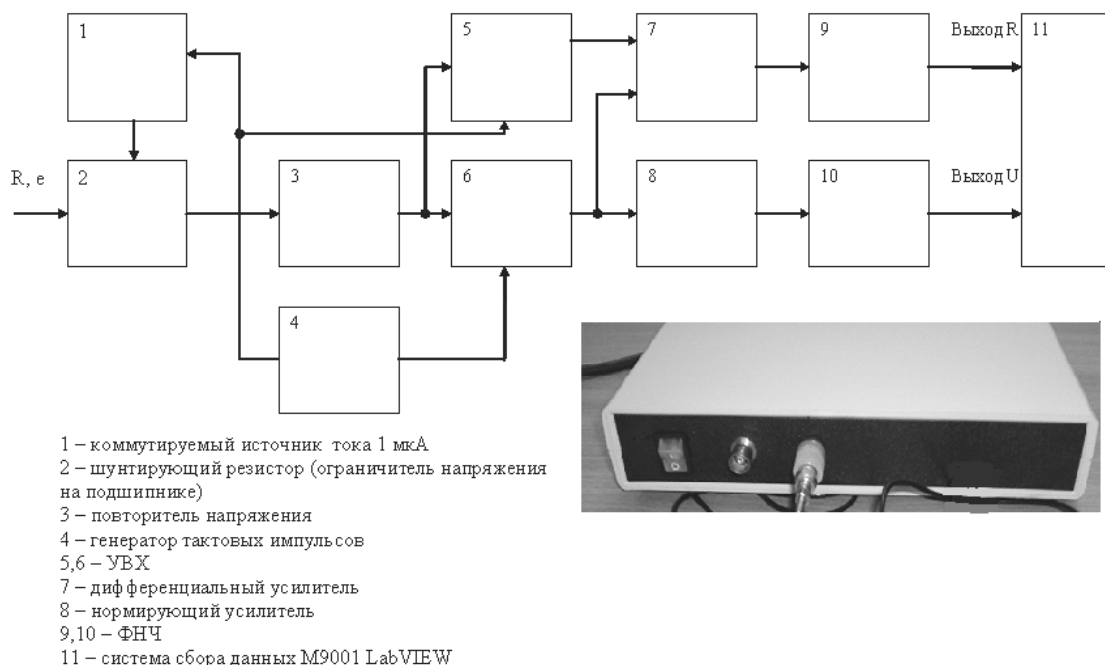


Рисунок 6 – Измеритель параметров сопротивления подшипника

Для проведения экспериментальных исследований по выявлению корреляционных зависимостей между электрическими и виброакустическими диагностическими параметрами предлагается структурная схема прибора совместной регистрации электро- и вибросигналов (рис. 7). Внешний вид устройства представлен на рисунке 8.

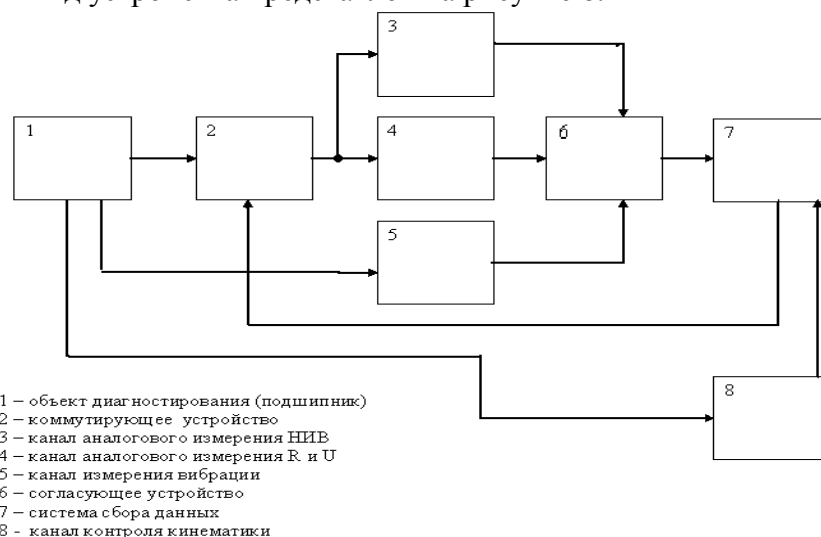


Рисунок 7 – Структурная схема устройства совместного измерения электрических и вибрационных параметров



Рисунок 8 – Внешний вид модулей для измерения электрических и вибрационных параметров

Диагностируемый подшипник или подшипниковый узел через коммутирующее устройство поочередно подключается к входным цепям измерителя НИВ (канал аналогового измерения НИВ 3) и измерителя R (канал 4 аналогового измерения R и U). При этом система по параллельному каналу 5 производит регистрацию сигнала вибрации. Согласующее устройство 6 приводит уровни выходных сигналов всех каналов с соответствие с унифицированными уровнями системы сбора данных. Так же предусмотрена регистрация кинематических параметров узла с помощью блока 8. Информация со всех измерительных каналов поступает в ЭВМ, где синхронно обрабатывается в зависимости от требуемой диагностической задачи.

Для проведения комплексных исследований и испытаний подшипников качения предлагаются универсальный диагностический комплекс для трибологических исследований КДТ-1 и автоматизированная система сбора и анализа данных при трибомониторинге САДТ-1. Комплекс КДТ-1 (рис. 9) обеспечивает оценку состояния трибосопряжения по ряду диагностических параметров, при этом реализуется как электрорезистивные, так и генераторные методы [1]. Оцениваются статистические моменты закона распределения сопротивления и ЭДС (среднее, среднее квадратическое и среднее степенное значения, асимметрия, эксцесс), строятся гистограммы, полигоны распределения, кумулятивные кривые, проводится спектральный анализ, программно определяются параметры микроконтактирования (НИВ, средняя частота и средняя длительность микроконтактирований). Для реализации алгоритмов поиска дефектов и оценки параметров отклонений макрогеометрии рабочих поверхностей трибосопряжений предусмотрена возможность обработки информации с учетом взаимного расположения деталей. Для этого введены каналы измерения частот вращения двух деталей, определения их взаимного положения. Кроме того, имеется канал измерения и контроля температуры.

При наличии пяти измерительных каналов обеспечиваются следующие основные технические характеристики: диапазон измерения сопротивления R от 1 до 10^5 Ом (три поддиапазона) при значении напряжения на объекте 100 мВ; диапазон измерения ЭДС от $50 \cdot 10^{-6}$ до 10^{-1} В (два поддиапазона); верхний предел частотного диапазона измерения R и ЭДС – 100 кГц; диапазон измерения частоты вращения деталей от 100 до 10000 мин⁻¹; диапазон измерения температуры от 0 до 150 °С. Предусмотрена возможность обработки данных и по произвольным алгоритмам в соответствии с решаемыми задачами.

Автоматизированная система сбора и анализа данных при трибомониторинге САДТ-1 (рисунок 10) имеет иную структуру и элементную базу, что по сравнению с КДТ-1 позволило существенно расширить функциональные и сервисные возможности, улучшить метрологические характеристики.



Рисунок 9 – Комплекс КДТ-1

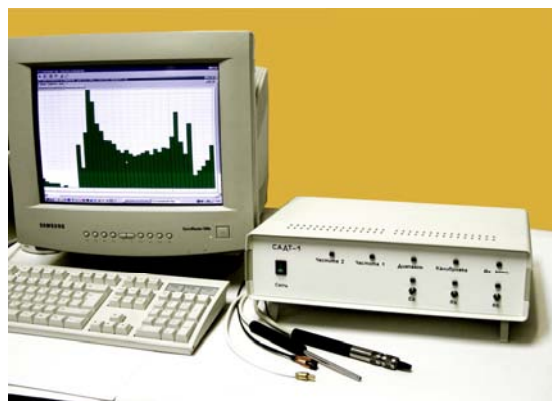


Рисунок 10 – САДТ-1

Введение в схему преобразователя микроконтактирования, выполняющего предварительную аппаратную обработку сигнала, позволило расширить частотный диапазон преобразования и обеспечить регистрацию информации о продолжительности каждого из импульсов проводимости при микроконтактировании и каждой паузы длительностью свыше 1 мкс с определением при этом текущего положения кольца и сепаратора. Наряду с реализацией различных законов усреднения сопротивления и ЭДС и определением их статистических и спектральных оценок рассчитываются моменты закона распределения длительностей микроконтактирований, обеспечивается регистрация флуктуаций сопротивления в едином диапазоне (от 1 до 10^5 Ом), расширяется диапазон измерения частоты (от 2 до 10^4 мин⁻¹), обеспечивается возможность исследования тепловых полей (10 температурных каналов).

Рассмотренная приборная база для диагностирования подшипников качения комплексными электрическими и вибрационными методами позволяет решать большинство исследовательских и практических задач.

Работа выполняется при поддержке аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)". Код проекта 1.2.07.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подмастерьев, К.В. Электропараметрические методы комплексного диагностирования опор качения [Текст]/ К.В. Подмастерьев – М.: Машиностроение-1, 2001. – 376 с.

Подмастерьев Константин Валентинович
ФГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК» г. Орел
Д.т.н., профессор, зав. каф. ПМиС
Тел. (4862) 41-98-76
E-mail: asms-orel@mail.ru

Мишин Владислав Владимирович
ФГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК» г. Орел
к.т.н., доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
Тел. (4862)41-67-33
E-mail: vlad89290@gmail.com

Марков Владимир Владимирович
ФГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК» г. Орел
к.т.н., доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
Тел. (4862)41-67-33

K.V. PODMASTERYEV, V.V. MISHIN, V.V. MARKOV

INSTRUMENT BASE FOR COMPLEX DIAGNOSING OF BEARINGS

In the paper have presented of instrument base for realization of complex methods of diagnosing of bearings. As diagnostic parameters of electric conductivity of a lubricant film in bearing contacts, vibration, kinematic parameters and signals thermo-and a friction electromotive power in friction zones are used.

Keywords: *the bearing, resistance of contact, bearing unit and house.*

BIBLIOGRAPHY

1. Podmaster'ev, K.V. Jelektroparametricheskie metody kompleksnogo diagnostirovanija opor kachenija [Tekst]/ K.V. Podmaster'ev – M.: Mashinostroenie-1, 2001. – 376 s.

Podmasteriev Konstantin Valentinovich

State University – Education Science Production Complex, Orel

Doctor of technical science, professor, head of department “Instrument engineering, metrology and certification”

Tel: 4862-41-98-76

Mishin Vladislav Vladimirovich

State University – Education Science Production Complex, Orel

Candidate of technical science, associate professor of department “Instrument engineering, metrology and certification”

Tel: 4862-41-67-33

E-mail: vlad89290@gmail.com

Markov Vladimir Vladimirovich

State University – Education Science Production Complex, Orel

Candidate of technical science, associate professor of department “Instrument engineering, metrology and certification”

Tel: 4862-41-67-33

А.А. НОВИКОВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ДИЗЕЛЬ - ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК

Комплексные информационно-измерительные и управляющие системы (КИИУС) играют важнейшую роль в обеспечении контроля за всеми системами дизель-электрических подводных лодок (ДЭПЛ). Особенно это важно при контроле электропитания всех технических средств. Показано, что агрегаты бесперебойного электропитания занимают одно из важнейших мест в энергообеспечении ДЭПЛ. Повышение качества электроэнергии, питающей управляющие комплексы, является одним из основных факторов эффективности использования этих комплексов.

Ключевые слова: комплексные информационно-измерительные и управляющие системы, агрегаты бесперебойного электропитания, обработка и управление информацией, энергообеспечение, дизель-электрические подводные лодки

Одно из важнейших мест в энергообеспечении дизель-электрических подводных лодок (ДЭПЛ) нового поколения занимают агрегаты бесперебойного электропитания (АБП) комплексных информационно-измерительных и управляющих систем (КИИУС) техническими средствами. Примером могут служить агрегаты бесперебойного питания нового поколения АБП-Л для комплекса агрегатированных систем (КАС) «Литий». В состав потребителей могут входить самые разнообразные системы и комплексы: ответственные потребители сетей 50 и 400 Гц, преобразователи для бесшумного управления АД, компенсирующие устройства магнитных компасов, требующие высокий уровень стабилизации питающего тока при низком уровне пульсаций и другие [1].

К задачам некоторых АБП для ответственных потребителей, в свою очередь, относится отказоустойчивое обеспечение потребителей электроэнергией с требуемыми показателями качества при одновременном уменьшении собственных массогабаритных показателей, увеличении КПД и ресурса работы, а также улучшении статических и динамических характеристик [1]. Повышение качества электроэнергии, питающей новые управляющие комплексы, является одним из основных факторов эффективности использования этих комплексов, что, в свою очередь, определяет тактико-технические характеристики ДЭПЛ в целом. Так, например, характерные для бортовых электросетей изменения напряжения приводят к перезагрузке бортовой компьютерной системы визуального контроля и управления и, как следствие, к потере накапливаемой информации в процессе выполнения тактической задачи.

Исключение таких «провалов» электропитания при различных переходных режимах в масштабе реального времени, как одна из задач, возлагаемых на комплексы бесперебойного электропитания, позволяет избежать потери текущей информации и неисправимых повреждений бортовой аппаратуры.

Проектирование систем защит в свете новых современных требований к устройствам электропитания дэпл характеризуется необходимостью комплексного подхода к проектированию каждого устройства системы электроснабжения. Необходимо осуществлять умелое сочетание успешного опыта применения схем релейных защит, универсальность и избирательный характер электронных схем защит, использующих в качестве датчиков параметров элементы основных силовых цепей, и возможности современных микропроцессорных средств сбора, обработки информации и управления. При построении схем защит необходимо также учитывать зависимость питания оперативных цепей от

режима работы защищаемой сети, возможность появления кратковременных или длительных отклонений оперативного напряжения от номинального значения. Кроме того, должен обеспечиваться ряд дополнительных функций, связанных с управлением абп, обеспечением бесперебойности электроснабжения, фильтрацией перенапряжений на линии, обеспечением различных видов сигнализации и т.д. Таким образом, новые системы электроснабжения ДЭПЛ должны иметь в своем составе проблемно-ориентированные комплексы - функционально интегрированные АБП.

Необходимо создание математической модели, позволяющей расчетным путем идентифицировать требуемые параметры схемы с достаточной степенью точности.

При этом важным является правильный выбор структуры преобразователя, включающей в себя, как правило, силовую (исполнительную) часть ключевой преобразователь, управляющую часть, а также датчики требуемых параметров. Вообще говоря, состав структуры определяется в каждом конкретном случае индивидуально в зависимости от технических требований. Вместе с тем, можно определить общие принципы построения структуры. Еще одним важным фактором при проектировании новых КИИУС является выбор способа управления. Это самым непосредственным образом связано с выбором типа аппаратной части системы управления.

История развития компьютерных технологий знает немало примеров, когда из-за различного рода неполадок в системах электропитания ЦВМ результаты долговременного кропотливого труда сводились на «нет». Даже самые «легкие» аварийные ситуации в работе питающей сети, такие, как например, кратковременное пропадание напряжения (на время в доли секунд), могут привести к безвозвратной потере ценной информации. В связи с этим возникло целое техническое направление по проектированию и массовому производству источников бесперебойного электропитания (ИБП).

Исходя из принципов организации бесперебойности ответственных потребителей ДЭПЛ, целесообразно провести анализ известных структур ИБП, применяемых для обеспечения бесперебойности питания КИИУС [7].

На рисунке 1 ниже представлены структуры так называемого OFF-LINE типа. Название типа структуры говорит само за себя. В качестве резервного буферного источника питания применена аккумуляторная батарея.

На рисунке 1а приведена одна из простых схем преобразования энергии, когда резервная ветвь питания содержит инвертор, питающийся от аккумулятора. При пропадании электропитания от основного канала коммутатор (или переключатель) обеспечивает перевод питания на резервную автономную сеть. На рисунке 1а: 1 – сетевой фильтр; 2 – зарядное устройство; 3 – инвертор; 4 – аккумулятор.

Вариант, представленный на рисунке 1б, обеспечивает автоматическое переключение питания на резервный канал при пропадании напряжения в основной ветви или при возникновении опасных перенапряжений. На рисунке 1б: 1 – фильтр импульсов; 2 – фильтр шумов; 3 – схема анализа сети и управления; 4 – переключатель; 5 – выпрямитель; 6 – инвертор; 7 – батарея. Это возможно, благодаря наличию схемы анализа сети и управления, обеспечивающей постоянный мониторинг напряжения питающей сети, а также фильтра импульсов на входе питания.

Вариант, представленный на рисунке 1а, обеспечивает лишь заблаговременное (планируемое) переключение электропитания с основной сети на резервную автономную сеть, например при возникновении ожидаемой аварийной ситуации, при проведении профилактических работ в энергосистеме и др. И в том и в другом случае происходит отключение потребителя от питающей промышленной сети.

Характерным недостатком этих структур является наличие блока переключения. Любое переключающее устройство, включая бесконтактные коммутаторы, имеет свою постоянную времени действия, что обуславливает перерыв в электроснабжении потребителя при переключении.

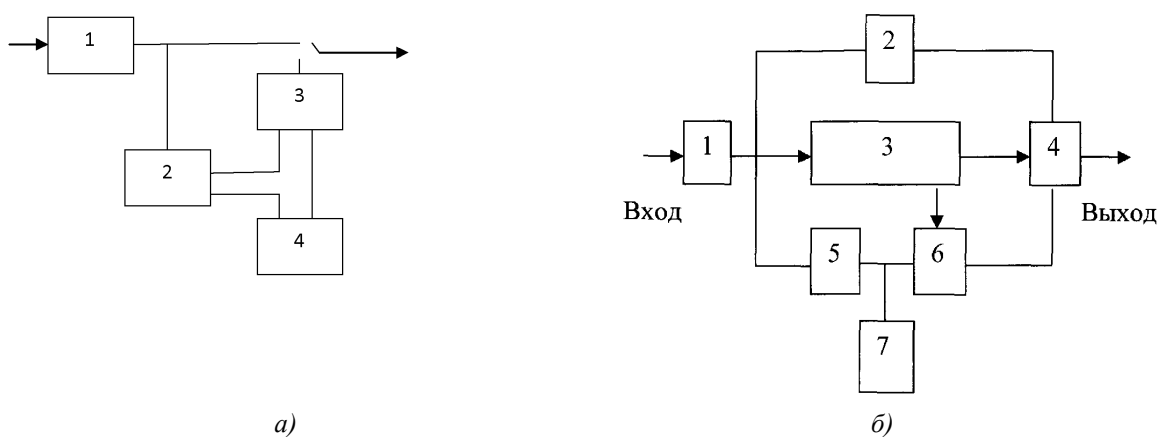


Рисунок 1 – Структурные схемы ИБП типа OFF-LINE

Этот недостаток может быть устранен путем согласования постоянной времени коммутатора и суммарной постоянной времени накопительных фильтров вторичного источника питания ЦВМ, что не всегда представляется возможным.

Указанного несовершенства лишены структурные схемы ибп типа ON-LINE (рис. 2). На рисунке 2: 1 – сетевой фильтр и выпрямитель; 2 – ВЧ - преобразователь; 3 – инвертор; 4 – аккумуляторная батарея; 5 – зарядное устройство. В отличие от предыдущего случая переход на автономное питание происходит без отключения от основного канала электроэнергии. При этом имеющийся высокочастотный (ВЧ) преобразователь «подхватывает» питание от аккумуляторной батареи.

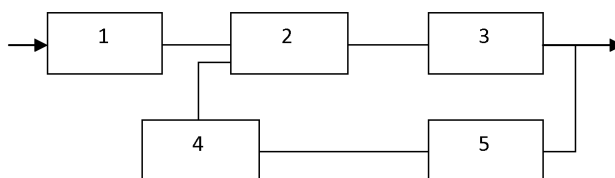


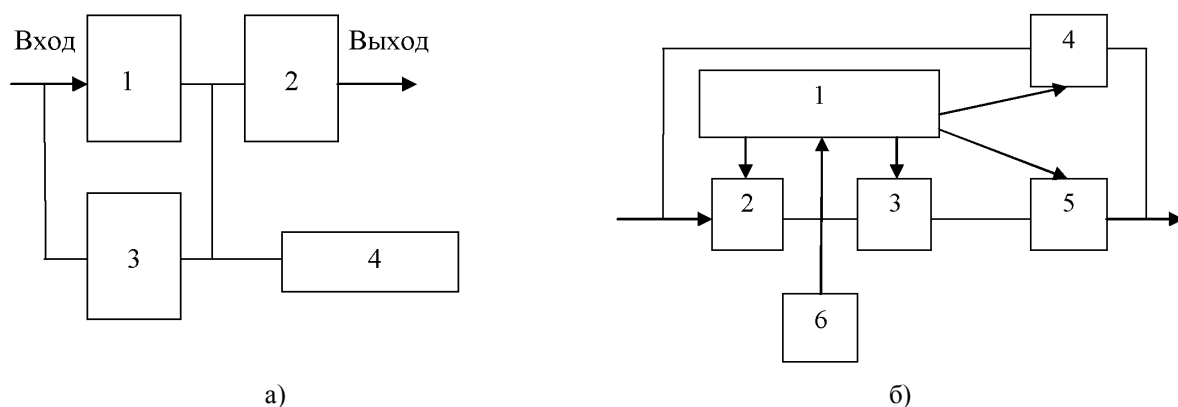
Рисунок 2 – Структурная схема ИБП типа ON-LINE

Заряд аккумуляторной батареи производится с выхода схемы ИБП. Наличие ВЧ - преобразователя способствует сокращению времени перевода питания на автономную сеть. Еще одна отличительная особенность - наличие выпрямителя на входе схемы. Это относится к большинству схем данного типа, содержащих ВЧ - преобразователь.

К данному классу, на первый взгляд, можно отнести и структурные схемы, приведенные ниже. Вместе с тем отсутствие промежуточного ВЧ - преобразователя позволяет говорить о прямом двойном преобразовании энергии без промежуточного преобразования частоты или о структуре ИБП с двойным преобразованием.

Типовая структура такого типа представлена на рисунке 3а. Это наиболее простая структура, позволяющая прямым способом сформировать импульсы напряжения с требуемыми параметрами для энергоснабжения выпрямитель инвертор унифицированного вторичного источника питания ЦВМ. Заряд буферной аккумуляторной батарей производится напряжением промышленной сети переменного тока через зарядное устройство. Более подробная комбинированная структурная схема ИБП с двойным преобразованием представлена на рисунке 3б. Встроенный блок управления обеспечивает контролируемое переключение питания от основной сети на автономную сеть при возникновении провалов напряжения.

При этом питание может осуществляться постоянно от автономной аккумуляторной батареи, находящейся в режиме постоянного подзаряда при наличии энергии в промышленной сети. Вместе с тем, имеющийся двойной коммутатор, контролируемый блоком управления, обеспечивает переключение питания ЦВМ по ветви «байпас» от промышленной сети.



а) **Рисунок 3 – Структурная схема ИБП с двойным преобразованием**

а) 1 – выпрямитель; 2 – инвертор; 3 – выпрямитель; 4 – зарядное устройство – аккумулятор;
 б) 1 – блок управления; 2 – выпрямитель; 3 – инвертор; 4, 5 – статический переключатель; 6 – батарея

Все приведенные выше структуры характеризуются сравнительно невысокими качественными показателями преобразуемой энергии, поступающей от промышленной сети. Традиционно промышленные и офисные персональные ЦВМ питаются от сети переменного тока, при этом устройства их питания не имеют дополнительных потребителей разных типов. Так, например, выходной инвертор в серийно выпускаемых ИБП формирует биполярное напряжение частотой 50 Гц прямоугольной или трапецеидальной формы.

Вместе с тем для питания ответственных потребителей ДЭПЛ требуется синусоидальное напряжение с коэффициентом нелинейных искажений не более 2,5% при низкочастотной амплитудной модуляции не более 2%, что связано с высокими точностными характеристиками, которые должны обеспечиваться питаемой корабельной аппаратурой.

На рисунке 4 представлена обобщенная структурная схема АБП.

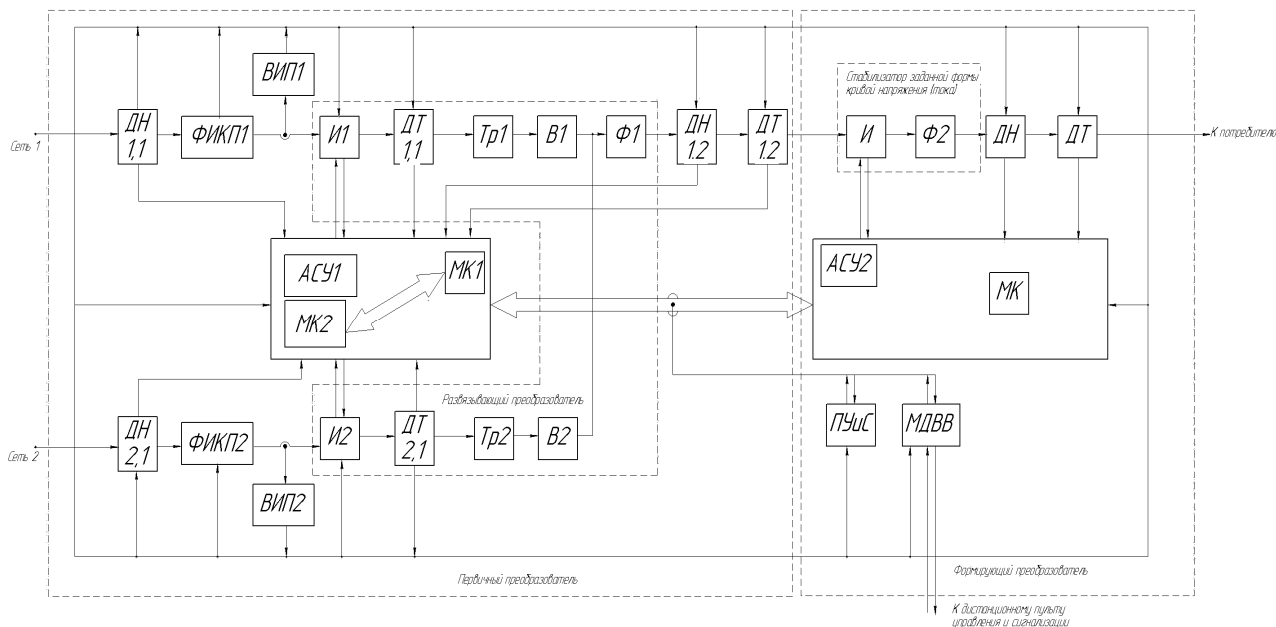


Рисунок 4 – Обобщенная структурная схема АБП

Фильтр импульсных коммутационных перенапряжений (ФИКП) обеспечивает фильтрацию радиопомех и импульсных коммутационных перенапряжений, возникающих во входной сети при подключении мощных потребителей к бортовой сети. ФИКП может быть одним из двух типов: активным и пассивным.

Пассивный ФИКП поглощает энергию возникающих в первичной сети перенапряжений только за счет пассивных элементов, входящих в его состав. Такой фильтр

требует наличия достаточного пространства для размещения составляющих фильтр компонентов. Для малогабаритных АБП ответственных потребителей, безусловно, предпочтение отдается ФИКП активного типа (интеллектуальный фильтр), когда фильтр работает выборочно, отсекая опасные перенапряжения (для ДЭПЛ - до 1000 В) при возникновении во входных цепях преобразователя больших токов. При этом в его состав входит силовой ключевой элемент и поглощающий элемент (например, резистор).

Такой подход позволяет существенно снизить массогабаритные показатели преобразователя энергии. Кроме того, в состав ФИКП, как правило, должен входить маломощный пассивный фильтр помех радиочастотного диапазона.

Развязывающий преобразователь (РП) обеспечивает гальваническое разделение силовых входных и выходных цепей и цепей управления и осуществляет основное первичное преобразование энергии. Он содержит в своем составе силовую схему преобразования: силовой импульсный инвертор (И) с силовыми ключами для преобразователей напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока, трансформатор (Т) и силовой конвертор для преобразователей напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока: выпрямитель (В), высокочастотный сглаживающий фильтр (Ф).

При выполнении определенного алгоритма управления РП обеспечивает регулирование промежуточного или выходного параметров преобразователя в зависимости от их типа и вида.

КИИУС используя автоматизированную систему управления (АСУ), получив сигналы датчиков тока ДТ и напряжения ДН (как входных, так и выходных), реализует алгоритм регулирования и стабилизации заданных параметров. Вместе с этим, АСУ реализует алгоритмы защит, используя сигналы от преобразователей, и является инициатором приема и передачи сигналов управления и индикации.

АСУ может быть построена разными способами. Основной функцией, безусловно, является реализация регулятора. Эта задача, как правило, решается правильным выбором пропорциональных, интегральных и дифференциальных звеньев в цепях обратной связи системы управления (пид регулятора).

Выходной фильтр (Ф) кроме сглаживания пульсаций выходного напряжения, устраняет высокочастотные радиопомехи на выходе преобразователя. Он также выполняет роль накопителя энергии и при пропадании питающего напряжения по обеим сетям, обеспечивает питание нагрузки в течение определенного интервала времени, определяемого реактивными свойствами Ф.

Для обеспечения бесперебойности и 100%-го резервирования (что повышает надежность АБП) предлагается организация отдельного первичного канала преобразования для каждой из питающих сетей.

При этом АСУ 1 первичного канала преобразования включает в себя два управляющих микроконтроллера по числу каналов преобразования, соединенных между собой шиной обмена данными. АСУ 2 формирующего канала преобразования содержит свой микроконтроллер и обменивается данными с АСУ 1 по своей шине обмена.

Модуль дискретного ввода - вывода (МДВВ) предназначен для формирования сигналов управления и индикации и аппаратной поддержки су при приеме и передаче этих сигналов в централизуемые устройства КСУ КТС верхнего уровня.

Важную роль играет также минимизирование затрат материальных и людских ресурсов на обслуживание КУЭ в эксплуатации. Оно является актуальным из соображения автономности работы АБП в условиях ограничения материальных средств и численности личного состава объекта.

Частично это требование выполняется закладыванием определенного количества запасных элементов для экстренной замены (ЗИП). Вместе с тем наличие допустимого количества ЗИП не должно являться фактором, снижающим надежность АБП.

Более того, учитывая ограниченность свободного пространства на ДЭПЛ, необходимо минимизировать количественный состав ЗИП за счет повышения показателя интегрированности и надежности АБП.

В заключение отметим, что выполнение всех перечисленных ранее требований предъявляемых к АБП, а также правильный выбор структуры преобразователя считаются важными факторами при проектировании новых электронных статических преобразовательных устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ясаков, Г.С. Корабельные электроэнергетические системы. Часть 1 / Г.С. Ясаков. – С.-Пб.: военно-морская академия им. Адмирала флота советского союза Н.Г. Кузнецова, 1999.
2. Сергиенко, Л.И. Электроэнергетические системы морских судов / Л.И. Сергиенко, В.В. Миронов. – М.: Транспорт. 1991.
3. Бычков, М.Г. Применение промышленных программируемых контроллеров для автоматизации технологических процессов / М.Г. Бычков. – М.: Моск. энерг. ин-т, 1992. –95 с.
4. Губанов Ю.А., Федоров А.Е. Интегрированный агрегат бесперебойного электропитания электронных систем подводных лодок: техническая структура, метод адаптивного синтеза, аппаратно - программная реализация.
5. Лозицкий О.Е., Федоров А.Е., Савченко А.В., Темиров А.П. Программа контроля параметров аккумуляторов для системы контроля и диагностики аккумуляторных батарей (ПКПА для СКД АБ) // свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. № 2005611705. МОСКВА: РОСПАТЕНТ, 11.07.2005.
6. Программа преобразования напряжения сети 175 ... 320 В постоянного тока в стабилизированное напряжение 28,5 В постоянного тока для агрегата бесперебойного питания (ПН ПТ-ПТ для АБП). / О.Е. Лозицкий, А.П. Темиров, А.Е. Федоров, А.А. Цветков, В.М. Павлюков // свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005612022 от 08.09.05.
7. Программа стабилизации выходного напряжения преобразователя напряжения сети 175 ... 320 В постоянного тока в стабилизированное однофазное напряжение 50 Гц, 230 В переменного тока для агрегата бесперебойного питания (ПСВН ПН ПТ-ПЕРТ для АБП) / А.П. Темиров, А.Е. Федоров, О.Е. Лозицкий, А.А. Цветков, В.А. Луговец // свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005612279 ОТ 08.09.05.

Новиков Александр Анатольевич

Московский государственный университет приборостроения и информатики, г. Москва

Аспирант

Тел. +7(499) 2694788

E-mail: vslepsov@gmail.com

A.A. NOVIKOV

INCREASE OF EFFICIENCY OF COMPLEX INFORMATION-MEASURING AND OPERATING SYSTEMS IN MAINTENANCE OF UNINTERRUPTED POWER SUPPLY THE DIESEL ENGINE – ELECTRIC SUBMARINES

Complex information-measuring and operating systems (КИИУС) play the major role in maintenance of the control over all systems a diesel engine-electric of submarines (ДЭПЛ). Especially it is important at the control of power supplies of all means. It is shown that units of uninterrupted power supplies occupy one of the major places in power supply ДЭПЛ. Improvement of quality of the electric power feeding operating complexes, is one of major factors of efficiency of use of these complexes.

Key words: *Complex information-measuring and operating systems, units of uninterrupted power supplies, processing and management of the information, power supply, diesel engine-electric submarines.*

BIBLIOGRAPHY

1. Jasakov, G.S. Korabel'nye jelektrojenergeticheskie sistemy. Chast' 1 / G.S. Jasakov. – S.-Pb.: voennomorskaja akademija im. Admirala flota sovetskogo sojuza N.G. Kuznecova, 1999.
2. Sergienko, L.I. Jelektrojenergeticheskie sistemy morskich sudov / L.I. Sergienko, V.V. Mironov. – M.: Transport. 1991.
3. Bychkov, M.G. Primenenie promyshlennyh programmiruemyh kontrollerov dlja avtomatizacii tehnologicheskich processov / M.G. Bychkov. – M.: Mosk. jenerg. in-t, 1992. –95 s.
4. Gubanov Ju.A., Fedorov A.E. Integrirovannyj agregat besperebojnogo jelektropitanija jelektronnyh sistem podvodnyh lodok: tehničeskaja struktura, metod adaptivnogo sinteza, apparatno - programmaja reali-zacija.
5. Lozickij O.E., Fedorov A.E., Savchenko A.V., Temirev A.P. Programma kontrolja parametrov akkumuljatorov dlja sistemy kontrolja i diagnostiki akkumuljatornyh batarej (PKPA dlja SKD AB) // svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM. № 2005611705. MOSKVA: ROSPATENT, 11.07.2005.
6. Programma preobrazovanija naprjazhenija seti 175 ... 320 V postojannogo toka v stabilizirovanoe naprjazhenie 28,5 V postojannogo toka dlja agregata besperebojnogo pitanija (PN PT-PT dlja ABP). / O.E. Lozickij, A.P. Temirev, A.E. Fedorov, A.A. Cvetkov, V.M. Pavljukov // svidetel'stvo ob oficial'noj registracii pro-grammy dlja JeVM № 2005612022 ot 08.09.05.
7. Programma stabilizacii vyhodnogo naprjazhenija preobrazovatelja naprjazhenija seti 175 ... 320 V postojannogo toka v stabilizirovanoe odno-faznoe naprjazhenie 50 Gc, 230 V peremennogo toka dlja agregata besperebojnogo pitanija (PSVN PN PT-PERT dlja ABP) / A.P. Temirev, A.E. Fedorov, O.E. Lozickij, A.A. Cvetkov, V.A. Lugovec // svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM № 2005612279 OT 08.09.05.

Novikov Aleksandr Anatolievich

Moscow state university of instrument making and informatics, Moscow

Post-graduate student

Tel: +7-499-269-47-88

E-mail: vslepsov@gmail.com

ИСПЫТАНИЯ, КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА **И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**

УДК 620.179.1.082.7.05

Е.В. ПАХОЛКИН, С.В. ГНИЗДЮХ

ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Кратко описан электрический метод исследования смазывающей способности масел и результаты его применения. Установлено расхождение результатов с теоретическими предпосылками. Представлена гипотеза о более сложном характере процессов и явлений, связанных с адгезией смазочного материала на поверхностях пар трения.

Ключевые слова: граничное трение, электрорезистивный метод, формирование граничного смазочного слоя, сопротивление фрикционного контакта.

ВВЕДЕНИЕ

В трудах ведущих отечественных ученых-трибологов (И.В. Крагельский, А.В. Чичинадзе) «третье тело» (ТТ) определяется как рабочий слой, создающийся в зоне фрикционного взаимодействия контактирующих тел, в котором расположены фрикционные связи, а также заполняющие пространство между ними смазочный материал и продукты износа [1]. Зона фрикционного взаимодействия при этом рассматривается как «некое физическое тело», имеющее малую толщину и обладающее особыми свойствами, отличными от свойств исходных тел.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что ТТ можно рассматривать в нескольких концепциях, среди которых ТТ – тонкий поверхностный слой, образованный смазочной композицией, свойства которого отличны от свойств смазочного материала (СМ). В условиях граничной смазки предотвращение изнашивания металлических поверхностей достигается за счет формирования на них моно- и полимолекулярных адсорбированных слоев. Свойства данных слоев косвенно определяются составом СМ. Определяющим свойством СМ в данном случае является смазывающая способность. В терминологии межмолекулярных взаимодействий данное свойство выражается в адгезионной и когезионной способности смазочной среды, которая обычно содержит различные поверхностно активные вещества.

Для оценки состояния ТТ в данной концепции предложено применять комплексный метод трибодиагностики, основанный на измерении двух электрических параметров (электрического сопротивления и параметров микроконтактирования). В соответствии с предложенной математической моделью фрикционного контакта измерительная информация обеспечивает оценку адгезионных свойств смазочного материала [2].

Правильность теоретических положений, на которых базируется разработанная методика оценки смазывающих свойств СМ, подтверждена экспериментально, но на качественном уровне [3]. Расхождение экспериментальных результатов с теоретическими оценками, к сожалению, существенно. Целый ряд явлений не поддается объяснению на предложенном уровне теоретического описания ТТ, представленного граничными слоями.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ МЕТОДА И РЕЗУЛЬТАТОВ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

В работе [2] при моделировании электрических параметров фрикционного контакта были рассмотрены следующие составляющие:

- $R_{\text{см}}$ – смазочного материала, разделяющего трущиеся металлические поверхности;
- $R_{\text{окс}}$ – поверхностных неметаллических твердых слоев (окисных пленок, например);
- $R_{\text{м}}$ – металлического контакта;
- $R_{\text{адг.сл.}}$ – адгезионного (граничного) смазочного слоя.

Среднее сопротивление R фрикционного контакта без учета особенностей процессов контактирования поверхностей (упругое или пластичное), а также без учета наличия поверхностных неметаллических твердых слоев может быть описано выражением:

$$R = \frac{1}{T} \left[\int_0^{T_k} R_M dt + \int_0^{T-T_k} R_{CM} dt \right], \quad (1)$$

где T_k – суммарное время электрического микроконтактирования;

T – время измерения диагностического параметра.

В соответствии с выражением (1) фрикционный контакт рассматривается в двух основных состояниях, связанных с наличием или отсутствием контактирования выступов микронеровностей пары трения. Принимая во внимание, что объектом исследования является граничное трение, в (1) параметр R_{CM} следует заменить на $R_{адг.сл.}$, тогда с учетом понятия о параметре «нормированное интегральное время микроконтактирования» (НИВ: $K = \frac{T_k}{T}$) сопротивление граничного слоя может быть оценено выражением

$$R_{адг.сл.} = \frac{R - K \cdot R_M}{(1 - K)}. \quad (2)$$

Таким образом, метод оценки смазывающей способности СМ основан на взаимосвязи электрических параметров фрикционного контакта с качеством адгезии и когезии СМ и реализуется при измерении двух диагностических параметров (среднее электрическое сопротивление и НИВ).

Результаты экспериментальных исследований приведены в работе [3]. Для проведения исследований были подготовлены три пробы СМ. Основа проб СМ – минеральное масло И-20А. В качестве функциональных добавок применялись следующие вещества: пропионовая, энантовая, ундекановая и бензойная кислоты. Количество функциональных добавок в пробах составляло по 1 % для каждой кислоты при различных сочетаниях.

В качестве испытательного трибосопряжения был применен подшипник качения 1000900. Для сравнения полученных результатов был реализован следующий алгоритм:

– для каждой пробы СМ были найдены регрессионные зависимости $R_{адг.сл.} = f(\text{НИВ})$;

– после установления регрессионных зависимостей для каждой пробы были найдены значения сопротивления $R_{адг.сл.}$, соответствующие единому уровню параметра НИВ. Результаты исследований показали, что сопротивление граничных слоев в соответствии с (2) составило более 10 кОм. При этом после многократных повторений экспериментов с различными смазочными композициями, составленными на основе минерального масла и указанных кислот, выявлено различие в их адгезионной способности.

Результат эксперимента, который не был описан в работе [3], – это получение противоречивых данных о характере смазывающей способности минерального масла без функциональных добавок. В соответствии с теоретическими положениями разработанного метода параметр $R_{адг.сл.}$ должен быть в данном случае минимальным, что не нашло экспериментального подтверждения.

Для объяснения полученного противоречивого результата можно выдвинуть гипотезу о более сложном характере процессов и явлений, связанных с адгезией смазочного материала на поверхностях трибосопряжений и неоднозначном представлении об электрических свойствах граничных слоев, сформированных сложными по составу смазочными композициями на неоднородных поверхностях трибообъектов. Предварительным подтверждением достоверности гипотезы являются уже полученные результаты в рамках разработки образцового метода оценки адгезионной способности смазочных композиций, основанного на теории высокоэффективной жидкостной хроматографии. В частности установлено, что одна и та же смазочная композиция имеет существенно различную смазочную способность на различных материалах. Таким образом, возникает необходимость в более сложном описании фрикционного контакта, фактическая площадь которого формируется участками металлического контакта, участками контакта твердых неметаллических поверхностных слоев, а также участками контакта твердых тел с поверхностными слоями смазочного материала, имеющими различную адгезионную способность. При этом необходимо также пересмотреть описание со-

ставляющей электрического сопротивления фрикционного контакта, формируемой участками зоны трения, заполненными смазочной композицией (в объеме), так как функциональные добавки к СМ отличаются по электрическим характеристикам от базовых основ СМ.

Наконец, несомненный научный интерес также представляют исследования электрических свойств граничных слоев СМ, так как данный вопрос до настоящего времени остается дискуссионным.

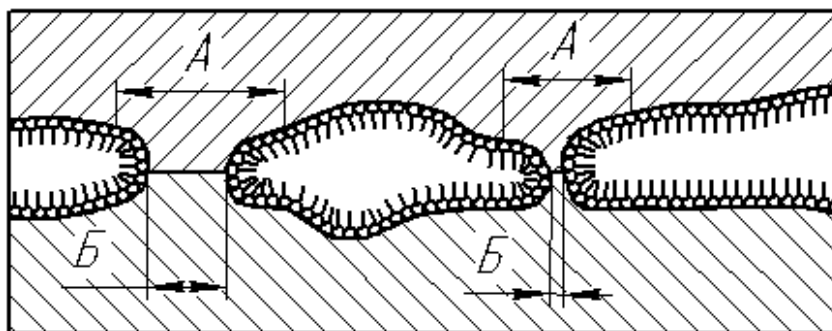
АНАЛИЗ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ГРАНИЧНЫХ СЛОЕВ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Применение электропараметрических методов в трибологии связано с именами таких ученых, как Фивег, Клюге, Лунн, С.Н. Постников, А.С. Ахматов, М.М. Снитковский, К.Д. Золтоев. По данным работы [4] именно Фивег и Клюге впервые провели экспериментальные исследования электрических параметров фрикционного контакта с целью определения возможности идентификации видов смазки (работа описана в 1930 г.). Позднее в 1957 г. вышла работа Лунна с описанием использования электропараметрического метода для оценки площади электрического контактирования. Причем данный метод можно рассматривать в качестве прототипа современных методов трибомониторинга, предполагающих применение параметра НИВ. Обобщение накопленного опыта в области электрических методов неразрушающего контроля впервые выполнили А.И. Свириденко, Н.К. Мышкин, Т.Ф. Калмыкова и О.В. Холодилов [4]. Вопросы электрических свойств смазочных слоев также рассмотрены и в более поздних работах, например, в [5].

Анализ многочисленных публикаций позволяет сделать вывод о неоднозначном представлении трибологов об электрических свойствах граничных слоев.

При граничной смазке трущиеся поверхности разделены слоем смазочного материала от толщины одной молекулы до 0,1 мкм [5]. Наличие граничного слоя снижает силы трения по сравнению с трением без смазочного материала в 2...10 раз и уменьшает износ сопряженных поверхностей в сотни раз. Считается, что эти слои резко отличаются по своим свойствам, в том числе электрическим, от смазочного материала в объеме. Все масла способны адсорбироваться на металлической поверхности. Прочность пленки зависит от наличия в ней активных молекул, качества и количества последних. Хотя минеральные смазочные масла являются механической смесью неактивных углеводородов, они, за исключением неработавших сверхчистых масел, всегда имеют включения органических кислот, смол и других поверхностно-активных веществ. Жирные кислоты входят в состав масел растительно-животного происхождения, а также в состав пластичных смазочных материалов. Поэтому почти все смазочные масла образуют на металлических поверхностях граничную фазу квазикристаллической структуры толщиной до 100 нм, обладающую более или менее прочной связью с поверхностью и продольной когезией [5].

Молекулы смазочного материала ориентируются перпендикулярно к твердой поверхности, причем во многих работах граничный слой иллюстрируется классическим рисунком (рис. 1).



*Рисунок 1 – Схема контактирования реальных поверхностей при граничной смазке [5]
А – участки, воспринимающие нагрузку; Б – участки непосредственного контактирования
или контактирования при твердых пленках*

Вполне вероятно, что подобное представление о структуре смазочного слоя привело к теории, основоположниками которой стали, очевидно, Фивег и Клюге. Сущность теории заключалась в том, что граничный смазочный слой вследствие своей структуры обладает «детекторным эффектом» [4], который проявляется в различном характере проводимости в зависимости от полярности внешнего источника. Отечественные ученые Снитковский М.М. и Дерягин Б.В. также выявили особые электрические свойства граничных слоев. В трудах Гаркунова Д.Н. констатируется полупроводниковый характер поверхностных слоев СМ, к такому же выводу приходит автор монографии [6].

Противником теории о слабых изоляционных свойствах граничных слоев выступил К.Д. Золтоев с результатами следующего эксперимента. Металлический шар был покрыт тонким слоем масла и помещен в ртуть. Смазочный слой при этом обладал «высокой электрической прочностью». Наконец, В.В. Кончиц установил, что «результаты измерений электрических свойств тонких слоев смазок свидетельствуют не только об отсутствии полупроводниковых эффектов в граничных слоях, но и о высокой электрической прочности последних» [4].

Объяснением могут служить иные представления о структуре граничного слоя. Граничный монослой толщиной в одну молекулу, как условно показано на рисунке 1, формируется поверхностно-активными веществами, к которым относятся, например, органические кислоты, которые содержатся в маслах. Даже малое содержание активных веществ (порядка 0,1 %) приводит к заполнению поверхности трения граничным монослоем. Однако конечным результатом такой адсорбции является формирование последующих слоев, представленных даже неполярными компонентами, т.е., базовыми компонентами СМ [5]. Более того, Д.Н. Гаркунов именно вторичный полимолекулярный слой, источником ориентации молекул которого является монослой активных компонентов, называет собственно граничным. Такое представление о граничном полимолекулярном слое позволяет склоняться к мнениям К.Д. Золтоева и В.В. Кончица, констатировавших в целом электроизоляционные свойства граничных слоев.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ структуры и свойств граничных слоев позволяет сделать вывод, что параметр $R_{адг.сл.}$ не является причиной снижения общего среднего сопротивления фрикционного контакта при граничном трении, когда в СМ добавлены какие-либо поверхностно-активные вещества. При этом выражения (1) и (2), полученные с учетом ряда допущений, не позволяют корректно описать электрические свойства фрикционного контакта. Математическая модель должна иметь структуру, аналогичную представленной в работе [2], причем параметр $R_{см}$ должен быть пересмотрен: сопротивление смазочного материала в объеме может не принимать высоких значений, описанных в [2], из-за наличия в СМ активных веществ. Последний тезис подтверждается, в частности, известным положением о заметном увеличении электропроводности масел при добавлении функциональных присадок [7].

Наконец, требует пересмотра и теория параметра НИВ, измеренного для трибосопряжения, работающего в режиме граничной смазки, так как вероятность электрического микроконтактирования в данном случае будет определяться не соотношением высот микронеровностей с толщиной гидродинамического слоя (который отсутствует), а степенью покрытия соприкасающихся участков поверхностей трения граничными слоями.

Работа выполняется при поддержке аналитической ведомственной целевой программы “Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)”, код проекта 10423.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пахолкин, Е. В. Предпосылки использования методов электрического контроля при оценке состояния и функционирования в трибосопряжениях «третьего тела» [Текст] // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. - №4 / 276 (575). – 2009. – С. 116-121.
2. Пахолкин, Е.В. О комплексном исследовании адгезионной способности смазочных материалов электрическим методом / Е.В. Пахолкин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2010. – № 1/279 (592). – С. 113-118.
3. Пахолкин, Е.В. Экспериментальные исследования смазывающей способности моторных масел электрическим методом / Е.В. Пахолкин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2010. – № 5 (283). – С. 125-128.

4. Акустические и электрические методы в триботехнике [Текст] / Под ред. В.А. Белого.– Минск: Наука и техника, 1987. – 265 с.
5. Гаркунов, Д.Н. Триботехника (износ и безызносность): Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МСХА, 2001. – 616 с.
6. Подмастерьев К. В. Электропараметрические методы комплексного диагностирования опор качения [Текст] / К.В. Подмастерьев. - М.: Машиностроение - 1, 2001. - 376 с.: ил.
7. Венцель, С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / С.В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 270 с.: ил.

Пахолкин Евгений Васильевич

ФГОУ ВПО «Госунiversитет–УНПК», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент
Тел. 89208112686
E-mail: eugene_p@bk.ru

Гниздюх Сергей Вячеславович

ФГОУ ВПО «Госунiversитет–УНПК», г. Орел
Магистрант кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
Тел. 89200825820
E-mail: sergey_gnizdyukh@mail.ru

E.V. PAKHOLKIN, S.V. GNIZDYUKH

**PROBLEMS OF RESEARCH OF BOUNDARY GREASING
BY ELECTRIC METHOD**

The electric method of research of greasing ability of oils and results of its application is short described. The divergence of results with theoretical preconditions is established. The hypothesis about more difficult character of processes and the phenomena connected with adhesion of lubricant on surfaces steam of a friction is presented.

Keywords: boundary friction, electroresistive method, formation of a boundary lubricant layer, resistance of frictional contact.

BIBLIOGRAPHY

1. Paholkin, E. V. Predposylki ispol'zovaniya metodov jelektricheskogo kontrolja pri ocenke sostojanija i funkcionirovanija v tribosoprjazhenijah «tret'ego tela» [Текст] // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. - №4 / 276 (575). – 2009. – S. 116-121.
2. Paholkin, E.V. O kompleksnom issledovanii adgezionnoj sposobnosti smazochnyh materialov jelektricheskim metodom / E.V. Paholkin // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, 2010. – № 1/279 (592). – S. 113-118.
3. Paholkin, E.V. Jeksperimental'nye issledovanija smazyvajuwej sposobnosti motornyh masel jelek-tricheskim metodom / E.V. Paholkin // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, 2010. – № 5 (283). – S. 125-128.
4. Akusticheskie i jelektricheskie metody v tribotehnike [Текст] / Pod red. V.A. Belogo.– Minsk: Nauka i tehnika, 1987. – 265 s.
5. Garkunov, D.N. Tribotehnika (iznos i bezyznosnost'): Uchebnik. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Izd-vo MSHA, 2001. – 616 s.
6. Podmaster'ev K. V. Jelektroparametricheskie metody kompleksnogo diagnostirovanija opor kachenija [Текст] / K.V. Podmaster'ev. - M.: Mashinostroenie - 1, 2001. - 376 s.: il.
7. Vencel', S.V. Primenenie smazochnyh masel v dvigateljah vnutrennego sgoranija [Текст] / S.V. Ven-cel'. – M.: Himija, 1979. – 270 s.: il.

Paholkin Evgeniy Vasilievich

State University – Education Science Production Complex, Orel
Candidate of technical science, associate professor
Tel: 89208112686
E-mail: eugene_p@bk.ru

Gnizdyukh Sergey Vyacheslavovich

State University – Education Science Production Complex, Orel
Candidate for a master's degree of department “Instrument engineering, metrology and certification”
Tel: 89200825820
E-mail: sergey_gnizdyukh@mail.ru

УДК 004.354.7

В.С. НИКИТИН, А.Н. ЛОМАНОВ, Е.А. ДАНИЛОВ

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОДЖОЙСТИКОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотрены основные методы тензометрии, достоинства и недостатки существующих тензоэлементов. Описан принцип ввода информации при помощи микроджойстика на основе полимерных тензоэлементов. Описана методика исследования эксплуатационных характеристик тензоэлементов. Приведены основные результаты испытаний.

Ключевые слова: джойстик; периферийное устройство; полимерные тензорезисторы; испытательный стенд; эксплуатационные характеристики; адаптивный фильтр.

ВВЕДЕНИЕ

В качестве преобразователей деформаций в различных измерительных устройствах, а также при экспериментальных исследованиях напряженного состояния конструкций часто применяются тензочувствительные элементы.

Основными методами тензометрии являются электрические, механические и оптомеханические методы. Измерительные системы на основе последних двух методов требуют применения высокотехнологичного оборудования при изготовлении. Они имеют в своем составе сложные передающие части, и как следствие достаточно большой размер и малую устойчивость к вибрациям. Методы, основанные на применении тензорезистивных элементов, лишены данного недостатка [1]. При этом они позволяют создавать средства измерения с минимальным количеством механических частей. В результате увеличивается надежность и появляется возможность применения системы в условиях высоких перегрузок (например, в авиапромышленности).

Широкое распространение тензорезисторов также объясняется тем, что они позволяют дистанционно и во многих точках проводить измерения, способ установки их на исследуемую деталь не требует сложных приспособлений и не искажает поле деформаций исследуемой детали. Малые размеры и масса тензорезисторов позволяют размещать их в малодоступных местах и устанавливать на детали в период сборки конструкции.

Наиболее распространенными типами тензочувствительных элементов в настоящее время являются проволоочные, фольговые и полупроводниковые тензорезисторы. Основным недостатком всех существующих тензоэлементов является ограничение на диапазон деформаций. Относительные деформации в пределах упругих деформаций обычно не превышают 0,5% [2].

ПОЛИМЕРНЫЕ МИКРОДЖОЙСТИКИ И ТЕНЗОЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

Малым научным предприятием «Тензосенсор» (г. Рыбинск) были разработаны уникальные тензоэлементы на основе полимерных материалов. Значения допустимых относительных деформаций в них на порядок выше, чем в обычных металлических и полупроводниковых тензоэлементах и могут достигать нескольких процентов. Это существенно расширяет область применения и упрощает технологию изготовления тензоэлементов. С использованием новой технологии разработаны лабораторные образцы полимерных микроджойстиков.

На рисунке 1 показан манипулятор 1, состоящий из управляющей рукоятки 2, выполненной за одно целое с упругодеформируемым элементом 3, состоящим из нескольких радиально-расположенных тензодатчиков. На управляющей рукоятке 2 для удобства управления установлена головка манипулятора 4 в виде шарика.

Тензорезисторы представляют собой слой электропроводного эластичного полимера (эластомера) 11 на поверхности упругодеформируемого элемента. Токпроводящие дорожки 9 на плате 7 образуют шины и средства передачи данных и соединяют тензорезисторы каждого микроджойстика с микропроцессором.

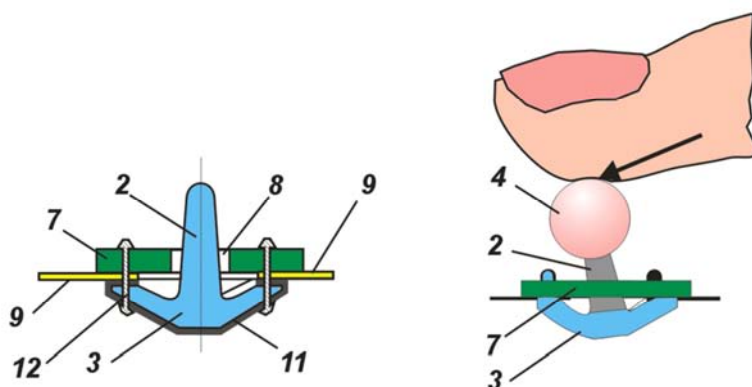


Рисунок 1 – Устройство и принцип действия полимерного микроджойстика

Для управления курсором (или другим объектом в графическом интерфейсе) пользователь нажимает пальцем руки управляющую рукоятку 2 микроджойстика 1 в нужном направлении. Силовое воздействие от нажатия рукояткой 2 передается на упругодеформируемый элемент 3, что вызывает его деформацию. Деформация фиксируется полимерными тензорезисторами, сигналы от которых передаются в микропроцессор.

По полученным сигналам вычисляют углы между проекциями вектора силы, приложенной пальцами руки к чувствительному элементу устройства и осями координат по формуле

$$a_j = \arctg\left(\frac{U_j}{U_{j+1}}\right),$$

где a_j – вычисленный угол направления силы, приложенной пальцами руки к чувствительному элементу устройства;

j – номер оси координат. Например, U_1 – первая ось координат, связанная с горизонтальной осью координат на плоском дисплее, U_2 – вторая ось координат, связанная с вертикальной осью координат на плоском дисплее.

$U_j = \sum_i U_{ij}$ – сумма проекций векторов разложений силы на j -ю ось координат;

$U_{ij} = R_i \cdot F_{ij}(b_{ij})$ – величина проекции i -го вектора разложения силы на j -ю ось координат;

R_i – измеренный сигнал с i -го тензодатчика, причем $R_i=0$ соответствует отсутствию внешнего воздействия, $R_i>0$ – сжатию тензодатчика, а $R_i<0$ – растяжению;

$F_{ij}(b_{ij})$ – тригонометрическая (\sin , \cos) или иная функция, в зависимости от конструктивного исполнения устройства;

b_i – известный угол между одной из осей координат устройства (например, между осью координат Y , связанной с вертикальной осью) и i -м тензодатчиком.

Чтобы получить команду для движения курсора вычисляют величины приращений перемещения курсора на дисплее или управляемого объекта по формуле

$$dX_j = K_j \cdot S_{kurs} \cdot F_{ij}(a_{ij}),$$

где K_j – согласующие масштабные коэффициенты или иные зависимости;

S_{kurs} – скорость перемещения курсора, определяемая по формуле

$$S_{kurs} = \sqrt{\sum_j U_j^2}.$$

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ ТЕНЗОЭЛЕМЕНТОВ

Для исследования эксплуатационных характеристик и параметров надежности тензоэлементов необходимо имитировать их длительную работу в течение нескольких десятков

часов в предельных режимах. Чтобы выявить все скрытые дефекты была принята схема, в которой на микроджойстик осуществлялось циклическое воздействие, имитирующее последовательное нажатие на рукоятку. Такую схему испытаний можно реализовать при помощи стенда, показанного на рисунке 2.

Стенд позволяет производить тестирование микроджойстиков и одновременно записывать данные об изменении сопротивлений в процессе циклической нагрузки. Таким образом, собираются полные сведения об изменении характеристик выходных сигналов в течение всего процесса тестирования для каждого тензорезистора.

Нажатие микроджойстика происходит с частотой 1 Гц в направлении одного из радиально-расположенных тензорезисторов. Выбор данной частоты объясняется тем, что наиболее значимые процессы релаксации полимерного материала происходят в течение 0.5 секунд после прекращения воздействия. На рисунке 3 показан примерный вид выходного сигнала тензорезистора при его деформациях и полезный отклик, т.е. сигнал, пропорциональный силе внешнего воздействия на тензорезистор.



Рисунок 2 – Внешний вид испытательного стенда

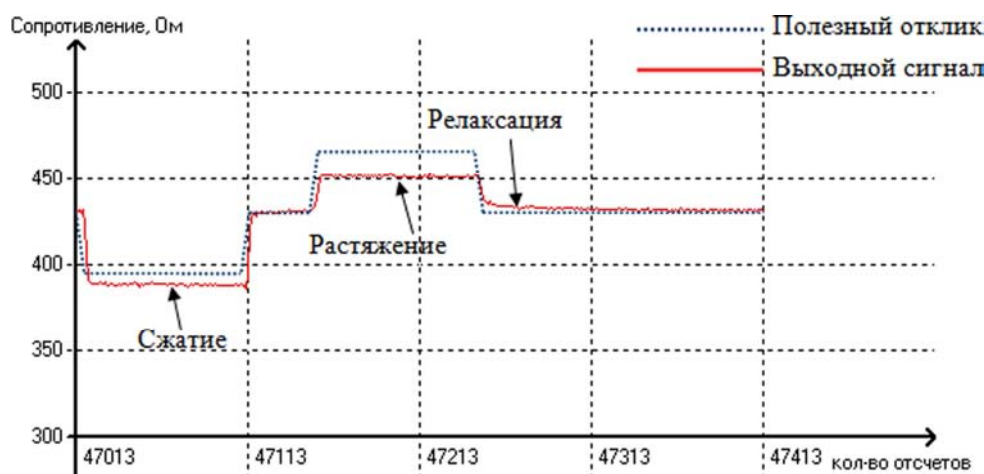


Рисунок 3 – Примерный вид выходного сигнала и полезного отклика

Максимальная точность измерений достигается в случае, когда полезный отклик и выходной сигнал являются пропорциональными. Но поскольку существуют различные факторы, влияющие на характеристики выходного сигнала тензорезисторов (такие как коэффициент нелинейности, процессы ползучести материала и др.), для уменьшения этих влияний целесообразно разработать адаптивный алгоритм, целью которого будет сведение к минимуму ошибки между выходным сигналом и полезным откликом [0, 0].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

На рисунке 4 представлен типичный вид результатов тестирования тензорезисторов микроджойстика.

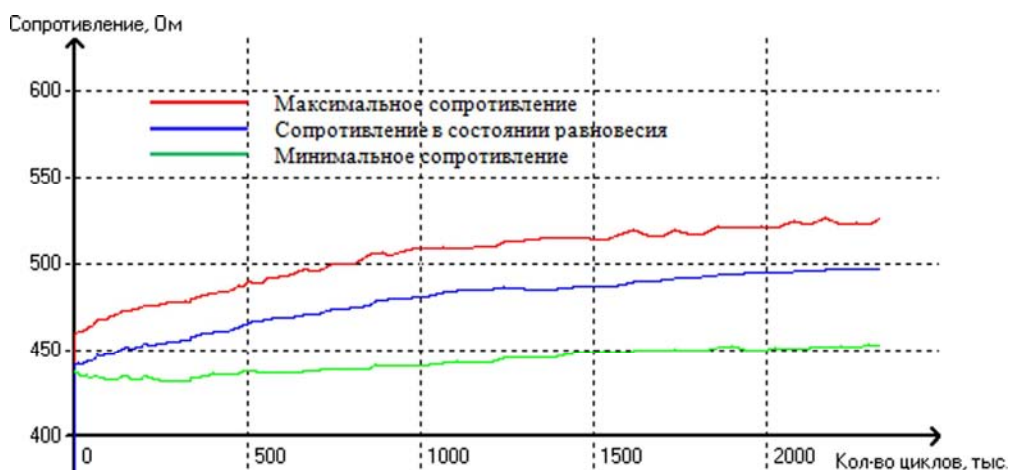


Рисунок 4 – Характеристики выходных сигналов тензорезистора в режиме тестирования в 2-х направлениях

Результаты тестирования показали, что выходной сигнал тензорезисторов не является стационарным, т.е. его параметры изменяются во времени. Наиболее значимые и сильно меняющиеся характеристики – это диапазон изменения сопротивлений и значение сопротивлений в отсутствии внешних нагрузок на тензоэлемент. Поэтому для сведения ошибки измерений к минимуму адаптивный фильтр должен подстраивать три основных характеристики выходного сигнала – максимальное значение, минимальное значение и значение в состоянии отсутствия внешних нагрузок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Профос, П. Измерения в промышленности / П. Профос. – М.: Металлургия, 1990. – 384 с.
2. Фрайден, Дж. Современные датчики / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Клокова, Н.П. Тензорезисторы. Теория, методики расчета, разработки / Н.П. Клокова. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
4. Коуэн, К. Адаптивные фильтры / К. Коуэн, П. Грант. – М.: Мир, 1988. – 392 с.
5. Уидроу, Б. Адаптивная обработка сигналов / Б. Уидроу, С. Стирнз. – М.: Радио и связь, 1989. – 400 с.

Никитин Владимир Степанович

НПП «Тензосенсор», г. Рыбинск
Кандидат технических наук
E-mail: 505z@mail.ru

Ломанов Алексей Николаевич

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П. А. Соловьёва, г. Рыбинск
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: lepss@yandex.ru

Данилов Евгений Александрович

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П. А. Соловьёва, г. Рыбинск
Аспирант
E-mail: jmelkor@rambler.ru

V.S. NIKITIN, A.N. LOMANOV, E.A. DANILOV

METHODICS AND RESEARCH RESULTS OF POLYMERIC MICROJOYSTICKS ON THE BASIS OF ELECTROCONDUCTIVE ELEMENTS

Main strain measurement method, advantages and disadvantages of existing strain sensors are considered. Described principle of data input by microjoystick based on polymeric resistive-strain sensor. Principles for investigation of performance resistive-strain sensor are described. The main results of the tests are present.

Keywords: joystick; peripheral device; polymeric resistive-strain sensor; test desk; performance characteristics; adaptive filter.

BIBLIOGRAPHY

1. Profos, P. Izmereniya v promyshlennosti / P. Profos. – M.: Metallurgija, 1990. – 384 s.
2. Frajden, Dzh. Sovremennyye datchiki / Dzh. Frajden. – M.: Tehnosfera, 2005. – 592 s.
3. Klokovala, N.P. Tenzorezistory. Teorija, metodiki rascheta, razrabotka / N.P. Klokovala. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 224 s.
4. Koujen, K. Adaptivnyye fil'try / K. Koujen, P. Grant. – M.: Mir, 1988. – 392 s.
5. Uidrou, B. Adaptivnaja obrabotka signalov / B. Uidrou, S. Stirnz. – M.: Radio i svjaz', 1989. – 400 s.

Nikitin Vladimir Stepanovich

Research and Production Enterprise "Tenzosensor", Rybinsk
Candidate of technical science
E-mail: 505z@mail.ru

Lomanov Aleksey Nickolaevich

Rybinsk state aviation technological academy named after P.A.Solovyev, Rybinsk
Candidate of technical science, associate professor
E-mail: lepss@yandex.ru

Danilov Evgeniy Aleksandrovich

Rybinsk state aviation technological academy named after P.A.Solovyev, Rybinsk
Post-graduate student
E-mail: jmelkor@rambler.ru

О. А. ЦУКАНОВА

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УСЛУГ

Для эффективного управления предприятиями сферы услуг и повышения качества услуг необходимо использование специальных концепций. В статье автор определил концептуальные положения управления процессом повышения качества услуг, обосновал целесообразность их использования. В статье рассматриваются различные модели маркетинга услуг, а также концепции «4P» и «7P», основные положения которых целесообразно учитывать при разработке стратегического плана развития современного предприятия сферы услуг.

Ключевые слова: качество услуг, концепция маркетинга услуг, концепция «4P», концепция «7P».

Несмотря на важность сферы услуг, их теоретическая концепция в России не получила развития и распространения. Такое положение можно объяснить тем, что в советский период предпочтение отдавалось прежде всего материальному производству, а услуги как таковые практически не рассматривались. Таким образом, встает необходимость определения концептуальных положений управления процессом повышения качества услуг и использования их при разработке стратегического плана развития хозяйствующих субъектов.

Концептуальные положения управления процессом повышения качества услуг представляют собой совокупность основных точек зрения, систему взглядов, руководящих идей, ведущих замыслов на организацию хозяйственной деятельности с целью создания и реализации услуг соответствующего уровня качества. Для управления хозяйствующими субъектами сферы услуг необходимо применение определенных самостоятельных концепций.

Услуги характеризуются большой широтой и разнообразием, но при этом имеются и общие закономерности развития и функционирования их продуцентов. Совокупность продуцентов услуг, как предмет исследования, выступает как отраслевая или территориальная производительная сила с точки зрения клиентов и отдельных хозяйствующих субъектов [1].

В основе управления хозяйствующими субъектами сферы услуг лежит концепция маркетинга взаимодействия, основной идеей которой является то, что объектом управления должны стать коммуникации с покупателями и другими участниками процесса купли-продажи [2]. Таким образом, для повышения эффективности деятельности предприятия сферы услуг должны индивидуализировать отношения с потребителями на основе долгосрочного взаимодействия. В данной концепции долгосрочные отношения между продуцентом услуг и их потребителем с интегрированными интеллектуальными, информационными и инновационными ресурсами становятся результатом деятельности хозяйствующего субъекта. Маркетинг взаимодействия подразумевает такое предоставление комплекса услуг и сопутствующих им товаров, которое бы в наиболее полной мере соответствовало ожиданиям потребителя. Источники удовлетворенности потребителей типичных деловых услуг представлены на рисунке 1.

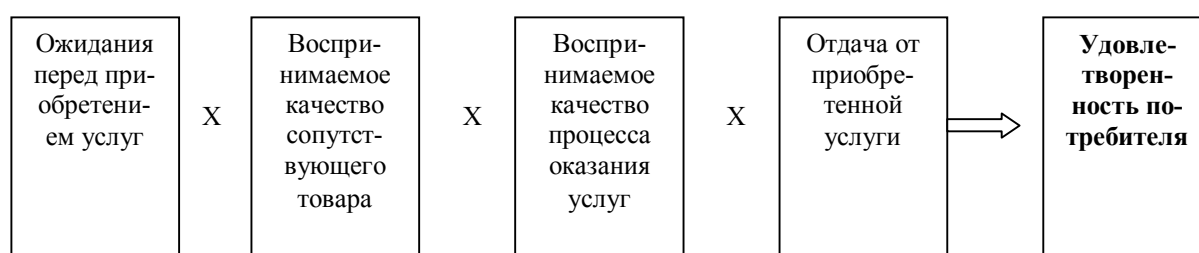


Рисунок 1 – Источники удовлетворенности потребителей типичных деловых услуг

Таким образом, степень удовлетворенности от результата каждого неотъемлемого составляющего источника формирует в комплексе общую удовлетворенность клиента [3].

Так, например, рассматривая отрасль рекламно-издательских услуг, можно отметить, что:

- ожидания перед приобретением услуги определяются брендом издательства, примерами рекламных объявлений, размещенных в печатных изданиях;
- на воспринимаемое качество сопутствующего товара оказывает влияние качество полиграфии, информационное наполнение, актуальность и известность печатного издания, которое является носителем рекламы;
- воспринимаемое качество процесса оказания услуги непосредственно зависит от компетенции, профессионализма кадрового состава рекламно-издательского хозяйствующего субъекта, его способности грамотно использовать механизм личных продаж и находить индивидуальный подход к каждому клиенту;
- отдача от приобретенной рекламно-издательской услуги в краткосрочном периоде определится первичным впечатлением от результата дизайнерского исполнения рекламного модуля и его месторасположением в издании, в долгосрочном периоде – количеством дополнительных привлеченных клиентов рекламой из данного медиа-носителя.

Реализация концепции маркетинга взаимодействия дает хозяйствующему субъекту, на наш взгляд, такие преимущества, как:

- возможность долгосрочного сотрудничества с потребителями;
- формирование лояльности клиентов;
- обеспечение основы создания конкурентных преимуществ;
- экономию затрат, так как привлечение новых клиентов значительно дороже, чем удержание постоянных.

По мнению автора, данную концепцию не вполне целесообразно использовать в случае, если:

- предприятие производит относительно дешевые или стандартизированные услуги и продукты;
- затраты на привлечение новых клиентов не превышают затрат на сохранение существующих;
- потребители не планируют в дальнейшем приобретать подобные услуги.

Следует отметить, что в отечественной литературе не достаточно описаны концептуальные положения, касающиеся моделей маркетинга услуг. В западной литературе данный вопрос проработан более существенно и разработано несколько моделей, которые могли бы быть широко использованы и в российской практике.

Одной из ранних концептуализацией маркетинга услуг стала *модель маркетинга услуг Д. Ратмела*, представленная на рисунке 2.

Данная модель делает акцент на то, что процесс оказания (производства) услуг и их потребление взаимосвязано. Таким образом, возникает необходимость одновременно создавать, оценивать и продвигать на рынок процесс взаимодействия продуцента услуг и их потребителя. В модели Ратмела указано, что процесс взаимодействия должен рассматриваться как функциональная задача на предприятии, но при этом сущность процесса взаимодействия не достаточно раскрыта.

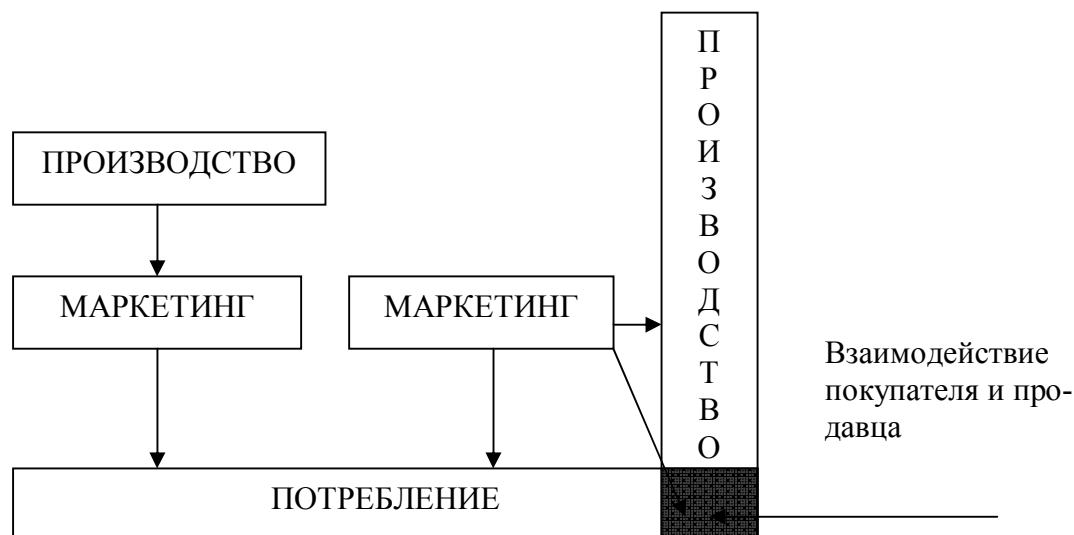


Рисунок 2 – Концепция маркетинга услуг Д. Ратмела

Сущность процесса взаимодействия более подробно рассматривается в модели маркетинга услуг «обслуживание в действии», предложенной П. Эйглие и Е. Леангардом, предложенной на рисунке 3.

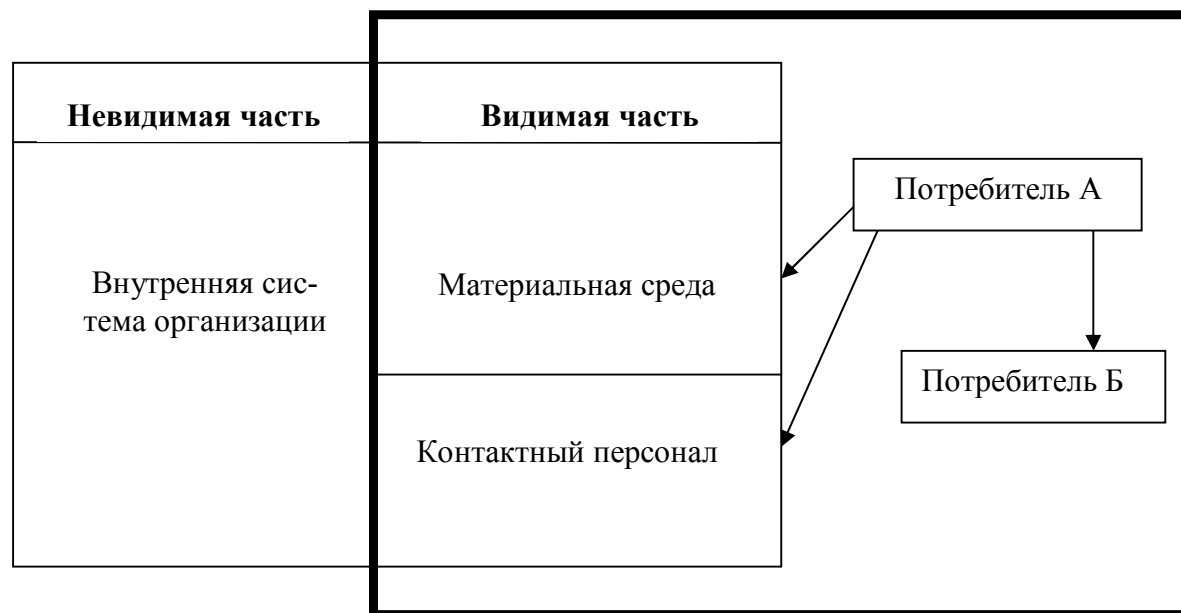


Рисунок 3 – Модель П. Эйглие и Е. Леангарда «обслуживание в действии»

На наш взгляд, преимущество данной модели заключается в том, что выделены факторы, оказывающие значительное влияние на результат процесса оказания услуги, и которые необходимо учитывать при разработке стратегии развития для эффективной хозяйственной деятельности продуценту услуг. Модель «обслуживание в действии» указывает также на существование «невидимой части» - внутренней системы организации, то есть ряда факторов, являющихся незаметными для потребителя, но без учета, которых невозможно производство качественного сервиса.

Например, в сфере рекламно-издательских услуг «невидимая часть» определится общей корпоративной философией хозяйствующего субъекта, бизнес-процессами на предприятии, органичностью взаимодействия различных подразделений друг с другом (информационный отдел, дизайнерский отдел, отдел рекламы и маркетинга, отдел доставки и пр.), уровнем подготовки персонала, в частности, рекламных агентов, которые должны иметь мотива-

цию к результативной деятельности, быть уверенными в качестве продаваемой услуги, ее полезности для потребителя, а также хорошо представлять себе ценовую политику предприятия, возможные механизмы гибкого взаимодействия с клиентами.

«Видимая часть» контактный персонал – это, в первую очередь, рекламные агенты, осуществляющие личные продажи рекламных услуг в издании, результат работы которых в значительной степени определит объем реализованных услуг предприятия. Материальная среда – помещения, оборудования, то есть средства труда, при помощи которых оказываются услуги. В рекламно-издательской деятельности такая составляющая оказывает меньшее влияние на результативность деятельности предприятия, чем контактный персонал и «невидимая часть».

В модели маркетинга услуг К. Грэнроса, основанной на модели «обслуживание в действии», введены такие положения как «внутренний маркетинг», «качество услуги», «интерактивный маркетинг». *Интерактивный маркетинг* нацелен на взаимодействие между производителем и потребителем в процессе оказания услуг. Основным фактором в подобном взаимодействии становится процесс качественного обслуживания.

Качественное обслуживание потребителей невозможно без детально проработанной стратегии *внутреннего маркетинга*, который нацелен на контактный персонал фирмы и предназначен для создания наилучших мотивационных и организационных условий труда, которые бы содействовали оказанию качественных услуг потребителям. Областью ответственности внутреннего маркетинга является, на наш взгляд, найм подходящих по квалификации и личностным качествам сотрудников, проведение обучения персонала и мероприятий по повышению квалификации кадров, стимулирование сотрудников организации на высокий уровень обслуживания потребителей услуг для обеспечения качества продукции и удовлетворенности потребителей [4].

Таким образом, основная цель внутреннего маркетинга – создать условия для удовлетворенности продавцов услуг, которая зависит как от результата процесса оказания услуги, так и условий, в которых происходит данный процесс.

Традиционный маркетинг (или внешний маркетинг) определяет действия, связанные непосредственно с разработкой и производством комплекса услуг и сопутствующих им товаров, определению цен на продукцию, распределению и доведению услуг до конечного потребителя.

В модели вводится также понятие *функционально-инструментальной модели качества обслуживания*, подразумевающей, что при оказании услуг важно как инструментальное качество самой услуги, так и сам процесс взаимодействия (функциональное качество). Таким образом, концепция Грэнроса указывает на необходимость широкого использования в сфере услуг маркетинга взаимодействия.

Концептуальная модель *маркетинга услуг Ф. Котлера* [5] основывается на исследованиях внутриорганизационных процессов и концепции маркетинга взаимодействия (рис. 4).

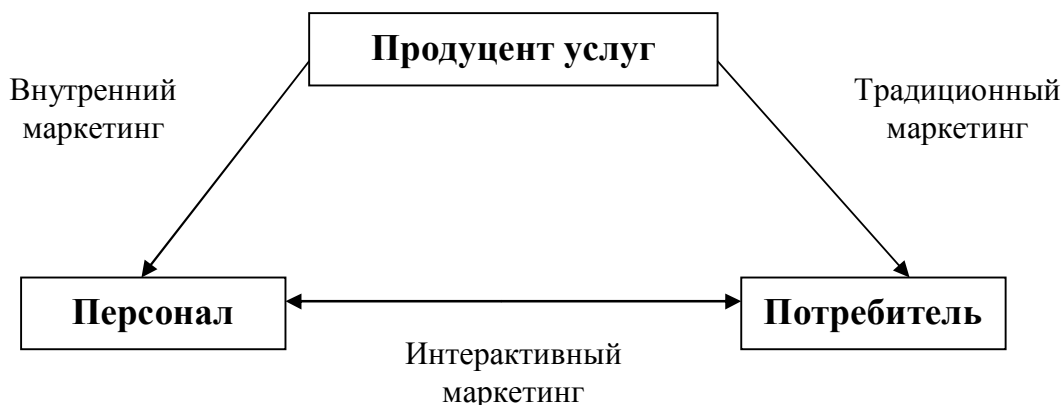


Рисунок 4 – Модель маркетинга услуг Ф. Котлера

В соответствии с данной моделью внутренний маркетинг, традиционный маркетинг и интерактивный маркетинг являются обязательными элементами, влияющими на эффективность и результативность деятельности производителя услуг.

Для эффективного продвижения товаров и услуг с учетом удовлетворения потребителей и реализации стратегических целей предприятия используется концепция «4P» (*продукт «product», цена «price», место «place», продвижение «promotion»*). Данная концепция, на наш взгляд, более приемлема для рынка материальных товаров, она в основном описывает операции внутри самого предприятия. Таким образом, концепция 4P не отражает сущность концепции маркетинга взаимодействия и не конкретизирует непосредственно процесс долгосрочного сотрудничества с потребителями.

Для сферы услуг целесообразно использовать концепцию «7P». В российской практике концепция «7P» применяется не достаточно часто и ей уделяется мало внимания. А вместе с тем подобная модель адаптирована именно для рынка услуг и включает в себя помимо «4P» такие элементы, как:

- *люди (people)* – то есть, качество работы специалистов на предприятии, их мотивация для выполнения возложенных функций, уровень обслуживания персонала – данные факторы придают, на наш взгляд, дополнительную ценность комплексу услуг. При таком подходе управление человеческими ресурсами становится стратегической задачей хозяйствующего субъекта. Его роль состоит в создании организационной культуры, ориентированной на потребителя;
- *физическое окружение услуги (physical evidence)* – данный элемент относится к материальным товарам, которые являются неотъемлемой частью при оказании тех или иных услуг;
- *процесс предоставления услуги (process)* – играет значительную роль, так как одно из свойств услуги – ее одновременность производства и потребления. Элемент определяет процедуру, механизм и последовательность операций в процессе потребления услуг.

Ряд авторов данные дополнительные 3 элемента рассматривает в рамках концепции «4P», предполагая, что *место (place)* включает в себя доступность услуг для потребителя, *продвижение (promotion)* определяет процесс взаимоотношения персонала хозяйствующего субъекта с потребителями, а *физическое окружение услуги (physical evidence)* можно рассматривать в составе элемента *продукт (product)*.

На наш взгляд, с таким подходом сущность процесса оказания и реализации услуг определить достаточно сложно, так как материальный товар и услуга рассматриваются с одной и той же точки зрения. Вместе с тем сфера услуг обладает рядом специфических черт и для разработки эффективного стратегического плана развития предприятия сферы услуг необходимо учитывать иную концептуальную базу, которую в большей степени описывает концепция «7P».

Восприятие процесса производства и потребления услуг приводит к необходимости рассмотрения модели «4C». Данная концепция определяет элементы, которые необходимо учитывать при ориентации на потребителя:

- *нужды и запросы потребителя (customer needs and wants)* – то есть услуга должна разрабатываться таким образом, чтобы максимально удовлетворить потребности потребителей;
- *затраты для потребителя (cost)*;
- *доступность и удобство получения услуги (convenience)* – создание условий, максимально облегчающих процесс приобретения и потребления услуги;
- *коммуникации (communication)* – учитывается как процесс установления связи поставщика с потребителем, так и обратная связь.

Таким образом, одним из этапов разработки эффективной стратегии функционирования в сфере услуг является разработка маркетинг-микса, формирование которого целесообразно провести по такому алгоритму, как:

- определение элементов модели «4С»;
- определение элементов модели «4Р»;
- создание комплекса «7Р», обеспечивающего возможность существования «4Р».

В общем, при реализации данных концепций формирование системы сервиса в сфере услуг должно учитывать следующие положения:

- потребности и ожидания потребителей – исходный пункт формирования комплекса услуг;
- предложение услуг должно реализовываться таким образом, чтобы потребитель получил максимальное удовлетворение своей потребности и осознание ценности полученной услуги;
- для эффективного долгосрочного функционирования продуценту услуг целесообразно строить свои отношения с потребителями с учетом формирования лояльности клиентов;
- реагирование на изменение в предпочтениях и ожиданиях потребителей должно быть оперативным.

Таким образом, анализируя существующие модели маркетинга услуг, можно сделать вывод о том, что различные модели отражают общие свойства, характерные для сферы услуг в целом. Все существующие концептуальные модели основываются на том, что процесс производства и потребления происходит одновременно, услуги полностью, либо частично носят нематериальный характер, значительную роль в привлекательности пакета услуг того или иного предприятия играет персонал, задействованный как в традиционном маркетинге, так и во внутреннем и интерактивном.

То есть при использовании моделей в процессе разработки стратегического плана развития хозяйствующего субъекта их необходимо дополнить в соответствии с присущими различным типам услуг свойствами, так как единую теоретическую модель маркетинга услуг невозможно создать без ряда ограничений и допущений. Ограничения снижают практическую ценность теоретических моделей и проблема создания и реализации маркетинговой стратегии в этом случае можно решить путем создания модели маркетинга для определенного типа услуг.

Таким образом, в статье автором были определены основные концептуальные положения управления процессом повышения качества услуг. В целом концептуальная база является результатом взаимодействия внутренних социальных сил, который выражается в определенной по содержанию, но динамичной по состоянию форме взаимозависимой системы ценностей и норм поведения, преобладающих в конкретной сервисной структуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николайчук, Н.Е. Маркетинг и менеджмент услуг / Н.Е. Николайчук. – СПб.: Деловой сервис, 2005. – 608 с.
2. Багиев, Г.Л. Маркетинг: уч. для вузов. / Г.Л. Багиев, В.М. Тарасевич, Х. Анн; под общ. ред. Г.Л. Багиева. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 736 с.
3. Цуканова, О.А. Формирование системы стратегического управления социально-экономическим развитием продуцентов рекламно-издательских услуг в мегаполисе: моногр. / О.А. Цуканова. – СПб.: Издательство «Герда», 2010.
4. Новаторов, Э. Международные модели маркетинга услуг / Э. Новаторов // Маркетинг в России и за рубежом, 2000. – № 3.
5. Котлер, Ф. Маркетинг менеджмент. Анализ, планирование, внедрение. Контроль / Ф. Котлер. – СПб.: Питер, 1998.

Цуканова Ольга Анатольевна

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики (СПб ГУ ИТМО) г. Санкт-Петербург
кандидат экономических наук, доцент
тел. +79219231710
E-mail: zoa1999@mail.ru

O.A. TSUKANOVA

THE CONCEPTUAL POSITIONS OF MANAGEMENT THE PROCESS OF IMPROVEMENT THE QUALITY OF SERVICES

The application of special concepts is necessary for efficient control the enterprises of services sphere and improvement the quality of services. In article the author has defined conceptual positions of management the process of improvement the quality of services. Also the author has proved expediency of their use. In article various models of marketing the services and concepts «4P» and «7P» are described and analyzed, which substantive provisions are expedient for considering by working out of the strategic plan for development the enterprise of services sphere.

Keywords: quality of services, conception of marketing in the services sphere, conception «4P», conception «7P».

BIBLIOGRAPHY

1. Nikolajchuk, N.E. Marketing i menedzhment uslug / N.E. Nikolajchuk. – SPb.: Delovoj servis, 2005. – 608 s.
2. Bagiev, G.L. Marketing: uch. dlja vuzov. / G.L. Bagiev, V.M. Tarasevich, H. Ann; pod obw. red. G.L. Bagieva. – 3-e izd. – SPb.: Piter, 2006. – 736 s.
3. Cukanova, O.A. Formirovanie sistemy strategicheskogo upravlenija social'no-jekonomicheskim raz-vitiem producentov reklamno-izdatel'skih uslug v megapolise: monogr. / O.A. Cukanova. – SPb.: Izdatel'stvo «Gerda», 2010.
4. Novatorov, Je. Mezhdunarodnye modeli marketinga uslug / Je. Novatorov // Marketing v Rossii i za rubezhom, 2000. – № 3.
5. Kotler, F. Marketing menedzhment. Analiz, planirovanie, vnedrenie. Kontrol' / F. Kotler. – SPb.: Piter, 1998.

Zukanova Olga Anatolievna

Saint-Petersburg state university of information technologies, mechanics and optics, Saint-Petersburg

Candidate of economic science, associate professor

Tel: +79219231710

E-mail: zoa1999@mail.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей.

- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 3 до 7 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья предоставляется в 1 экземпляре на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- Статьи должны быть набраны шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и вверху – 2 см.
- Название статьи, а также фамилии и инициалы авторов обязательно дублируются на английском языке.
- К статье прилагается перечень ключевых слов на русском и английском языке.
- Сведения об авторах приводятся в такой последовательности: Фамилия, имя, отчество; учреждение или организация, ученая степень, ученое звание, должность, адрес, телефон, электронная почта.
- В тексте статьи желательно:
 - не применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - не применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - не применять произвольные словообразования;
 - не применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.
- **Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**
- **Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые.
- Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравниваются по центру страницы, в конце подписи точка не ставится:

Рисунок 1 – Текст подписи

С полной версией требований к оформлению научных статей Вы можете ознакомиться на сайте www.gu-unprk.ru.

Плата с аспирантов за опубликование статей не взимается.

Адрес учредителя

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 42-00-24
Факс (4862) 41-66-84
www.gu-unpk.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03, 43-48-90
www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Технический редактор Григорьева О.Ю.
Компьютерная верстка Григорьева О.Ю.

Подписано в печать 06.07.2011 г.
Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 9,1.
Тираж 600 экз.
Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе
ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.