

Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Главный редактор
В.Л. Белоусов

РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:
Бучаченко А.Л.
Гусев А.А.
Дегтярев Ю.И.
Елисеев В.А.
Иванов А.П.
Мальцева С.В.
Нефедов Е.И.
Шебалин И.Ю.
(заместитель главного редактора)

6
—
2011

УЧРЕДИТЕЛИ:
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ
ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ

Журнал зарегистрирован 9 апреля
1999 г. за № 018684 в Комитете
Российской Федерации по печати

Журнал входит в перечень
утверждённых ВАК РФ изданий
для публикации трудов соискателей
учёных степеней

ООО «Издательство Машиностроение»

РЕДАКЦИЯ:

Шебалин И.Ю. — зам.главного редактора
Гончарова Л.К. — научный редактор
Осипова В.Г. — научный редактор
Богус С.В. — секретарь

Адрес редакции:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4
Тел.: (499) 748 0290,
E-mail: ast@mashin.ru; http://www.mashin.ru

Адрес издательства:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4
Тел.: (499) 268 3858,
факс: (499) 269 4897

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

| | |
|--|----|
| Буренин В.В. Новые конструкции силовых гидроцилиндров объёмного гидропривода и систем гидравлической автоматики | 3 |
| Парфёнов Е.В., Невьянцева Р.Р., Ерохин А.Л. Диагностика параметров процесса электролитно-плазменной обработки | 7 |
| Гвоздева И.Г., Кошев А.Н., Варенцов В.К. Расчёт оптимальной электропроводности реакторов с проточными трёхмерными электродами | 16 |
| Евсеенко И.А. Дисперсионная оценка адекватности динамических моделей технических систем | 24 |
| Пролетарский А.В. Интеллектуализированная система управления перспективных ракет космического назначения | 30 |

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

| | |
|---|----|
| Дьяков И.Ф., Попович А.В. Применение нейросетевых алгоритмов обработки деталей в CAD/CAM-системах | 34 |
| Шаякберов В.Ф., Гепштейн Ф.С., Янтурин Р.А. Новая технология эксплуатации погружных электрических центробежных насосов | 37 |

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

| | |
|---|----|
| Куцко П.П., Огороднийчук Е.Н. Математическое обеспечение оценки рейтинга, реализуемости и достаточности военной микроэлектроники при формировании комплексных целевых программ | 39 |
|---|----|

ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

| | |
|---|----|
| Symantec: в 2010 г. киберугрозы стали значительно более масштабными и изощрёнными | 43 |
| Компания Makino выходит на российский рынок | 45 |

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

| | |
|-----------------------------|----|
| По страницам журналов | 46 |
|-----------------------------|----|

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу «Роспечать» — 70537, по каталогу «Пресса России» — 27838, по «Каталогу российской прессы «Почта России» — 60267) или непосредственно в издательстве по факсу (499) 269 4897, по e-mail realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефон для справок (499) 269 6600, 269 5298

Художественный редактор *Галицина Т.Н.*
Компьютерный набор *Путинов В.Н.*
Компьютерная верстка *Тугаринов А.А.*

Набрано в ФГУ “Научно-исследовательский институт –
Республиканский исследовательский
научно-консультационный центр экспертизы”
123995, Москва, ул. Антонова-Овсеенко, 13. Тел.: (499) 795 1789

**Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация и современные технологии» возможна
при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка
на журнал «Автоматизация и современные технологии» обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель**

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

| | |
|--|----|
| Burenin V.V. New designs of the force hydraulic cylinders for three-dimensional fluid drive and hydraulic automatic systems | 3 |
| Parfenov E.V., Nevyantseva R.R., Erokhin A.L. Process parameters diagnostics of the plasmic-electrolytic processing | 7 |
| Gvozdeva I.G., Koshev A.N., Varentsov V.K. Optimum electroconductivity calculation for the reactors with flowing three-dimensional electrodes | 16 |
| Evseenko I. A. Adequacy dispersion valuation of the technical systems dynamic models | 24 |
| Proletarskiy A.V. Intellectual control system of the space purpose perspective rockets | 30 |

MODERN TECHNOLOGIES

| | |
|--|----|
| Dyakov I.F., Popovich A.V. Application of neural network algorithms in machining CAD/CAM systems | 34 |
| Shayakberov V.F., Gepshteyn F.S., Yanturin R.A. New exploitation technology of the submersible electric centrifugal pumps | 37 |

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

| | |
|---|----|
| Kutsko P.P., Ogorodniyuchuk E.N. Rating valuation, performance and sufficiency mathematical guaranteeing of the military microelectronics when complex target programs forming | 39 |
|---|----|

EXHIBITION AND PRESENTATIONS

| | |
|--|----|
| Symantec: the cyber-threats become much more dimensioned and sophisticated in 2010 | 43 |
| The company Makino gets the Russian market..... | 45 |

SURVEY OF PERIODICALS

| | |
|--------------------------|----|
| Periodicals review | 46 |
|--------------------------|----|

Сдано в набор 28.03.11. Подписано в печать 26.05.11.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 6,9. Заказ 356. Цена свободная

Отпечатано в ООО «Подольская Периодика»
142110, Московская обл., г. Подольск,
ул. Кирова, 15



УДК 621.22

В.В. Буренин, канд. техн. наук
(Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ))

super.goblin@inbox.ru

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ СИЛОВЫХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ ОБЪЁМНОГО ГИДРОПРИВОДА И СИСТЕМ ГИДРОАВТОМАТИКИ

Рассмотрены новые конструкции силовых гидроцилиндров объёмного гидропривода и систем гидроавтоматики, предложенные в научно-технической и патентной литературе промышленно развитых стран. Приведены отечественные и зарубежные производители силовых гидроцилиндров, отличающиеся улучшенными характеристиками.

Ключевые слова: силовой гидроцилиндр, объёмный привод, гидроавтоматика, система управления.

New designs of the force hydraulic cylinders for three-dimensional fluid drive and hydraulic automatic systems that are described in the scientific, technical and patent literature of the industrial developed countries are considered. Domestic and foreign manufacturers of the force hydraulic cylinders feature improved behaviors are given.

Key words: force hydraulic cylinder, three-dimensional fluid drive, hydraulic automatic, control system.

Широкое применение объёмного гидропривода (силовых гидравлических систем) и систем гидроавтоматики (гидравлических систем управления) в различных отраслях промышленности обусловлено их общепризнанными достоинствами [1], которые могут быть реализованы лишь при правильном проектировании и эксплуатации гидрофицированных (оборудованных объёмным гидроприводом и средствами гидроавтоматики) машин.

Использование гидравлических систем в машинах, механизмах и агрегатах обеспечивает управление большой мощностью на выходе с помощью маломощного сигнала. Наиболее распространённым элементом объёмного гидропривода и систем гидроавтоматики является силовой гидроцилиндр [2], конструкция которого отличается предельной компактностью, что облегчает его встраивание в рабочие органы машин и механизмов.

Несмотря на обилие типоразмеров и вариантов конструктивного исполнения стандартизованных и унифицированных гидроцилиндров и их узлов, а также технологическую сложность их изготовления, разработчики гидроприводов машин и механизмов нередко занимаются проектированием новых конструкций гидроцилиндров для повышения технико-экономических показателей

продукции. Это происходит потому, что стандартные гидроцилиндры не всегда соответствуют требованиям по присоединительным размерам, развиваемым усилиям, степени герметичности и силам трения в подвижных соединениях, а также по надёжности и ресурсу работы.

В последние годы в Российской Федерации и за рубежом проведены теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых разработаны и выпускаются новые конструкции силовых гидроцилиндров, отличающиеся улучшенными характеристиками.

Крупными отечественными производителями силовых гидроцилиндров являются ОАО «Агрегатный завод» (г. Людиново Калужской обл.), ЗАО «Гидросила» (г. Люберцы Московской обл.), ОАО «Елецкий завод тракторных гидроагрегатов» (г. Елец Липецкой обл.), ОАО «Омскгидропривод» (г. Омск), АООТ «Зерноградгидроагрегат» (г. Зерноград) и др.

ОАО «Омскгидропривод» и АООТ «Зерноградгидроагрегат» выпускают простые по конструкции и технологии изготовления плунжерные гидроцилиндры марок ЖВС 6.04.160, ГА-66010А, ГА-660ЮА-01, 54-9-145, 34-9-5, ГА-181000, Н20.25.000, Н20.26.000, РМС-10.09.02.100А и др., рассчитанные на рабочее давление до 16 МПа с диаметром плунжера до 50 мм и ходом плунжера до 360 мм.

Гидроцилиндр марки 54-9-145 (рис. 1) состоит из гильзы 3, соединённой с серьгой 1 с помощью сварки и корпусом 5 резьбовым соединением. Плунжер 4 перемещается в гильзе. Стопорное кольцо 2 ограничивает перемещение плунжера. Для уплотнения резьбового соединения между гильзой и корпусом установлено резиновое кольцо 6. Для герметизации подвижного соединения плунжера используются резиновые кольца 7. Для защиты колец 7 от повреждений и рабочей жидкости от загрязнения частицами пыли из окружающей среды применена грязесъёмная манжета 8.

Фирма «Hydrokompr» GmbH (Германия) выпускает силовые гидроцилиндры одностороннего действия [3], отличающиеся большим ресурсом работы. Обратный ход в гидроцилиндре обеспечивается пружиной сжатия. Рабочая поверхность корпуса оксидирована.

Оригинальную конструкцию имеет бесштоковый гидроцилиндр [4], разработанный фирмой «Hygrama» AG (Австрия). В полости корпуса гидроцилиндра перемещаются два поршня, каждый из которых соединён с наружной нагрузкой. Штуцер для подвода или отвода рабочей жидкости расположен в центре корпуса гидроцилиндра и соединён с центральной рабочей камерой, находящейся между обоими поршнями. Поршни между собой соединены синхронизирующим устройством.

Простой конструкцией и уменьшенными габаритными размерами отличается силовой гидроцилиндр двустороннего действия (рис. 2) [5], содержащий корпус 2 с приваренной передней

крышкой 5, съёмную сквозную заднюю крышку 3, односторонний полый шток 1 оригинальной конструкции с каналами для подвода и отвода рабочей жидкости (РЖ), поршень 4 и уплотнительные элементы для подвижных и неподвижных соединений. Гидроцилиндр технологичен в изготовлении и удобен в эксплуатации.

Небольшими потерями на трение в подвижных соединениях поршня и штока отличается силовой гидроцилиндр фирмы «Weber-Hydraulik GmbH» (Германия) [6]. Это достигается применением специальных уплотнений, установленных в кольцевой канавке поршня или крышке корпуса гидроцилиндра со стороны штока. Уплотнение состоит из внутреннего кольца из упругого эластомера и прижимаемого им к внутренней цилиндрической поверхности корпуса (или наружной поверхности штока) направляюще-уплотнительного кольца с симметрично выпуклой рабочей поверхностью, благодаря которой по её обеим сторонам образуются зазоры клинового сечения, которые и позволяют снижать трение в подвижных соединениях поршня и штока гидроцилиндра.

Повышенной прочностью конструкции отличается силовой гидроцилиндр двустороннего действия (рис. 3) [7], состоящий из цилиндрического корпуса 10 с отверстиями А и Б для подвода и отвода РЖ, крышек 8 и 11, поршня 9, штока 1 и узла крепления штока к исполнительному механизму (на рис. 3 не показан).

Основой узла крепления является проушина, выполненная из двух частей 5 и 7, причём в части 5 установлена шаровая опора 4. Обе части проушины соединены стяжными болтами 2. Плоскость разъёма проушины перпендикулярна к оси штока. Между частями 5 и 7 и под головками болтов 2 размещены жёсткие теплоизоляционные шайбы 3 и 6, установленные с гарантированным зазором относительно болтов.

Между головками болтов 2, шайбами 3 и 6 и частями проушины расположены металлические пластины. На каждой пластине со стороны теплоизоляционной шайбы выполнены цилиндрические бурты, находящиеся в зазоре между теплоизоляционной шайбой и стяжным болтом.

Благодаря увеличению площади контакта теплоизоляционных шайб с головками стяжных болтов и созданию между ними равномерного радиального зазора увеличивается усилие, передаваемое узлом крепления штока к исполнительному механизму.

Высокими эксплуатационными характеристиками отличается силовой гидроцилиндр фирмы «Спрут» (Россия) [8], содержащий корпус с размещённым в нём полым поршнем, состоящим из двух частей разного диаметра, меньшая из которых выполнена удлинённой и образует шток, на-

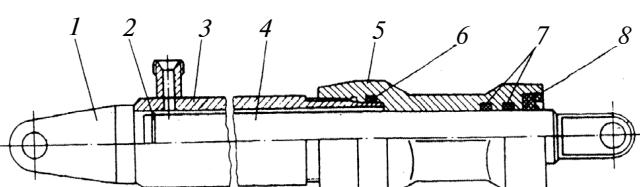


Рис. 1. Плунжерный гидроцилиндр одностороннего действия марки 54-9-145

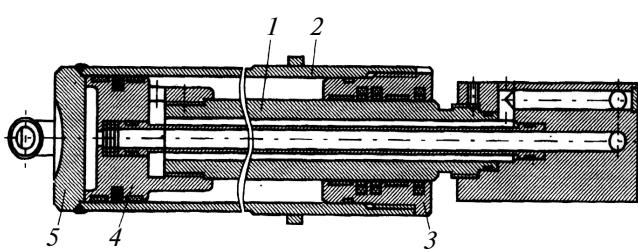


Рис. 2. Силовой гидроцилиндр двустороннего действия с приваренной передней крышкой

порный и сливной рукава, гидравлически связанные с рабочими полостями гидроцилиндра блоком управления, рабочий орган, механически связанный со штоком. Рабочий орган выполнен в виде двух рабочих элементов, первый из которых подвижен и закреплён на торце гидромеханизма с возможностью возвратно-поступательного движения. Второй рабочий элемент расположен со стороны второго торца гидромеханизма.

Итальянская фирма «Vega S.r.l» выпускает удобные в эксплуатации гидроцилиндры серии V210CS, предназначенные для вывёртывания стержней из форм для инжекционного формования пластиков [9]. Гидроцилиндры имеют внутренние диаметры 32, 40 и 50 мм и ход поршня 300, 400 и 500 мм. Максимальное рабочее давление 20 МПа.

Сдвоенный силовой гидроцилиндр (рис. 4) с двухступенчатым усилием на одностороннем штоке [10] содержит общий корпус 10, разделённый поперечной перегородкой 3 на две рабочие камеры: камеру *I* первой ступени, в которой размещен поршень 2 со штоком 1, и полость *Г* второй ступени, где размещён поршень 6 с трубчатым штоком-плунжером 5.

Рабочая жидкость поступает по осевому каналу *B* цилиндрического штуцера 7, установленного по скользящей посадке в центральном отверстии *Д* поршня и штока-плунжера. Через сквозные радиальные пазы *Л* на выходном конце штуцера, зазор *Ж* между обратным клапаном 9 и седловидной поверхностью *Е* штока-штуцера и далее через открытый конец штока-плунжера РЖ попадает в полость *И*, где её давление увеличивается до тех пор, пока усилие на штоке не станет достаточным для выполнения рабочей операции. При этом поршень 2 перемещается вправо.

Если усилие первой ступени гидроцилиндра оказывается недостаточным, то включают вторую ступень. При этом РЖ поступает в полость *Г* через канал *В* в крышке 8. В результате поршень 6, скользя по штуцеру, перемещается в центральном отверстии перегородки и входит в полость *И*. В начале движения шток-плунжер отодвигает обратный клапан от торца штуцера. Под действием пружины 4 обратный клапан плотно садится на поверхность *Е* и, замыкая полость *И*, сохраняет необходимое рабочее давление первой ступени. После этого подачу РЖ через штуцер прекращают.

Дальнейшее продвижение шток-плунжера создаёт в полости *И* необходимое повышение давления, пропорциональное отношению полезных площадей поперечных сечений поршня 2 и штока-штуцера.

После завершения рабочей операции гидроцилиндр приводят в исходное положение. Для этого

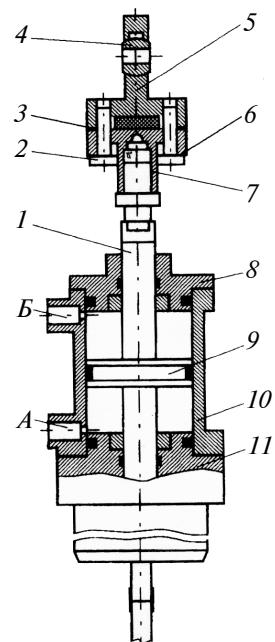


Рис. 3. Силовой гидроцилиндр двустороннего действия со специальным узлом крепления штока к исполнительному механизму

прекращают подачу РЖ через канал *B* в полость *Г* и начинают подавать её через канал *K*. При этом поршень 2, перемещаясь влево, давит на РЖ в полости *И* и на шток-плунжер. Последний перемещается влево, так как обратный клапан поджат к поверхности *E* и перекрывает осевой канал *B* штуцера. При перемещении штока-плунжера поршень 6 вытесняет РЖ из полости *Г* через канал *B*.

Как только обратный клапан начинает контактировать с торцом выходного канала штуцера, открывается зазор *Ж* и канал *B*, через которые РЖ вытесняется из полости *И*. После этого силовой гидроцилиндр возвращается в исходное положение.

Силовой гидроцилиндр фирмы «Aerolas GmbH» (Германия) отличается возможностью компенсации радиальных и угловых расхождений между осями поршня и перемещаемого им механизма [11], так как на штоке поршня предусмотрены два относительно коротких участка меньшего диаметра (в сравнении с остальной частью), выполняющих роль шарниров.

На заводе фирмы «K and D Manufacturing Industries» (США, штат Флорида) выполняется обработка корпусов силовых гидроцилиндров длиной 1220 мм с внутренним диаметром 457 мм [12]. Для обработки корпусов используется токарный станок Puma 300L компании «Daewoo Machine Tool Division» (США). При обработке внутреннего диаметра корпуса гидроцилиндра применяется борштанга Silent Tools фирмы «Sandvik Coromant Co.» (США) длиной 610 мм; раста-

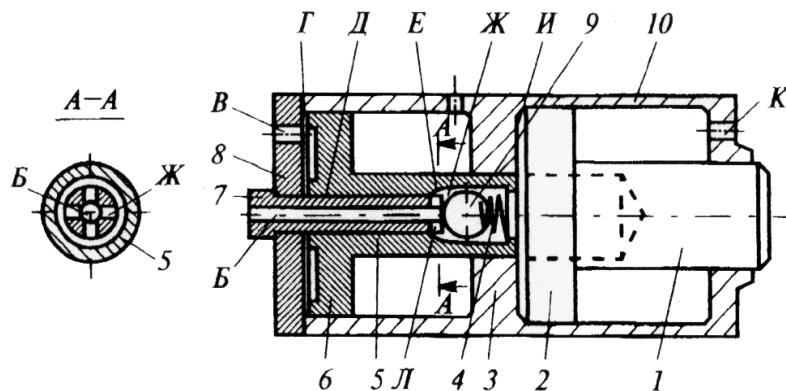


Рис. 4. Сдвоенный силовой гидроцилиндр с двухступенчатым усилием на одностороннем штоке

чивание осуществляется последовательно с двух сторон. Применяется специальный демпфер для подавления вибраций.

Фирма «TRElectronic GmbH» (Германия) разработала устройство для непрерывного контроля и регулирования перемещения поршня в корпусе гидроцилиндра и рабочего усилия [13]. Устройство содержит установленные на корпусе гидроцилиндра датчики, вырабатывающие сигналы тока и уровня напряжения и позволяющие с помощью коммутационного блока и специальной системы автоматически управлять работой силового гидроцилиндра.

Силовой гидроцилиндр фирмы «Bosch Rexroth Teknick AB» (Германия) имеет простое по конструкции устройство для определения положения поршня в корпусе гидроцилиндра [14]. Постоянный магнит, установленный в поршне гидроцилиндра, создаёт магнитное поле, которое взаимодействует с датчиком положения, установленным на корпусе гидроцилиндра. Датчик положения связан с регистрирующим устройством, показывающим положение поршня в корпусе гидроцилиндра.

Рассмотренные конструкции силовых гидроцилиндров и их элементов не исчерпывают всего многообразия конструктивных решений. Применение объёмных гидроприводов и систем гидроавтоматики в машинах, агрегатах и механизмах требует их постоянного усовершенствования и создания новых гидроагрегатов с высокими технико-экономическими показателями, в том числе и силовых гидроцилиндров.

Библиографические ссылки

1. **Буренин В.В.** Объёмные гидравлические приводы агрегатов технологического оборудования: Учеб. пособие. М.: МАДИ (ГТУ), 1998. 167 с.
2. **Буренин В.В.** Силовые цилиндры объёмного гидропривода машин и механизмов // Автоматизация и современные технологии. 2007. № 3. С. 3–11.
3. **Einfach wirkender Einschraubzylinder mit Ferrückstellung** // Maschinenmarkt. 2006. № 23. S 14.
4. **Патент Австрии № 413874.** Бесштоковый гидроцилиндр. 2006.
5. **Шмалько А.А., Виноградов А.В.** Цилиндр двустороннего действия с приварной головкой // Патент России № 2219381. 2001. Бюл. № 19.
6. **Заявка** на патент № 102005018442, Германия. Гидроцилиндр. 2006.
7. **Гаврилов В.И.** Гидроцилиндр // Патент России № 2253766.2003. Бюл. № 28.
8. **Губин В.И.** Гидравлический цилиндр // Патент России № 2286484. 2006. Бюл. № 30.
9. **Hydraulic unscrewing device for actuating threaded cores** // Eur. Tool and Mould Mak. 2008. № 1. Р. 40.
10. **Большаков А.Н.** Силовой гидроцилиндр с двухступенчатым усилием // Патент России № 2204742. 2003. Бюл. № 16.
11. **Заявка** на патент № 102004061940. Узел «поршень–цилиндр». 2006.
12. **Korn D.** Turning the long and the difficult // Mod. Mach. Shop. 2006. № 4. P. 84–87.
13. **Positionssensor** für Zylinderantriebe übernimmt komplett Signalverarbeitung // Maschinenmarkt. 2006. № 36. S. 134.
14. **Заявка** на патент № 102005030722, Германия. Гидроцилиндр. 2007.

УДК 621.5

Е.В. Парфёнов, канд. техн. наук, доц., **Р.Р. Невьянцева**, канд. хим. наук, доц.
 (Уфимский государственный авиационный технический университет),
А.Л. Ерохин, канд. техн. наук (Университет Шеффилда (Великобритания))

evparfenov@mail.ru

ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Предложен метод измерения комплексных частотных характеристик процесса электролитно-плазменной обработки как электрической нагрузки, позволяющий получить оценку передаточной функции процесса в виде линейной модели с медленно изменяющимися параметрами, зависящими от условий обработки. Разработанный подход даёт возможность диагностировать свойства поверхностного слоя в ходе обработки и ввести новый контур обратной связи в автоматизированную систему управления технологическим процессом электролитно-плазменной обработки.

Ключевые слова: электролитно-плазменная обработка, плазменно-электролитическое оксидирование, автоматизация процесса, активная диагностика, частотные характеристики, передаточная функция, схема замещения.

Measuring method of the frequency behaviors for plasmic-electrolytic processing as an electrical load is proposed. This method permits to receive valuation of the process transfer function as a linear model with slowly changing parameters that depend on processing conditions. Developed approach gives facilities to diagnose of the surface layer characteristic during the processing and to introduce a new feedback loop in the control automatic system of the process technology for plasmic-electrolytic processing.

Key words: plasmic-electrolytic processing, plasmic-electrolytic oxidation, process automation, active diagnostics, frequency behaviors, transfer function, substitution scheme.

Введение. В настоящее время для финишной обработки металлических поверхностей, в том числе для получения защитных оксидных покрытий на лёгких металлах (алюминий, титан и их сплавы), широко применяется электролитно-плазменный метод [1]. Основным отличием электролитно-плазменной обработки (ЭПО) от классической электрохимической является применение высоких напряжений, благодаря которым в оксидном покрытии развиваются микроразряды, интенсифицирующие процесс его роста и придающие ему улучшенные функциональные характеристики [2]. Промышленное внедрение технологий на основе ЭПО задерживается из-за отсутствия надёжных систем диагностики параметров процесса, позволяющих оценивать состояние поверхности в ходе обработки для принятия решений в контуре управления процессом. На примере плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО) алюминия был предложен метод импедансной спектроскопии, основанный на оценке электрических комплексных частотных характеристик (КЧХ) процесса ЭПО и относящийся к классу активных методов идентификации [3]. В данной статье рассмотрен один из подходов к диагностике процесса ЭПО как объекта управления на основе анализа и интерпретации данных импедансной спектроскопии процесса.

Диагностика параметров процесса электролитно-плазменной обработки. Эксперименты проводились по методике [3] на алюминиевых образцах площадью 15,5 см² в биполярном импульсном режиме при напряжении +400...+600 / -5...-120 В с развёрткой частоты импульсного напряжения в диапазоне 20–20 000 Гц. Одновременные отрезки измерений тока и напряжения длительностью 0,48 с регистрировались цифровым осциллографом Tektronix TDS430A и передавались на ПК каждые 10 с. Далее методом гармонического анализа [4] выделялись синусоиды тока и напряжения и по их соотношению определялся комплексный импеданс процесса ЭПО как электрической нагрузки:

$$\begin{aligned} Z(U_p, U_n, t, j\omega) = & Z(U_p, U_n, t, \omega) \times \\ & \times \exp(j\phi(U_p, U_n, t, \omega)), \end{aligned} \quad (1)$$

где Z – модуль импеданса (оценка амплитудно-частотной характеристики (АЧХ)); ϕ – фаза импеданса (оценка фазо-частотной характеристики (ФЧХ)); U_p – амплитуда положительного импульса; U_n – амплитуда отрицательного импульса; t – длительность обработки; ω – круговая частота; j – мнимая единица.

При идентификации придерживались гипотезы о том, что процесс ЭПО может быть представлен в виде линейной системы с медленно изменяющимися параметрами, зависящими от напряжения. Такое допущение справедливо, так как сканирование исследуемого частотного диапазона происходит со скоростью, существенно превышающей скорость изменения интегральных свойств поверхностного слоя (например, значение скорости роста покрытия составляет порядка 1 мкм/мин).

Для выбора вида модели линейной системы проводился сравнительный анализ различных способов аппроксимации экспериментально полученных частотных характеристик. Выбор такого вида моделей связан с тем, что они представляют собой канонические выражения для передаточных функций, рассматриваемых в теории автоматического управления [5]. В качестве линейной модели были выбраны полиномиальные дроби первого, второго и третьего порядка:

$$\underline{Z}(U_p, U_n, t, j\omega) = [b_3(U_p, U_n, t)(j\omega)^3 + b_2(U_p, U_n, t)(j\omega)^2 + b_1(U_p, U_n, t)j\omega + b_0(U_p, U_n, t)]/[a_3(U_p, U_n, t)(j\omega)^3 + a_2(U_p, U_n, t)(j\omega)^2 + a_1(U_p, U_n, t)j\omega + a_0(U_p, U_n, t)], \quad (2)$$

где $b_0 - b_3$, $a_0 - a_3$ – коэффициенты полиномов.

Данная модель комплексной частотной характеристики позволяет получить передаточную функцию системы $W(U_p, U_n, t, s)$ путём формальной замены оператора $j\omega$, соответствующего преобразованию Фурье, на оператор s , соответствующий преобразованию Лапласа:

$$W(U_p, U_n, t, s) = [b_3(U_p, U_n, t)s^3 + b_2(U_p, U_n, t)s^2 + b_1(U_p, U_n, t)s + b_0(U_p, U_n, t)]/[a_3(U_p, U_n, t)s^3 + a_2(U_p, U_n, t)s^2 + a_1(U_p, U_n, t)s + a_0(U_p, U_n, t)]. \quad (3)$$

Коэффициенты полиномов (2) и (3) представляют собой функции факторов амплитудных значений напряжений и длительности обработки. Модель (3) позволяет проводить анализ процесса ЭПО с применением классического аппарата теории автоматического управления.

Идентификация процесса ЭПО как объекта управления по модели (3) возможна в двух масштабах времени – малом и большом. Использование малого масштаба времени $2\pi/\omega$ (порядка миллисекунд) позволяет оценивать переходные процессы в системе «источник питания – процесс ЭПО» с использованием уравнения (3), схемы замещения и интеграла Дюамеля и оптимизировать схемы технологических установок по параметрам энергопотребления. Оценка в большом масштабе времени t (порядка минут) позволяет отслеживать изменения коэффициентов в уравнении (3), сопоставлять их динамику с динамикой состояния поверхности и проводить косвенную идентификацию состояния поверхности в ходе обработки.

В таблице приведён пример расчёта коэффициентов полиномов для аппроксимации различных порядков одной и той же КЧХ, полученной для $U_p = 570$ В, $U_n = 120$ В, $t = 40$ с. Графическое представление результатов аппроксимации приведено на рис. 1–3.

Анализ данных, представленных в таблице, показал, что аппроксимация полиномами второго порядка и выше приводит к появлению отрица-

Коэффициенты полиномов разного порядка при аппроксимации комплексных частотных характеристик

| Индекс коэффициента | Полином первого порядка | | Полином второго порядка | | Полином третьего порядка | |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | a | b | a | b | a | b |
| 0 | 1,17·10 ⁻⁶ | 4,21·10 ⁻⁶ | -3,07·10 ⁻⁷ | -7,24·10 ⁻⁹ | -2,49·10 ⁻¹¹ | -4,53·10 ⁻¹³ |
| 1 | 1 | 11,05 | 9,24·10 ⁻³ | 5,02·10 ⁶ | -3,39·10 ⁷ | -4,74·10 ⁹ |
| 2 | – | – | 1 | 13,57 | 8,51·10 ³ | 5,00·10 ⁶ |
| 3 | – | – | – | – | 1 | 14,32 |
| Коэффициент детерминации | | | | | | |
| R^2 | 0,82 | | 0,85 | | 0,85 | |

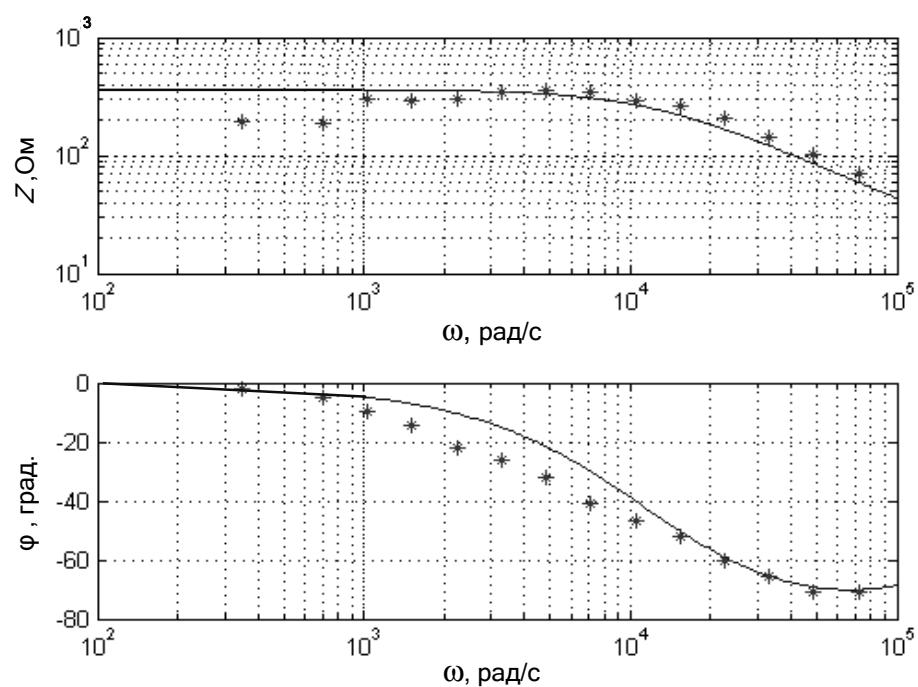


Рис. 1. Результаты аппроксимации комплексной частотной характеристики полиномиальной дробью первого порядка

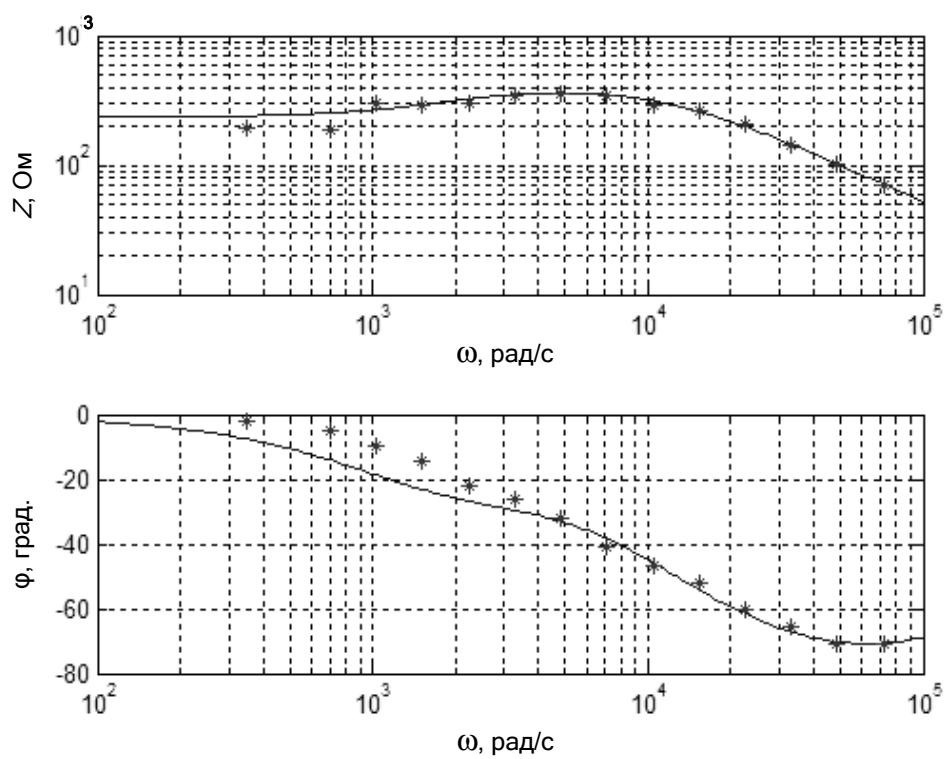


Рис. 2. Результаты аппроксимации комплексной частотной характеристики полиномиальной дробью второго порядка

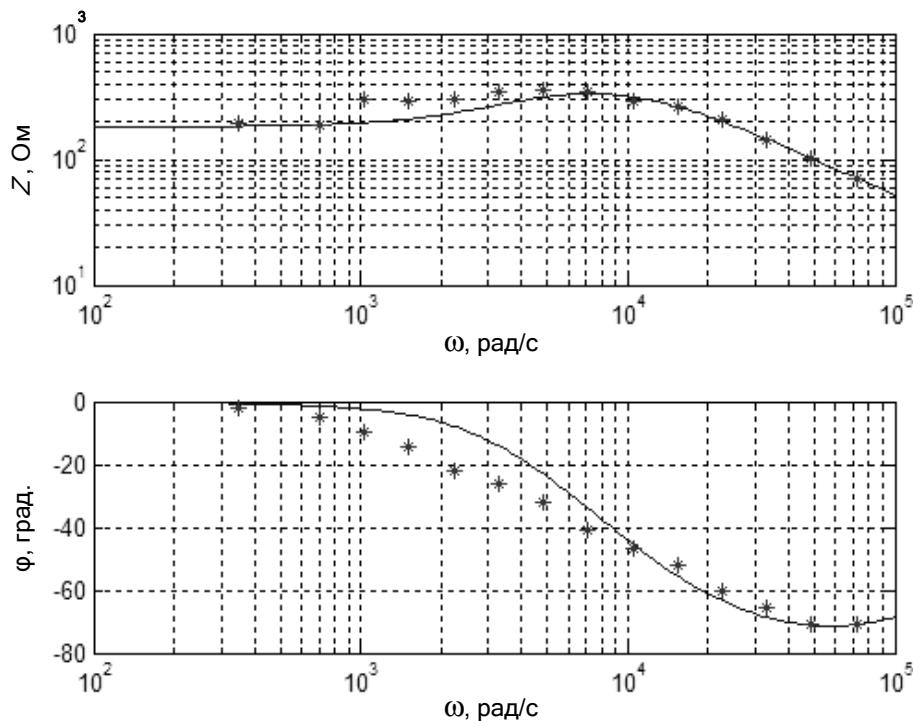


Рис. 3. Результаты аппроксимации комплексной частотной характеристики полиномиальной дробью третьего порядка

тельных коэффициентов a и b , а также к возникновению корней с положительной действительной частью как у числителя, так и у знаменателя. Данный факт свидетельствует о том, что система неустойчивая и, кроме того, не минимально-фазовая. Однако полученный результат не противоречит физическим представлениям о процессе ЭПО, основной особенностью которого является наличие электрических микроразрядов, имеющих отрицательный наклон вольт-амперной характеристики, приводящий к появлению отрицательных динамических сопротивлений в схеме замещения [6]. Кроме того, данный результат показывает, что такая система физически нереализуема с помощью пассивных электротехнических элементов схемы замещения, что свидетельствует об информативности предложенного метода активной идентификации, о сложности процесса ЭПО и необходимости детального исследования полученных оценок АЧХ и ФЧХ методами импедансной спектроскопии для изучения механизма явления. Для идентификации системы как объекта управления в первом приближении достаточно ограничиться моделью первого порядка, отражающей наиболее сильные закономерности в системе.

Аппроксимация КЧХ (1) полиномиальной дробью первого порядка (2) равносильна замене электролизёра, в котором проводится процесс

ЭПО, эквивалентной последовательно-параллельной схемой (рис. 4, *a*). Для рассмотренных в таблице значений коэффициентов полиномов получены следующие номиналы элементов схемы замещения:

$$R_1 = b_1 = 11,05 \text{ Ом}, R_2 = \frac{1}{a_0 C} 35,61 \text{ Ом}, \\ C = \frac{1}{b_0} = 0,236 \text{ мкФ}.$$

Элементам данной схемы замещения можно придать определённый физический смысл: R_1 – сопротивление электролита; R_2 – активное сопротивление оксидного покрытия в ходе ПЭО, связанное как с протеканием тока через каналы микроразрядов, так и с током проводимости покрытия; C – ёмкость оксидного покрытия.

Динамика параметров схемы замещения в зависимости от напряжений U_p и U_n представлена на рис. 5–7. Для установления закономерностей идентификации на рис. 8 приведены кривые для толщины покрытия h , полученные путём аппроксимации экспериментальных данных выражением

$$h = H_s (1 - \exp(-\frac{t}{\tau})),$$

где H_s – предельно достижимая в рассматриваемых условиях толщина покрытия; τ – постоянная времени.

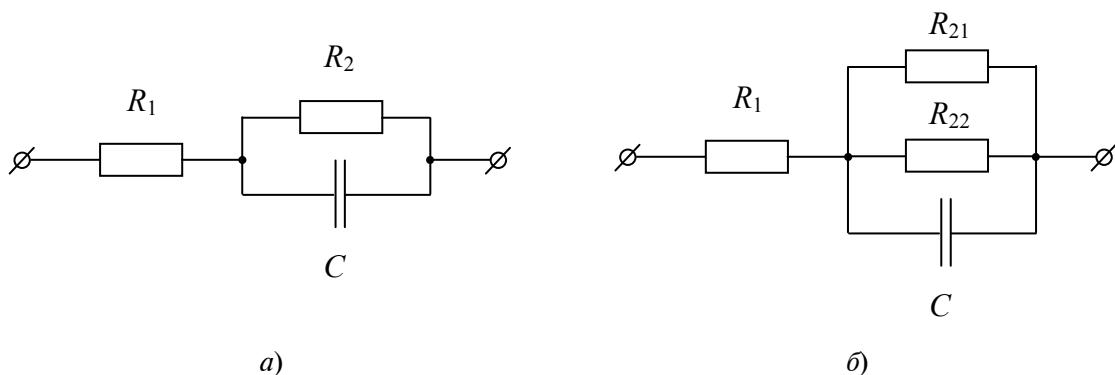


Рис. 4. Эквивалентная последовательно-параллельная схема замещения электролизёра при проведении процесса электролитно-плазменной обработки:
а – расчёчная; б – с разделением проводимости микроразрядов (R_{21}) и утечки (R_{22})

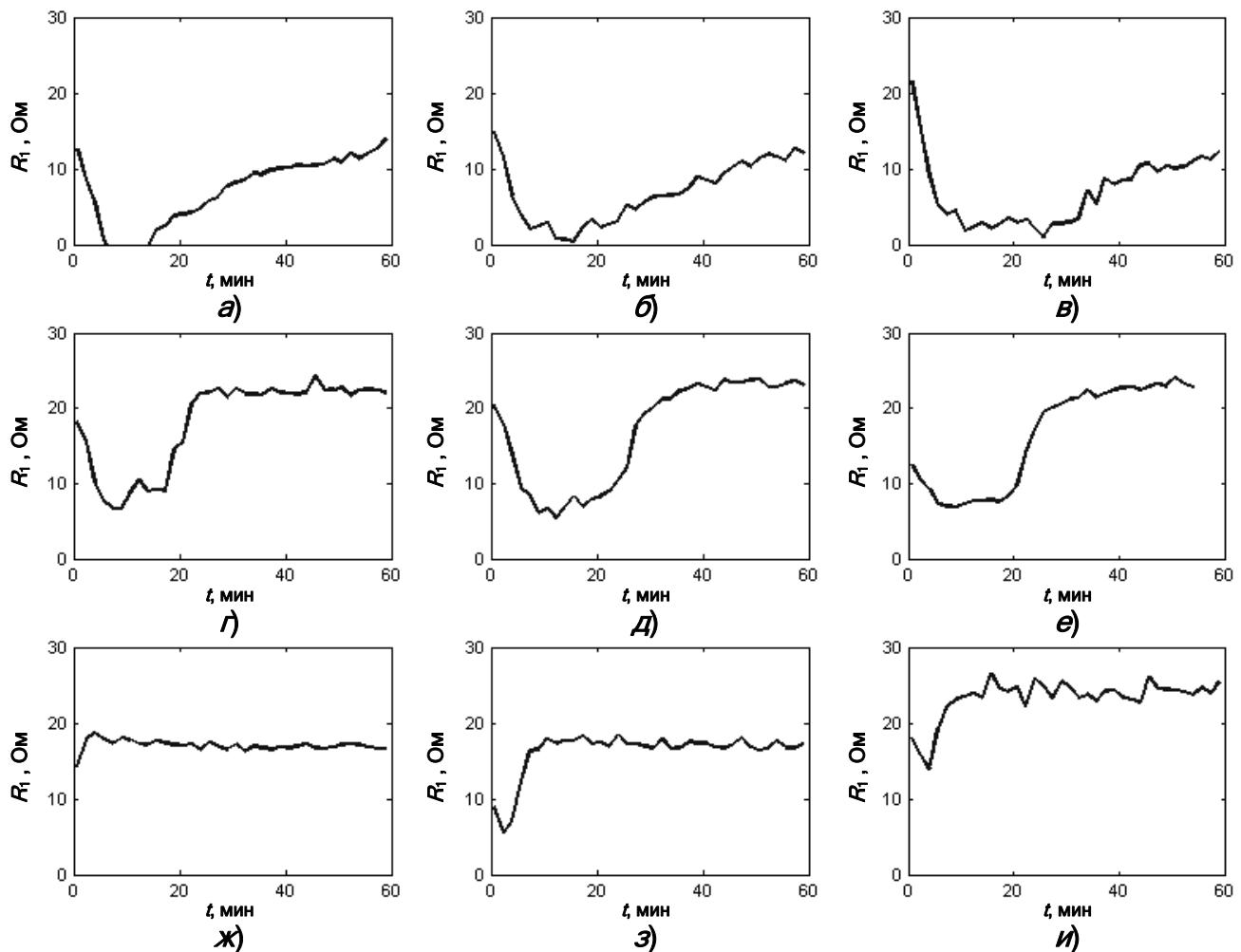


Рис. 5. Динамика сопротивления R_1 при плазменно-электролитическом оксидировании алюминия в зависимости от напряжений положительного и отрицательного импульсов:

а – $U_p = 550$ В, $U_n = 90$ В; б – $U_p = 570$ В, $U_n = 120$ В; в – $U_p = 590$ В, $U_n = 60$ В;
г – $U_p = 485$ В, $U_n = 5$ В; д – $U_p = 505$ В, $U_n = 5$ В; е – $U_p = 525$ В, $U_n = 5$ В;
ж – $U_p = 420$ В, $U_n = 5$ В; з – $U_p = 440$ В, $U_n = 5$ В; и – $U_p = 460$ В, $U_n = 5$ В

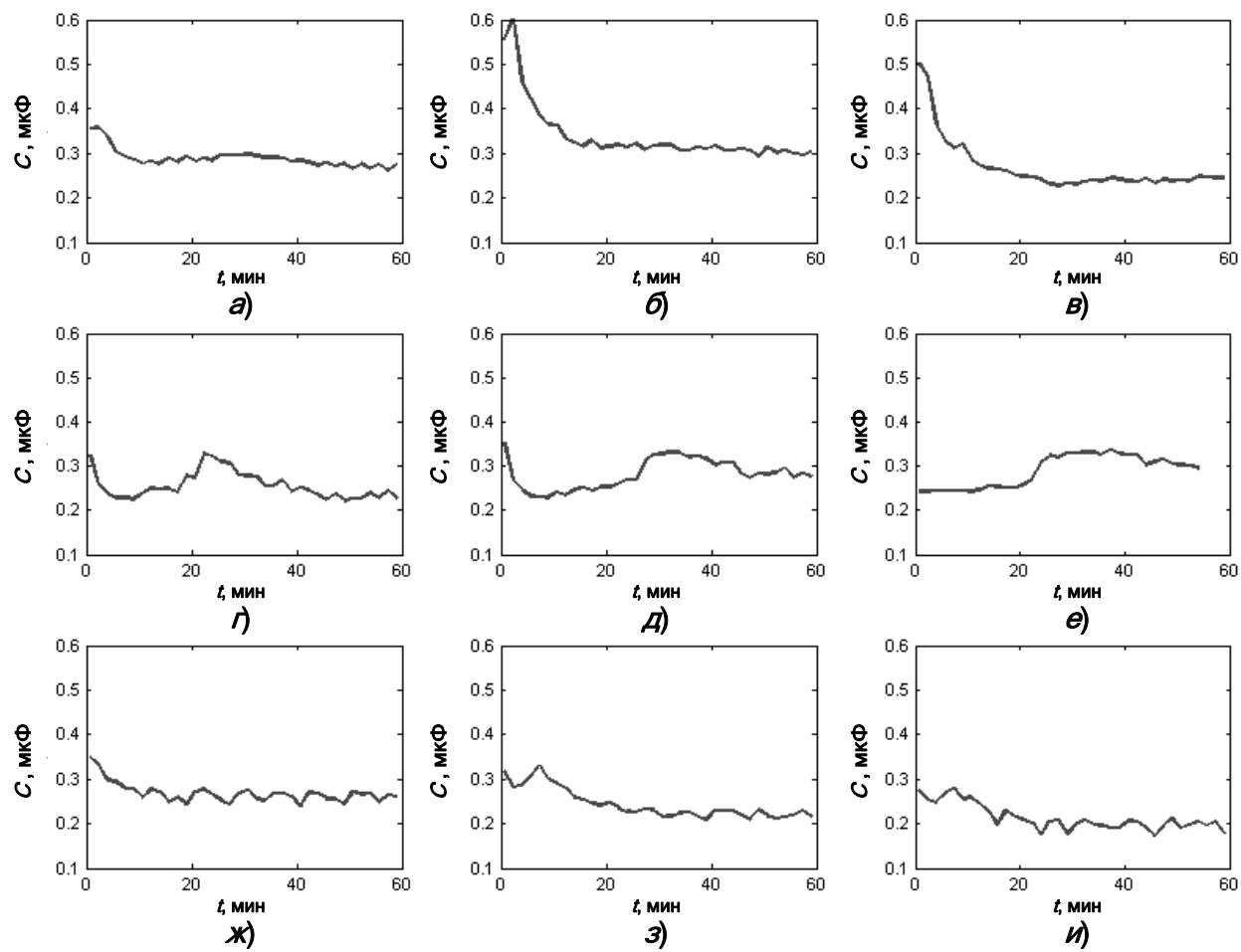


Рис. 6. Динамика ёмкости C при плазменно-электролитическом оксидировании алюминия в зависимости от напряжений положительного и отрицательного импульсов:

$a - U_p = 550$ В, $U_n = 90$ В; $\delta - U_p = 570$ В, $U_n = 120$ В; $\varepsilon - U_p = 590$ В, $U_n = 60$ В;
 $\varepsilon - U_p = 485$ В, $U_n = 5$ В; $\partial - U_p = 505$ В, $U_n = 5$ В; $e - U_p = 525$ В, $U_n = 5$ В;
 $\text{ж} - U_p = 420$ В, $U_n = 5$ В; $\vartheta - U_p = 440$ В, $U_n = 5$ В; $u - U_p = 460$ В, $U_n = 5$ В

Значение параметра R_1 (см. рис. 5) претерпевает изменения в пределах 10–20 Ом. Такое же значение (по порядку величины) даёт оценка сопротивления электролита \hat{R}_1 по идеализированной формуле для сопротивления по току утечки в коаксиальной системе, находящейся под постоянным напряжением [7]:

$$\hat{R}_1 = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi\gamma l} = 7,57 \text{ Ом},$$

где $r_1 = 0,5$ см – радиус анода; $r_2 = 10$ см – радиус катода; $l = 15$ см – высота катода; $\gamma = 4,2$ мСим/см – удельная электропроводность электролита, измеренная экспериментально.

В первые 5–10 мин наблюдается снижение значения сопротивления R_1 и затем его увеличение по окончании фазы активного роста покры-

тия. Данные изменения можно объяснить как прогревом электролита до значений выше 40 °C за счёт значительного тепловыделения в режиме интенсивного роста покрытия в присутствии микроразрядов, так и влиянием других процессов, вошедших в оценку указанного параметра.

Анализ динамики ёмкости C (см. рис. 6) показал, что данный параметр слабо изменяется в зависимости от напряжения и составляет 0,2–0,4 мкФ. Такое неожиданное поведение указанного параметра может быть связано с тем, что ёмкость покрытия формируется в основном тонким барьерным слоем на дне пор, при этом толщина слоя остаётся постоянной. В условиях, благоприятных для роста покрытия (см. рис. 6, δ , ε и 8, δ , ε), ёмкость C снижается в ходе обработки.

Значение параметра R_2 линейно возрастает в пределах 0–500 Ом при интенсивном протекании процесса ПЭО (см. рис. 7, a – c и 8, a – c).

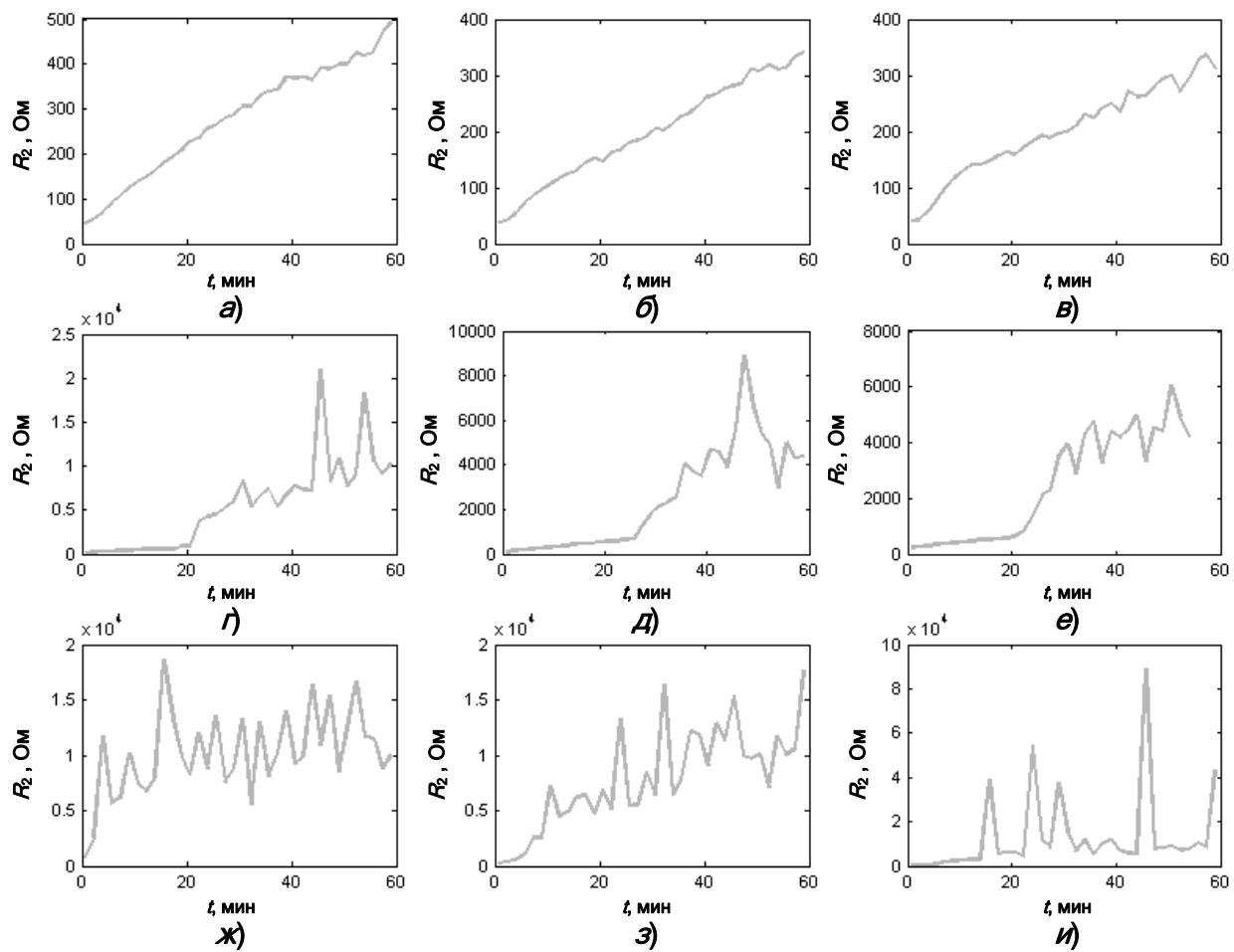


Рис. 7. Динамика сопротивления R_2 при плазменно-электролитическом оксидировании алюминия в зависимости от напряжения положительного и отрицательного импульсов:

| | | |
|---|--|---|
| <i>a</i> – $U_p = 550$ В, $U_n = 90$ В; | <i>б</i> – $U_p = 570$ В, $U_n = 120$ В; | <i>в</i> – $U_p = 590$ В, $U_n = 60$ В; |
| <i>г</i> – $U_p = 485$ В, $U_n = 5$ В; | <i>д</i> – $U_p = 505$ В, $U_n = 5$ В; | <i>е</i> – $U_p = 525$ В, $U_n = 5$ В; |
| <i>ж</i> – $U_p = 420$ В, $U_n = 5$ В; | <i>з</i> – $U_p = 440$ В, $U_n = 5$ В; | <i>и</i> – $U_p = 460$ В, $U_n = 5$ В |

При значительном снижении плотности микроразрядов или по окончании активной фазы процесса и достижении максимально возможной толщины покрытия в заданных условиях, параметр R_2 резко возрастает до 10^3 – 10^4 Ом и продолжает увеличиваться в ходе обработки. Указанный эффект наиболее заметен при сопоставлении данных, представленных на рис. 7, *г*–*е* и 8, *г*–*е* для длительности обработки 20–30 мин. Кроме того, в условиях, не способствующих интенсивному росту покрытия, сопротивление R_2 доходит до значения 10^4 – 10^5 Ом в начальной стадии обработки и продолжает расти со временем (см. рис. 7, *ж*–*и* и 8, *ж*–*и*). Разброс значений R_2 связан с малой величиной регистрируемого тока в указанных условиях. Можно предположить, что значения сопротивления R_2 в диапазоне 1–1000 Ом (удельная проводимость $g_2 = 6450$ – $64,5$ мСим/см²) соответствует протеканию тока проводимости микро-

разрядов, а в диапазоне 10^3 – 10^5 Ом ($g_2 = 64,5$ – $0,65$ мСим/см²) – тока утечки через оксидный слой. Рассмотренное поведение параметра R_2 подтверждает физический смысл, присваиваемый данному сопротивлению.

Сравнение параметров схемы замещения, полученных выше, с параметрами схемы замещения поверхностного слоя после ПЭО, измеренных методом электрохимической импедансной спектроскопии [8], даёт возможность установить следующие закономерности. Во-первых, удельные ёмкости поверхностного слоя, полученные двумя указанными методами, совпадают с точностью не менее 90 %, что позволяет идентифицировать ёмкость поверхностного слоя, например, при изготовлении электролитических конденсаторов. Во-вторых, в условиях интенсивного роста покрытия и в присутствии микроразрядов удельная проводимость g_2 , соответствующая со-

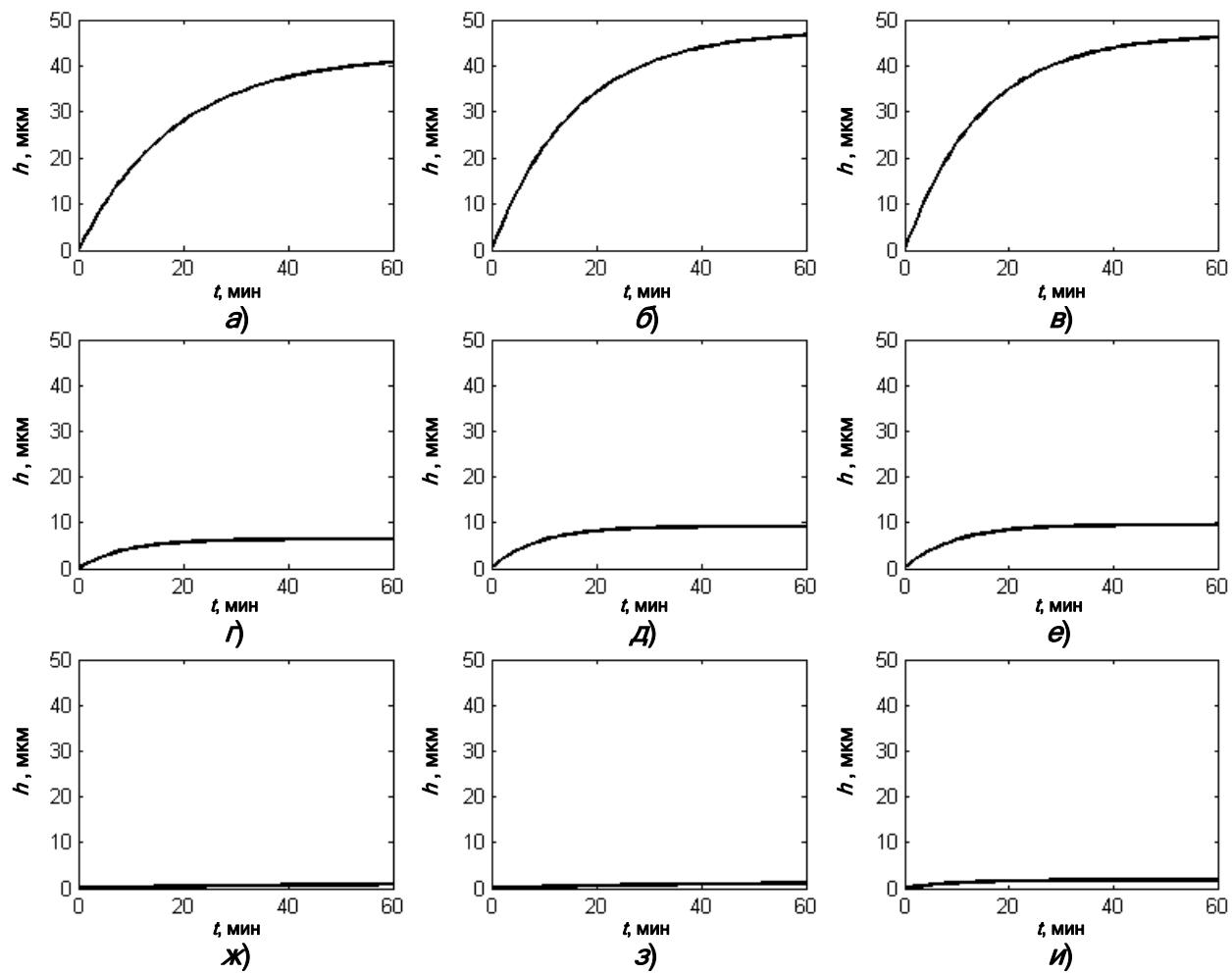


Рис. 8. Динамика толщины покрытия h при плазменно-электролитическом оксидировании алюминия в зависимости от напряжения положительного и отрицательного импульсов:

| | | |
|--|--|--|
| $a - U_p = 550 \text{ В}, U_n = 90 \text{ В};$ | $\delta - U_p = 570 \text{ В}, U_n = 120 \text{ В};$ | $\varepsilon - U_p = 590 \text{ В}, U_n = 60 \text{ В};$ |
| $c - U_p = 485 \text{ В}, U_n = 5 \text{ В};$ | $d - U_p = 505 \text{ В}, U_n = 5 \text{ В};$ | $e - U_p = 525 \text{ В}, U_n = 5 \text{ В};$ |
| $ж - U_p = 420 \text{ В}, U_n = 5 \text{ В};$ | $з - U_p = 440 \text{ В}, U_n = 5 \text{ В};$ | $и - U_p = 460 \text{ В}, U_n = 5 \text{ В}$ |

противлению R_2 , для обоих методов отличается более чем в 20 раз. В-третьих, для обработки при отсутствии микроразрядов, принимая среднее значение $R_2 = 10 \text{ к}\Omega$ во время $t = 60 \text{ мин}$ (см. рис. 7, u), можно получить значение $g_2 = 6,5 \text{ мСим}/\text{см}^2$, что с точностью более 90 % соответствует значению, приведенному в работе [8]. Таким образом, предлагаемый метод диагностики достаточно чувствителен, чтобы измерять проводимость утечки через оксидный слой. Кривые сопротивления R_2 позволяют выявить действующие одновременно проводимости микроразрядов и утечки. Поэтому в схему замещения вместо одного сопротивления R_2 следует ввести резисторы R_{21} и R_{22} (см. рис. 4, δ).

Следовательно, использование схемы замещения позволяет отделить сопротивление электролита от сопротивления формирующегося покры-

тия, а также выделить ёмкость покрытия. Анализ динамики сопротивления формирующегося покрытия позволяет выявить наличие двух параллельных каналов протекания тока — через проводимость микроразрядов и проводимость утечки покрытия и свидетельствует о том, что микроразряды в электролитной плазме обладают активным типом проводимости. Рост сопротивления формирующегося покрытия в ходе обработки сильно коррелирован с ростом толщины покрытия, что позволяет идентифицировать состояние поверхности в ходе обработки. Кроме того, заметный переход сопротивления формирующегося покрытия от проводимости микроразрядов к проводимости утечки позволяет определить момент окончания процесса ПЭО, соответствующий достижению максимально возможной толщины покрытия в данных условиях обработки.

Таким образом, предложен метод диагностики параметров процесса ЭПО, основанный на измерении комплексных частотных характеристик электролизёра и позволяющий получить оценку передаточной функции процесса в виде линейной модели с медленно изменяющимися параметрами, зависящими от условий обработки. По данной модели возможна диагностика параметров процесса ЭПО как электрической нагрузки, позволяющая автоматизировать технологический процесс и улучшить понимание механизма явлений при ЭПО.

Авторы выражают благодарность Федеральному агентству по науке и инновациям, при финансовой поддержке которого была выполнена работа по государственному контракту № 02.444.11.7245 в ходе совместных исследований в Университете Шеффилда (Великобритания).

Библиографические ссылки

1. Суминов И.В. и др. Микродуговое оксидирование: теория, технология, оборудование / М.: Экомет, 2005. 368 с.

2. Yerokhin A.L. Plasma electrolysis for surface engineering. Review / A.L. Yerokhin, X. Nie, A. Leyland, A. Matthews, S.J. Dowey // Surface and Coatings Technology. 1999. Vol. 122. P. 73–79.

3. Frequency response studies for the plasma electrolytic oxidation process / E.V. Parfenov, A.L. Yerokhin, A. Matthews // Surface and Coatings Technology. 2007. Vol. 201. P. 8661–8670.

4. Gardner W.A. Statistical spectral analysis: A non-probabilistic theory. New Jersey: Prentice Hall, 1987. 566 p.

5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления / СПб.: Профессия, 2004. 752 с.

6. Основы теории цепей / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 527 с.

7. Демирчян К.С. и др. Теоретические основы электротехники: Учебник для вузов / М.: Питер, 2004. Т. 3. 2004. 376 с.

8. Parfenov E.V., Yerokhin A.L., Matthews A. Impedance spectroscopy characterisation of PEO process and coatings on aluminium // Thin Solid Films. 2007. Vol. 516. P. 428–432.



СПРАВОЧНИК СЛЕСАРЯ-МОНТАЖНИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

Серия справочников для рабочих

В.И. Голованов, П.П. Алексеенко, В.А. Калугин и др.

2010 г. 640 с. ISBN 978-5-94275-528-7

Цена 1300 р.

Изложены основы строительно-монтажного производства, система обеспечения безопасности при выполнении монтажных работ. Даны основы и практические рекомендации по эффективной деятельности монтажных предприятий и организаций в современных рыночных отношениях. Главное внимание обращено на вопросы технологической подготовки производства, методы осуществления основных монтажных работ, приемы выполнения слесарных, сборочных и вспомогательных работ и обеспечение их безопасного производства. Приведены сведения о составе и технологической структуре процессов и операций, выполняемых при монтаже оборудования промышленных предприятий. Представлены характеристики точности, технические характеристики инструмента, машин и приспособлений, используемых монтажниками. Рассмотрены вопросы испытания и ввода оборудования в эксплуатацию, а также организации оплаты труда в монтажных организациях.

По сравнению со вторым изданием содержание справочника значительно видоизменено, а объем увеличен. Введены новые главы: "Основы строительно-монтажного производства", "Обеспечение безопасности при производстве строительно-монтажных работ", "Нормирование и оплата труда монтажников". Приведены новые виды инструментов и приспособлений и их характеристики. Дополнены отдельные главы и внесены изменения в технологию и процессы монтажа оборудования. Обновлена система стандартов и внесены соответствующие изменения в справочник.

Справочник предназначен для слесарей-монтажников промышленного и технологического оборудования, рабочих смежных специальностей, учащихся специальных учебных заведений, техникумов и колледжей.

107076, г. Москва, Строгинский пер., 4; факс: (499) 269-48-97; e-mail: realiz@mashin.ru

Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98

и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 541.135.5

И.Г. Гвоздева, А.Н. Кошев, д-р хим. наук, проф., В.К. Варенцов, д-р техн. наук, проф.
(Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)

gvozdev@pguas.ru

РАСЧЁТ ОПТИМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ РЕАКТОРОВ С ПРОТОЧНЫМИ ТРЁХМЕРНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Приведён алгоритм расчёта электропроводности твёрдой фазы системы как функции координаты по толщине электрода для обеспечения равномерного распределения электрохимического процесса по толщине трёхмерного пористого электрода (ТПЭ). Проведено численное исследование закономерностей работы ТПЭ при различном распределении электропроводности по толщине проточного электрода.

Ключевые слова: электрохимическая система, пористый электрод, математическая модель, оптимизация, алгоритм расчёта.

Electroconductivity calculation algorithm of the hard phase system as coordinate function along thickness of the three-dimensional porous electrode (TDPE) is adduced. Numerical research of the TDPE work appropriateness with electroconductivity different distribution along thickness of the porous electrode is accomplished.

Key words: electrochemical system, porous electrode, mathematical model, optimization, calculation algorithm.

Электрохимические реакторы с трёхмерным пористым электродом (ТПЭ) на основе углеродных волокнистых материалов (УВМ) используются для интенсификации различных окислительно-восстановительных процессов, в том числе для извлечения металлов из растворов электролитов [1–3]. Одной из основных задач оптимизации работы такого рода реакторов является обеспечение высокой эффективности электрохимического процесса, что подразумевает равномерное осаждение металла на реакционной поверхности с высокой скоростью.

Для нахождения оптимальных условий электролиза требуется изучение физико-химических закономерностей процесса восстановления электроактивных компонентов на ТПЭ. При этом большое значение имеет учёт изменения параметров, характеризующих систему «электрод – раствор», в течение протекания процесса (например, электропроводности твёрдой и жидкой фаз, коэффициента массопереноса, пористости, реакционной поверхности, линейной скорости протока электролита, а также кинетических параметров процесса). Все эти параметры имеют распределённый характер по толщине электрода [1, 4, 5].

Одним из эффективных управляющих параметров работы электрохимической системы с ТПЭ является электропроводность материала, из которого изготовлен электрод. Наибольший интерес представляет случай, когда в качестве материала катода используется УВМ с неодинаковыми электропроводящими свойствами в различных точках по толщине ТПЭ.

Такого рода электроды могут быть из УВМ с разным исходным сопротивлением. Основным недостатком этих электродов является наличие переходных границ, что предопределяет скачок электропроводности в области контакта слоев УВМ. В настоящее время возможно использовать углеродные волокнистые электроды с непрерывно изменяющейся по толщине электрода электропроводностью. Электроды такого вида можно получить катодной или анодной обработкой исходного материала в растворах кислоты, щёлочи или соли. Профиль электропроводности по толщине электрода обеспечивается режимом электролиза, природой и составом электролита и видом исходного УВМ [6, 7].

Наиболее эффективным аппаратом исследования и подбора оптимальных условий функционирования ТПЭ является математическое моделирование. В работе [5] изложены основные подходы и программа исследований закономерностей функционирования ТПЭ из УВМ методами математического моделирования и экспериментальными методами для различных окислительно-восстановительных процессов, в том числе для электроосаждения металлов. В работе [8] описана постановка задачи оптимального управления, где в качестве управляющего воздействия выбрана зависимость электропроводности углеграфитовой основы проточного электрода и намечены пути решения задачи.

Однако при реализации разработанных методов нахождения оптимального распределения электропроводности УВМ возникают трудности.

Во-первых, расчёт оптимального математического управления является сложной задачей вычислительной математики. При использовании предложенного подхода необходимо учитывать специфику каждой конкретной исследуемой системы при проведении расчётов, т. е. такой метод наиболее эффективен при решении конкретной задачи оптимизации электропроводности электрода. Во-вторых, для определения электропроводности ТПЭ как решения задачи оптимального математического управления необходимо начальное приближение к решению, достаточно близкое к оптимальному. В противном случае итерационный процесс оптимизации может не привести к оптимальному результату.

Цель данной работы – построение алгоритма расчёта электропроводности твёрдой фазы системы как функции координаты по толщине электрода для обеспечения равномерного распределения электрохимического процесса по толщине ТПЭ. При этом предлагается решать задачу как задачу математического программирования, а не как оптимального управления.

Кроме того, численно исследовались закономерности работы ТПЭ при разном распределении электропроводности по толщине проточного электрода. Равномерное распределение электрохимического процесса по толщине электрода особенно важно при электроосаждении металлов на УВЭ, так как оно определяет максимально возможное количество металла, осаждаемого на единицу массы электрода.

Ниже приведён вывод дифференциального уравнения, связывающего функции плотности тока $J(x)$ и потенциала $E(x)$ в каждой точке x ТПЭ, когда удельная электропроводность твёрдой фазы χ_T есть функция от координаты $\chi_T(x)$.

Введём обозначения:

$J_T(x)$ – плотность тока в твёрдой фазе пористой системы в точке электрода x ;

$J_{\text{ж}}(x)$ – плотность тока в жидкой фазе пористой системы в точке электрода x ;

$J(x)$ – общая плотность тока в точке электрода x ;

$\chi_T(x), \chi_{\text{ж}}(x)$ – удельные сопротивления твёрдой и жидкой фаз;

$E(x)$ – потенциал в точке электрода с координатой x ;

S_v – удельная реакционная поверхность;

$E'(x)$ – производная от потенциала по переменной x ;

$E''(x)$ – вторая производная от потенциала по переменной x ;

$\chi'_T(x), \chi'_{\text{ж}}(x)$ – производные по x от удельных сопротивлений твёрдой и жидкой фаз;

$J'_T(x), d'_{\text{ж}}(x)$ – производные от плотностей тока.

В соответствии с известными положениями [11], если $\chi_T(x), \chi_{\text{ж}}(x)$ константы, то

$$J_T(x) + J_{\text{ж}}(x) = 0; \quad (1)$$

$$\frac{J_T(x)}{\chi_T} - \frac{J_{\text{ж}}(x)}{\chi_{\text{ж}}} = E'(x); \quad (2)$$

$$J'_T(x) = S_v J_s(x); \quad (3)$$

$$-d'_{\text{ж}}(x) = S_v J_s(x). \quad (4)$$

Предположим, что $\rho_T(x) = \frac{1}{\chi_T(x)}$; $\rho_{\text{ж}}(x) = \frac{1}{\chi_{\text{ж}}(x)}$, тогда выражение (2) запишется в виде

$$J_T(x) \rho_T(x) - J_{\text{ж}}(x) \rho_{\text{ж}}(x) = E'(x). \quad (5)$$

При дифференцировании этого выражения получим

$$E''(x) = (J_T(x) \rho_T(x) - J_{\text{ж}}(x) \rho_{\text{ж}}(x))' \Leftrightarrow$$

$$E''(x) = J'_T(x) \rho_T(x) + J_T(x) \rho'_T(x) -$$

$$- J'_{\text{ж}}(x) \rho_{\text{ж}}(x) - J_{\text{ж}}(x) \rho'_{\text{ж}}(x).$$

Следовательно, из выражений (3) и (4) получим

$$E''(x) = S_v J_s(x) (\rho_T(x) + \rho_{\text{ж}}(x)) + J_T(x) \rho'_T(x) - J'_{\text{ж}}(x) \rho'_{\text{ж}}(x). \quad (6)$$

Предположим, что $\rho_{\text{ж}}$ – константа и, следовательно, $\rho'_{\text{ж}}(x) = 0$.

Решая уравнения (1) и (5) как систему уравнений относительно величин $J_T(x), J_{\text{ж}}(x)$ и подставляя решения в выражение (6), получим

$$E''(x) = S_v J_s(x) (\rho_T(x) + \rho_{\text{ж}}(x)) + \frac{1}{\rho_{\text{ж}}(x) + \rho_T(x)} \times E'(x) \rho'_T(x). \quad (7)$$

Переходя к удельным сопротивлениям, окончательно имеем

$$\begin{aligned} \frac{d^2 E}{dx^2} &= - \frac{\chi'_T(x) \chi_{\text{ж}}}{\chi_T(x)(\chi_T(x) + \chi_{\text{ж}})} \frac{dE}{dx} + \\ &+ S_v \left(\frac{1}{\chi_T(x)} + \frac{1}{\chi_{\text{ж}}} \right) J_s(x). \end{aligned} \quad (8)$$

Изменение профиля электропроводности электрода учитывалось по способу, описанному в работе [10].

Функция $J(x)$ в общем случае может быть представлена как функция потенциала электрода и концентрации электроактивного компонента $C(x)$:

$$J(x) = j_0 [\exp(\alpha ZFE(x)/RT) - \exp((\alpha - 1)ZFE(x)/RT)]/[1 + j_0 \exp(\alpha ZFE(x)/RT)/ZFK_m C(x)]. \quad (9)$$

Кроме того, плотность тока $J(x)$ и концентрация электроактивного компонента $C(x)$ связаны уравнением

$$\frac{dC}{dx} = -\frac{S_v}{wZF} J(x). \quad (10)$$

В уравнениях (9) и (10) j_0 – плотность тока обмена; K_m – коэффициент массопереноса ($K_m = 1,9 \cdot 10^{-2} w^{0,35}$) [9]; w – линейная скорость протока электролита.

Начальные и граничные условия запишем в виде

$$\frac{dE}{dx}(0) = -\frac{J_{cp}}{\chi_T(0)}; \frac{dE}{dx}(L) = -\frac{J_{cp}}{\chi_{jk}}; C(0) = C_0. \quad (11)$$

Уравнения (8) – (11) полностью описывают распределение потенциала и тока в порах ТПЭ при электроосаждении одного компонента, если пренебречь процессом выделения водорода, который при необходимости может быть учтён.

Таким образом, задача заключается в определении функции $\chi_T(x)$, чтобы решение уравнений (8) – (11) удовлетворяло критерию наилучшей равномерности распределения тока:

$$\int_0^L \left| E(x) - \frac{\int_0^L E(x) dx}{L} \right| dx \rightarrow \min. \quad (12)$$

Функцию распределения электропроводности УВМ по толщине пористого электрода, вид которой необходим для проведения численных экспериментов, принимали как постоянной, так и в виде линейной и квадратичной зависимости χ_T от координаты x .

Если зависимость электропроводности твёрдой фазы χ_T от координаты по толщине электрода x представить в виде параболы $\chi_T(x) = Ax^2 + Bx + C$, то, выбрав оптимальным образом коэффициенты A , B и C , можно улучшить равномерность распре-

деления электрохимического процесса по объёму электрода.

Заметим, что если принудительно принять $A=0$, $B=0$, то после оптимизации получим значение $\chi_T(x)$ в виде постоянной величины, а если только $A=0$, то в виде линейной формы.

Таким образом, в математической постановке получаем задачу многомерной оптимизации с нелинейным критерием (12). В качестве ограничений на параметры оптимизации и решение принимались естественные ограничения на значения потенциала электрода и его электропроводность.

Задача оптимизации решалась в два этапа. Сначала находили приближение к оптимальным значениям коэффициентов функции $\chi_T(x)$ методом перебора следующим образом. Строили график, где ось x соответствует толщине электрода, а ось y – значениям электропроводности электрода. Поочередно вершину параболы помещали в каждый узел сетки, в зависимости от значения коэффициента C , а затем вычислялись значения коэффициентов A и B . Далее решали систему дифференциальных уравнений и вычисляли критерий оптимизации. По окончании первого этапа были найдены значения коэффициентов A , B и C , при которых критерий оптимизации имеет минимально возможное значение по принятому алгоритму. Эти значения представляют собой некоторое приближение к оптимуму, поэтому далее их уточняли методом покоординатного поиска. Кроме того, при решении задачи оптимизации на каждом шаге следили, чтобы значения электропроводности находились в заданных допустимых границах.

Описанный алгоритм решения задачи позволяет, во-первых, свести оптимизацию к наименьшему числу шагов и, во-вторых, отслеживать все локальные минимумы целевой функции.

На каждом шаге итерационного процесса поиска оптимума решалась задача Коши для системы дифференциальных уравнений (8) – (11). Причём, для её решения каждый раз необходимо находить недостающее начальное условие $E(0)$. Система дифференциальных уравнений решалась методом Рунге–Кутта. Недостающее начальное условие находили известным в вычислительной математике «методом стрельбы».

Программа вычислений выполнена в интегрированной вычислительной среде MathCad. Там же построены все графические зависимости.

Параметры электрода и электролита, используемые при проведении расчётов, соответствовали системе для извлечения серебра из тиомочевинных растворов на электрод из УВМ (табл. 1).

При расчётах использовался электрод с тыльным токоподводом и тыльной подачей раствора в электрод, т. е. наиболее распространённая в практике конструкция электрохимических реакторов с углеродно-волокнистыми электродами (УВЭ) [2].

Наилучшие результаты расчётов оптимального распределения электропроводности по толщине объёмно-пористого электрода, характеризуемые равномерностью распределения серебра по толщине электрода и степенью его извлечения, приведены в табл. 2.

Заметим, что для всех приведённых параметров процесса степень извлечения серебра из раствора вычислялась по формуле $R = 1 - \frac{C_L}{C_0}$ при одно-

кратном прохождении раствора сквозь объём электрода.

На рис. 1 и 2 приведены кривые распределения электропроводности, иллюстрирующие расчёты, приведённые в табл. 2, и соответствующие им кривые распределения потенциала.

В строках 1–3 табл. 2 приведены характеристики линейного распределения электропроводности основы ТПЭ, а на рис. 1 – соответствующие им результаты расчётов распределения потенциа-

Таблица 1

Параметры электрода и электролита, используемые при проведении расчётов

| Параметр | Обозначение | Значение | Размерность |
|----------------------------------|-------------------|-----------|---------------------------------|
| Электропроводность электролита | $\chi_{\text{ж}}$ | 0,1 | $\text{См}\cdot\text{асм}^{-1}$ |
| Скорость протока раствора | w | 0,5 | см/с |
| Удельная реакционная поверхность | Sv | 300 | $\text{см}^2/\text{см}^3$ |
| Ток обмена | j_0 | 10^{-5} | $\text{А}/\text{см}^2$ |
| Габаритная плотность тока | $J_{\text{ср}}$ | 0,2 | $\text{А}/\text{см}^2$ |
| Концентрация | C_0 | 10^{-5} | $\text{моль}/\text{см}^3$ |
| Коэффициент переноса | α | 0,5 | – |
| Заряд иона | Z | 1 | – |
| Толщина электрода | L | 0,4 | см |
| Равновесный потенциал серебра | E_p | -0,07 | В |

Таблица 2

Наилучшие результаты расчётов оптимального распределения электропроводности по толщине объёмно-пористого электрода

| № п/п | $\chi_T(x) = Ax^2 + Bx + C$ | | | Показатель равномерности, K_p | Степень извлечения, R | Примечание | | | | |
|-------|-----------------------------|--------|-----|---------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------|-------------|
| | A | B | C | | | Вид функции | Расположение вершины | Направление ветвей | min функции | max функции |
| 1 | | | 0,2 | 0,011304 | 0,424 | Прямая | | | 0,2 | 0,2 |
| 2 | | 0,25 | 0,1 | 0,012850 | 0,465 | Возрастающая прямая | | | 0,1 | 0,2 |
| 3 | | -1 | 0,5 | 0,009508 | 0,284 | Убывающая прямая | | | 0,1 | 0,5 |
| 4 | -22,5 | 9 | 0,1 | 0,008740 | 0,419 | Парабола | В центре | Вниз | 0,1 | 1 |
| 5 | 10 | -4 | 0,7 | 0,015652 | 0,431 | Парабола | В центре | Вверх | 0,3 | 0,7 |
| 6 | -1,315 | 0,026 | 0,3 | 0,0090009 | 0,317 | Парабола | Слева $x = 0,01$ | Вниз | 0,1 | 0,3 |
| 7 | 2,63 | -0,053 | 0,3 | 0,0135555 | 0,483 | Парабола | Слева $x = 0,01$ | Вверх | 0,3 | 0,7 |
| 8 | -0,625 | 0,5 | 0,1 | 0,0125456 | 0,495 | Парабола | Справа | Вниз | 0,1 | 0,2 |
| 9 | 5,625 | -4,5 | 1 | 0,0115009 | 0,254 | Парабола | Справа | Вверх | 0,1 | 1 |

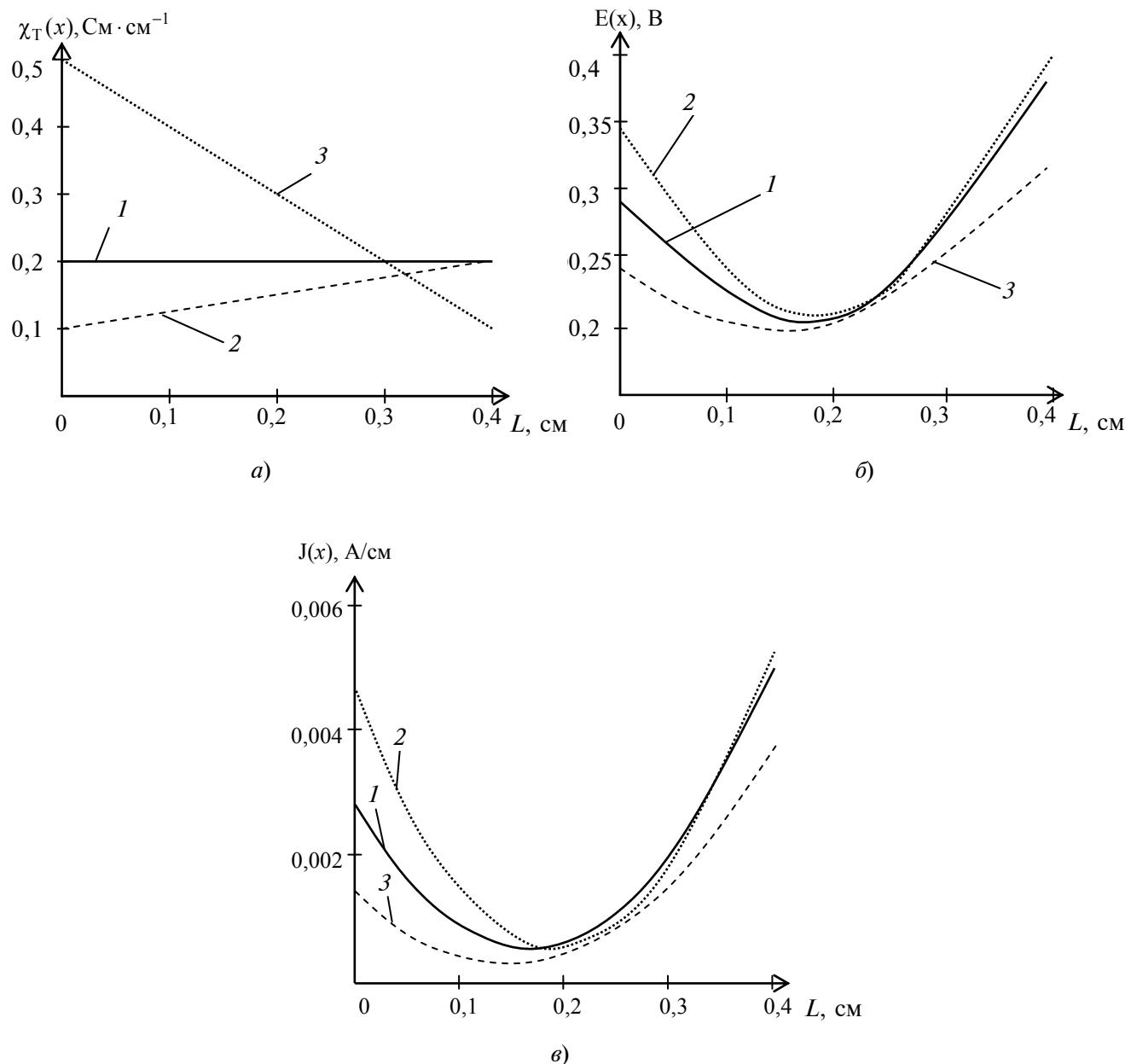


Рис. 1. Распределение электрохимических функций при линейной форме распределения электропроводности трёхмерного пористого электрода:
 a – электропроводности; b – потенциала; c – тока;
 1–3 – распределения, соответствующие строкам 1–3 табл. 2.

ла и тока по толщине электрода. Из рассмотренных вариантов лучшим с точки зрения равномерности распределения тока по толщине электрода является распределение $\chi_T(x)$ в виде убывающей линейной формы. Характер распределения потенциала по толщине электрода для линейных профилей электропроводности по толщине электрода логичен и согласуется с известными теоретическими представлениями о работе ТПЭ. В рассматриваемых случаях наибольшее значение потенциала наблюдается на фронтальной стороне электрода.

В строках 4–8 табл. 2 приведены параметры параболических распределений электропроводности ТПЭ по толщине электрода. При этом вершины парабол фиксировались в разных точках по толщине электрода. Ветви параболы могли быть направлены как вверх, так и вниз относительно координатной оси. Лучший результат достигнут, когда парабола ориентирована выпуклостью вверх.

Чтобы убедиться, что данная тенденция сохраняется независимо от исходных данных, были проведены расчёты с другим значением электро-

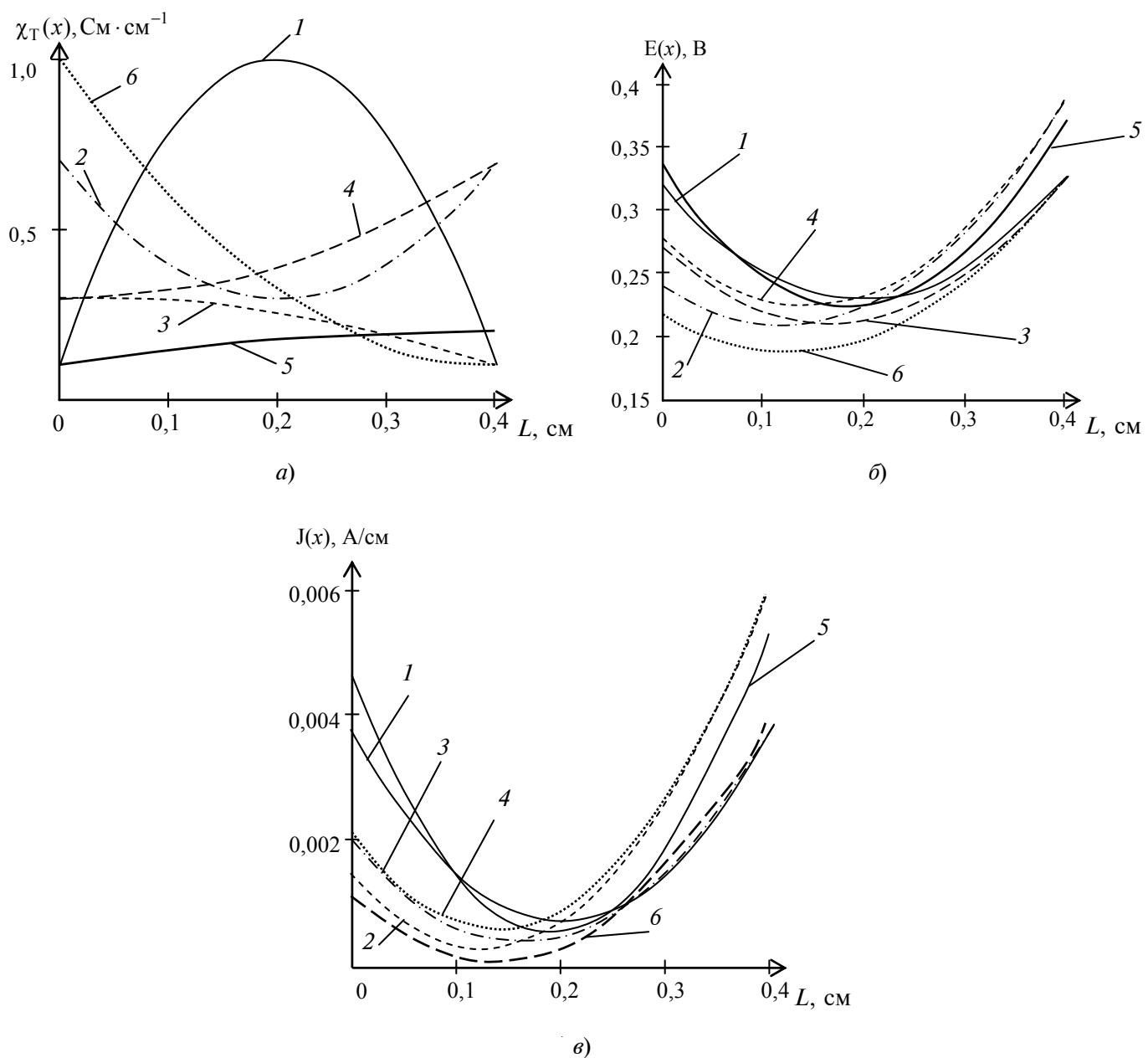


Рис. 2. Распределение электрохимических функций при параболической форме распределения электропроводности трёхмерного пористого электрода:

a – электропроводности; *б* – потенциала; *в* – тока;
 1–6 – распределения, соответствующие строкам 4–9 (см. табл. 2).

проводности жидкой фазы ($\chi_{ж}=0,2 \text{ См} \cdot \text{см}^{-1}$). Результаты показаны в табл. 3.

Результаты расчётов позволяют сделать вывод о том, что лучшими из рассмотренных форм кривых распределения электропроводности являются убывающая линейная (строка 3 табл. 2 и 3) и выпуклая вверх параболическая (строка 4 табл. 2 и 3) зависимости $\chi_T(x)$. Вместе с тем следует отметить, что равномерное распределение электрохимического процесса по толщине электрода не обуславливает высокую степень извлечения металла (R). Наиболее равномерное распределение

электрохимического процесса для выбранной системы (электроосаждение серебра из сернокислого тиомочевинного раствора) соответствует параболическому изменению удельной электропроводности по толщине электрода. Обеспечение достаточно равномерного распределения процесса осаждения серебра по толщине электрода и его высокой степени извлечения ($> 0,4$) при однократном прохождении раствора сквозь объём электрода также характерно для параболического профиля электропроводности со смещённой от центра вершиной параболы.

Таблица 3

Наилучшие результаты расчётов оптимального распределения электропроводности по толщине объёмно-пористого электрода ($\chi_{\text{ж}}=0,2 \text{ См}\cdot\text{см}^{-1}$)

| № п/п | $\chi_T(x)=Ax^2+Bx+C$ | | | Показатель равномерности, K_p | Степень извлече- ния, R | Примечание | | | | |
|----------|-----------------------|--------|-----|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| | A | B | C | | | Вид функции | Распо- ложение верши- ны | Направление ветвей | \min функ- ции | \max функ- ции |
| 1 | | | 0,3 | 0,007569 | 0,438 | Прямая | | | 0,3 | 0,3 |
| 2 | | 0,25 | 0,3 | 0,007921 | 0,467 | Возрас- тающая прямая | | | 0,2 | 0,3 |
| 3 | | -0,75 | 0,5 | 0,006556 | 0,345 | Убываю- щая прямая | | | 0,2 | 0,5 |
| 4 | -20 | 8 | 0,2 | 0,005846 | 0,435 | Парабола | В центре | Вниз | 0,2 | 1 |
| 5 | 10 | -4 | 0,7 | 0,010417 | 0,447 | Парабола | В центре | Вверх | 0,3 | 0,7 |
| 6 | -1,972 | 0,039 | 0,5 | 0,006277 | 0,344 | Парабола | Слева $x = 0,01$ | Вниз | 0,2 | 0,5 |
| 7 | 2,63 | -0,053 | 0,3 | 0,008852 | 0,521 | Парабола | Слева $x = 0,01$ | Вверх | 0,3 | 0,7 |
| 8 | -0,625 | 0,5 | 0,2 | 0,00799 | 0,478 | Парабола | Справа | Вниз | 0,2 | 0,3 |
| 9 | 5 | -4 | 1 | 0,007795 | 0,295 | Парабола | Справа | Вверх | 0,2 | 1 |

Таблица 4

Расчёты распределения электропроводности с наибольшей степенью извлечения металла

| № п/п | $\chi_T(x)=Ax^2+Bx+C$ | | | Показа- тель равно- мерности K_p (по потен- циальну) | Показа- тель равно- мерности K_p (по току) | Степень извлече- ния R | Примечание | | | | |
|----------|-----------------------|--------|-------|---|--|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------|------------------------|
| | A | B | C | | | | Вид функции | Располо- жение вершины | Нап- рав- ление ветвей | \min функ- ции | \max функ- ции |
| 1 | | | 1 | 0,015899 | 0,000487 | 0,431 | Прямая | | | 1 | 1 |
| 2 | | 1,75 | 0,1 | 0,014047 | 0,000441 | 0,5949 | Возрас- тающая прямая | | | 0,1 | 0,2 |
| 3 | | -0,5 | 0,6 | 0,013800 | 0,000422 | 0,406 | Убы- вающая прямая | | | 0,1 | 0,5 |
| 4 | -10 | 4 | 0,3 | 0,011317 | 0,000355 | 0,428 | Парабола | В центре | Вниз | 0,3 | 0,7 |
| 5 | 22,5 | -9 | 1 | 0,179936 | 0,000533 | 0,4336 | Парабола | В центре | Вверх | 0,1 | 1 |
| 6 | -2,63 | 0,053 | 0,7 | 0,013365 | 0,000394 | 0,376 | Парабола | Слева $x = 0,01$ | Вниз | 0,3 | 0,7 |
| 7 | 5,917 | -0,118 | 0,101 | 0,014881 | 0,000068 | 0,601 | Парабола | Слева $x = 0,01$ | Вверх | 0,1 | 1 |
| 8 | -5,63 | 4,5 | 0,1 | 0,013642 | 0,000067 | 0,601 | Парабола | Справа | Вниз | 0,1 | 1 |
| 9 | 3,125 | -2,5 | 1 | 0,015195 | 0,000085 | 0,399 | Парабола | Справа | Вверх | 0,5 | 1 |

Данные, приведённые в табл. 4, показывают, что высокая степень извлечения серебра обеспечивается в условиях неоптимальных с точки зрения равномерного распределения целевого электрохимического процесса по толщине электрода, что также согласуется с теоретическими представлениями о функционировании электродов из УВМ. Известно, что высокая степень извлечения металла на УВЭ достигается в условиях работы всего или значительного объёма электрода на предельном диффузионном токе. В этом случае распределение процесса по толщине электрода является неравномерным, так как подчиняется экспоненциальной зависимости.

В табл. 4 представлены расчёты распределения электропроводности с наибольшей степенью извлечения металла. Из таблицы видно, что больше всего металла извлекается, когда функция распределения электропроводности возрастает (будь то прямая или кривая параболы).

Очевидно, что оптимальное распределение электропроводности по толщине электрода будет определяться индивидуальными свойствами системы «электрод – раствор» (удельной электропроводностью раствора и электродного материала, кинетикой электродного процесса), толщиной электрода, режимом тока и гидродинамики, наличием параллельно протекающих электродных реакций и др.

Параметры A , B , C зависимости $\chi_T(x)$ должны определяться оптимизацией для каждого конкретного электрохимического процесса электроосаждения на проточном объёмно-пористый электрод.

Приведённые результаты свидетельствуют о корректности предложенного подхода для решения поставленной задачи и позволяют в дальнейшем рассмотреть влияние параметров электрода, электролита и процесса электролиза на оптимальное распределение электропроводности ТПЭ в процессах, связанных с осаждением металлов, с учётом основных положений проведения исследований в этом направлении, изложенных в работах [5, 8].

Библиографические ссылки

1. **Варенцов В.К.** Интенсификация электрохимических процессов / Под ред. А.П. Томилова. М.: Наука, 1988. С. 94–118.
2. **Варенцов В.К.** Электрохимические реакторы с УВЭ: разработка и использование // Химия в интересах устойчивого развития. 1997. Вып. 5. С. 147–156.
3. **Варенцов В.К.** Электролиз с трёхмерными электродами в процессах регенерации металлов из промывных растворов гальванических производств // Известия СО АН СССР. Сер. хим. наук. 1988. Вып. 3. С. 124–131.
4. **Кошев А.Н., Варенцов В.К., Камбург В.Г.** Математическое моделирование процесса электроосаждения металлов из многокомпонентных систем на проточные объёмно-пористые электроды // Известия СО АН СССР. Серия хим. наук. 1984. Вып. 17. С. 24–27.
5. **Варенцов В.К., Кошев А.Н.** Математическое моделирование электрохимических процессов в проточных трёхмерных электродах // Известия СО АН СССР. Серия хим. наук. 1988. № 17. С. 117–125.
6. **Варенцов В.К., Варенцова В.И.** Изменение свойств углеродных волокнистых материалов при катодной обработке в кислых и щелочных растворах // Прикладная химия. 1999. № 4. С. 605–609.
7. **Варенцов В.К., Варенцова В.И.** Модификация электродных свойств углеродных волокнистых материалов электролизом в водных растворах // Электрохимия. 2001. Т. 37. С. 811–820.
8. **Кошев А.Н., Варенцов В.К., Глейзер Г.Н.** К задаче оптимального управления процессами электролиза в проточных объёмно-пористых электродах // Электрохимия. 1992. Т. 28. С. 1265–1270.
9. **Бек Р.Ю., Замятин А.П.** Коэффициент массопередачи и доступная электролизу поверхность проточных волокнистых углеродных электродов // Электрохимия. 1978. Т. 14. С. 1196–1201.
10. **Кошев А.Н., Варенцов В.К., Глейзер Г.Н.** Влияние заполнения проточного объёмно-пористого катода осаждающимся металлом на электропроводность твёрдой фазы системы «электрод–электролит» // Электрохимия. 1992. № 8. С. 1270–1274.
11. **Даниель-Бек В.С.** К вопросу о поляризации пористых электродов // ЖФХ. Т. 22. Вып. 6.

Уважаемые читатели!

Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация и современные технологии» возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При этом ссылка на журнал обязательна.

УДК 001.89:004.31

И.А. Евсеенко, канд. техн. наук, доц. (Белорусско-Российский университет, г. Могилев)
327igor@rambler.ru)

ДИСПЕРСИОННАЯ ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассмотрен способ оценки адекватности динамических моделей технических систем. В качестве примера приведена оценка адекватности динамической модели гидромеханической трансмиссии карьерного самосвала БелАЗ-7516, сформированной в прикладном программном обеспечении «SMM_Model». Проверка адекватности разработанной математической модели осуществлялась сравнением результатов испытаний реального автомобиля и результатов, полученных с помощью математической модели.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, адекватность модели, дисперсионная оценка, динамическая модель, переходный процесс, гидромеханическая трансмиссия, планетарная коробка передач, карьерный самосвал, испытания, физический эксперимент, SMM_Model.

Adequacy valuation method of the technical systems dynamic models is considered. Dynamic models adequacy valuation of the pit-run dump truck BelAZ-7516 hydromechanical transmission generated in application software «SMM_Model» is cited as an example. Developed mathematical model adequacy was realized by actual truck test results comparison and the results received by means of mathematical model.

Key words: computer modeling, model adequacy, dispersion valuation, dynamic model, transition process, hydromechanical transmission, planetary gear set, pit-run dump truck, tests, physical experiment, SMM_Model.

Введение. В настоящее время компьютерное моделирование является одним из основных способов исследования динамики технических систем и неотъемлемым этапом проектирования конструкций. При этом важно оценить адекватность разрабатываемых математических моделей. Замена физического эксперимента на теоретическое моделирование возможна при наличии адекватной модели. Эффект от применения теоретических моделей заключается в снижении затрат на проведение натурных экспериментов и сокращении времени ввода в эксплуатацию проектируемых изделий.

Ниже рассмотрен пример оценки адекватности динамической модели гидромеханической трансмиссии (ГМТ) карьерного самосвала БелАЗ-7516.

Проведение дисперсионной оценки адекватности модели. Модель считается адекватной, если она отражает заданные свойства объекта с приемлемой точностью, которая определяется как степень совпадения полученных с помощью модели значений выходных параметров моделируемого объекта Y с истинными значениями этих параметров Y^* , полученных на реальном объекте. В статье изложена дисперсионная оценка [1], которая строится следующим образом.

Сначала формируется матрица спектра плана, включающая N точек. Для каждой точки проводится m параллельных опытов, по результатам

которых на реальном объекте для каждой i -й компоненты Y^* вычисляется среднее значение \bar{Y}_{ik} , $k=\overline{1, N}$. Затем выполняется расчёт на модели для получения численных значений i -х компонент вектора Y_{ik} и проверяется гипотеза о значимости различий двух дисперсий S_y^2 и S_{ad}^2 . Первая является общей дисперсией воспроизводимости эксперимента i -го выходного параметра реального объекта. Вторая представляет собой дисперсию адекватности i -го выходного параметра реального объекта от соответствующего значения параметра, полученного моделированием. Для сравнения найденных дисперсий используется критерий Фишера F_p . Если найденное расчётное значение критерия Фишера F_p для принятого уровня значимости ($q = 0,05$) и числа степеней свободы (в числителе $k_1 = m - 1$, в знаменателе $k_2 = N$) [1] меньше табличного значения критерия F_t , то гипотеза о значимости различий оценок дисперсий S_y^2 и S_{ad}^2 отвергается, а между i -и компонентами вектора выходных параметров реального объекта и его модели существует адекватность. В противном случае адекватность модели реальному процессу по i -му выходному параметру отсутствует.

Проведение натурных и вычислительных экспериментов. Проверка адекватности разработанной математической модели ГМТ карьерного самосвала БелАЗ-7516 (рис.1), сформирован-

ной в среде «SMM_Model» [2], осуществлялась сравнением результатов испытаний реального автомобиля и результатов, полученных с помощью математической модели. Испытания карьерного самосвала БелАЗ-7516 проводились на РУПП «БелАЗ». Программа включала определение динамических свойств автомобиля при различных режимах разгона. Во время испытаний осуществляли переключение передач и включение блокировки гидротрансформатора (ГДТ). На передачах переднего хода разгон осуществлялся при полном нажатии на педаль акселератора, а на передаче заднего хода максимальное значение положения педали подачи топлива достигало 40 % (полное нажатие педали принималось за 100 %). Каждый замер повторялся три раза (количество параллельных опытов $m = 3$).

Режим движения автомобиля характеризовался следующими параметрами: h — продольный уклон дороги; m_a — полная масса автомобиля; γ — положение педали акселератора. В качестве регистрируемых параметров приняты: угловая скорость коленчатого вала двигателя; ω_4 — угловая скорость входного вала планетарной коробки передач (ПКП); угловая скорость выходного вала ПКП; момент на входном валу ПКП; M_{y4} — момент на выходном валу ПКП; давление во вклю-

чаемых фрикционных элементах управления ГМТ; сигналы для включения (выключения) ступеней ПКП и блокирования (разблокирования) ГДТ.

Регистрация параметров проводилась при движении гружёного автомобиля под уклон с полностью нажатой педалью акселератора на передачах переднего хода; порожнего автомобиля на горизонтальном участке дороги с полностью нажатой педалью акселератора на передачах переднего хода; гружёного автомобиля на горизонтальном участке дороги с полностью нажатой педалью акселератора на передачах переднего хода; гружёного автомобиля на горизонтальном участке дороги с нажатием (40 %) педали акселератора на передаче заднего хода.

Таким образом, матрица спектра плана включает четыре точки (каждая точка соответствует контрольному заезду).

Записи регистрируемых параметров отфильтрованы и введены в ЭВМ.

На рис. 2–6 в качестве примера показаны фрагменты графиков включения передачи заднего хода и первой ступени переднего хода. Также приведены графики, полученные математическим моделированием при условиях, соответствующих условиям движения реального автомобиля.

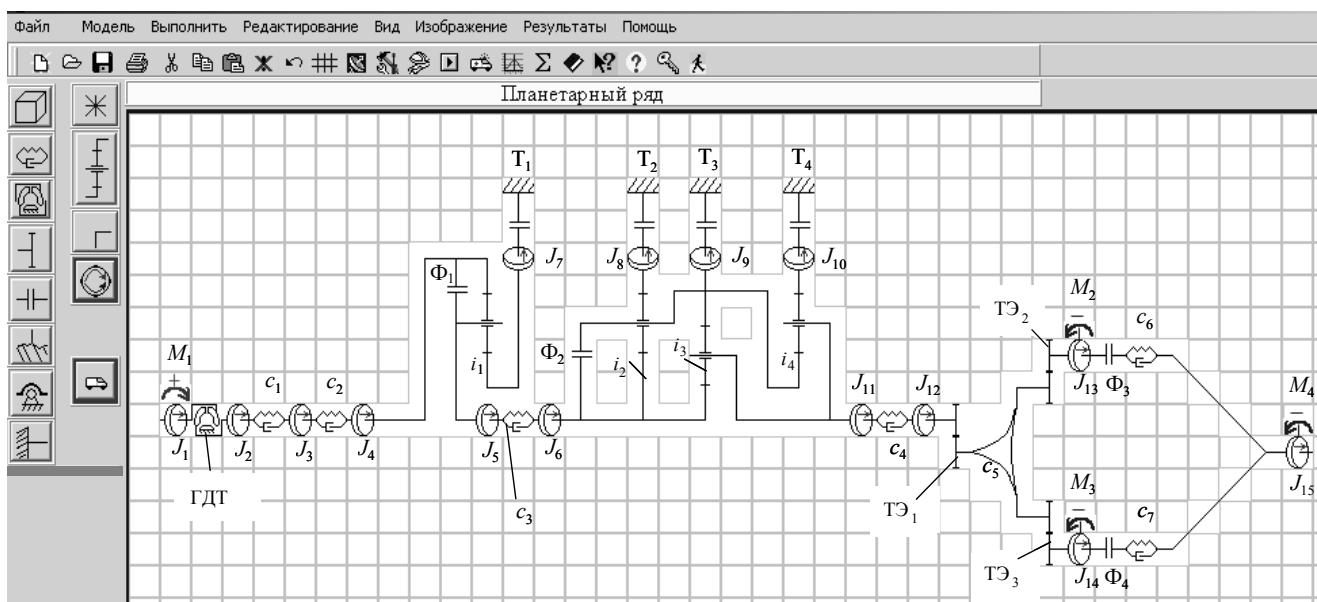


Рис. 1. Динамическая модель гидромеханической трансмиссии автомобиля БелАЗ-7516, сформированная в прикладном программном обеспечении «SMM_Model»:

J_1-J_{15} — моменты инерции сосредоточенных масс; c_1-c_7 — параметры упругих элементов;

M_1-M_4 — вращающие моменты; $\Phi_1-\Phi_4$, T_1-T_4 — фрикционные муфты и тормоза;

i — кинематические параметры планетарных рядов; $T\mathcal{E}_1-T\mathcal{E}_3$ — трансформаторные элементы;

ГДТ — гидротрансформатор

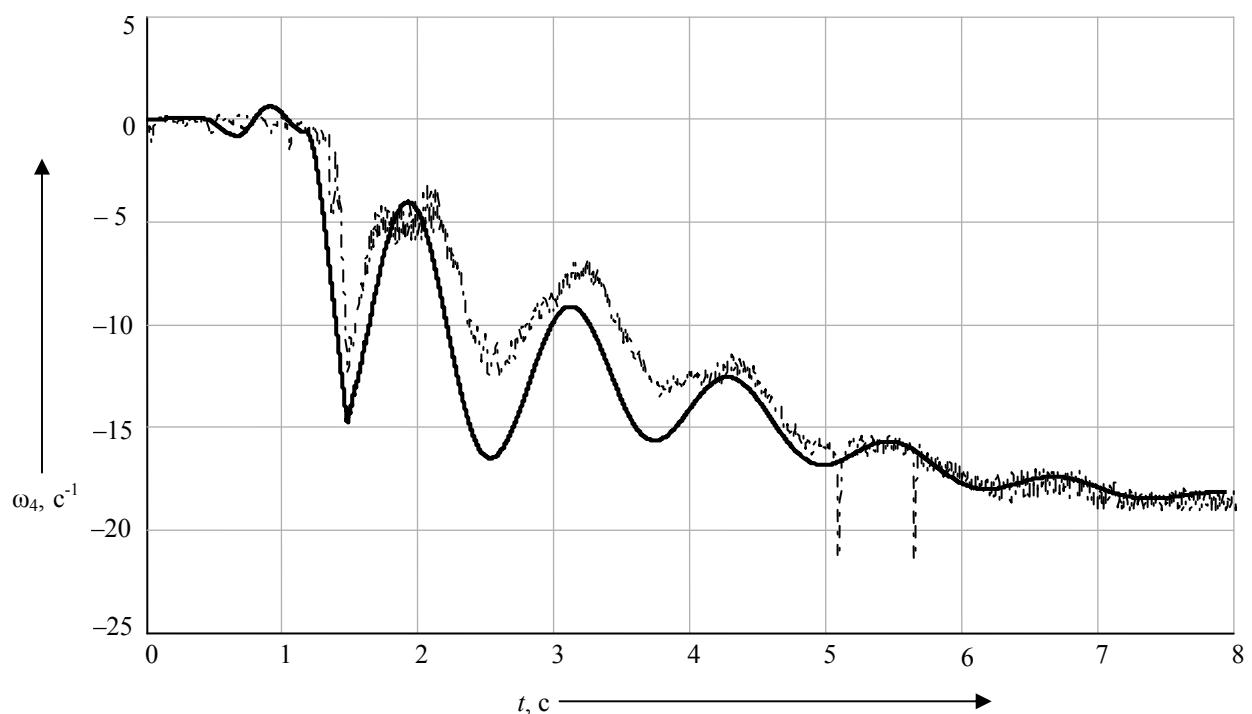


Рис. 2. Графики переходных процессов угловой скорости входного вала коробки передач при включении передачи заднего хода, полученные:
— моделированием; — · · · — экспериментально

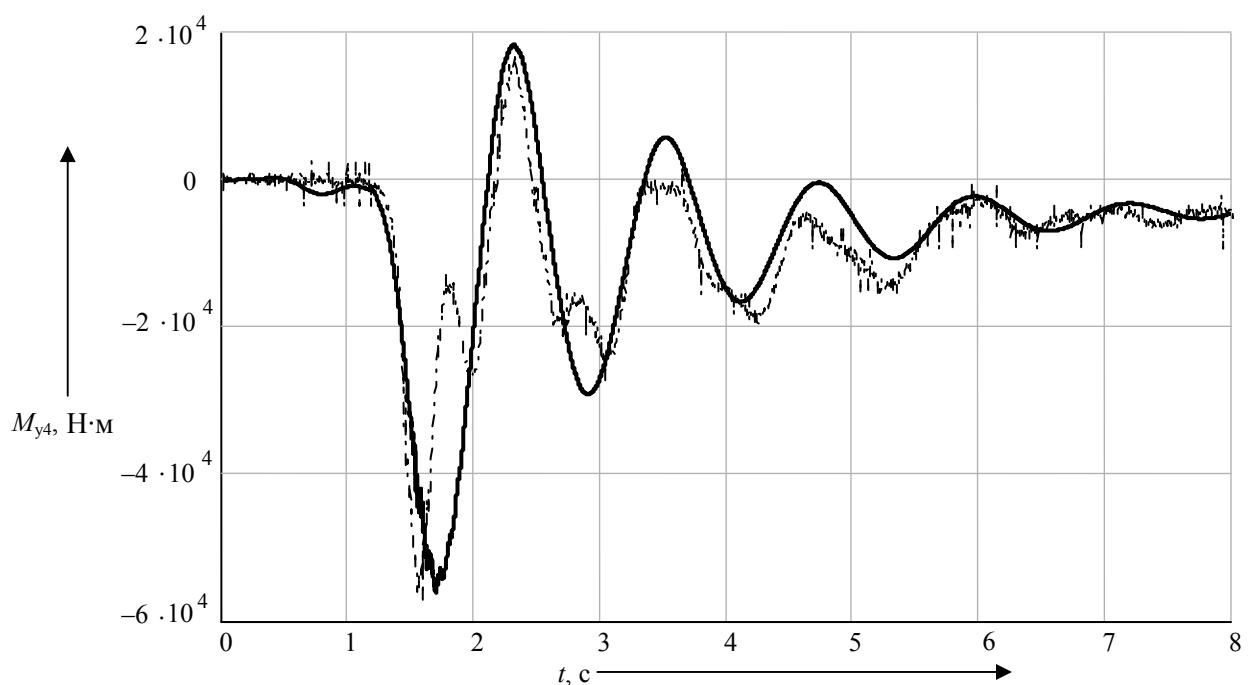


Рис. 3. Графики переходных процессов врачающего момента выходного вала коробки передач при включении передачи заднего хода, полученные:
— моделированием; — · · · — экспериментально

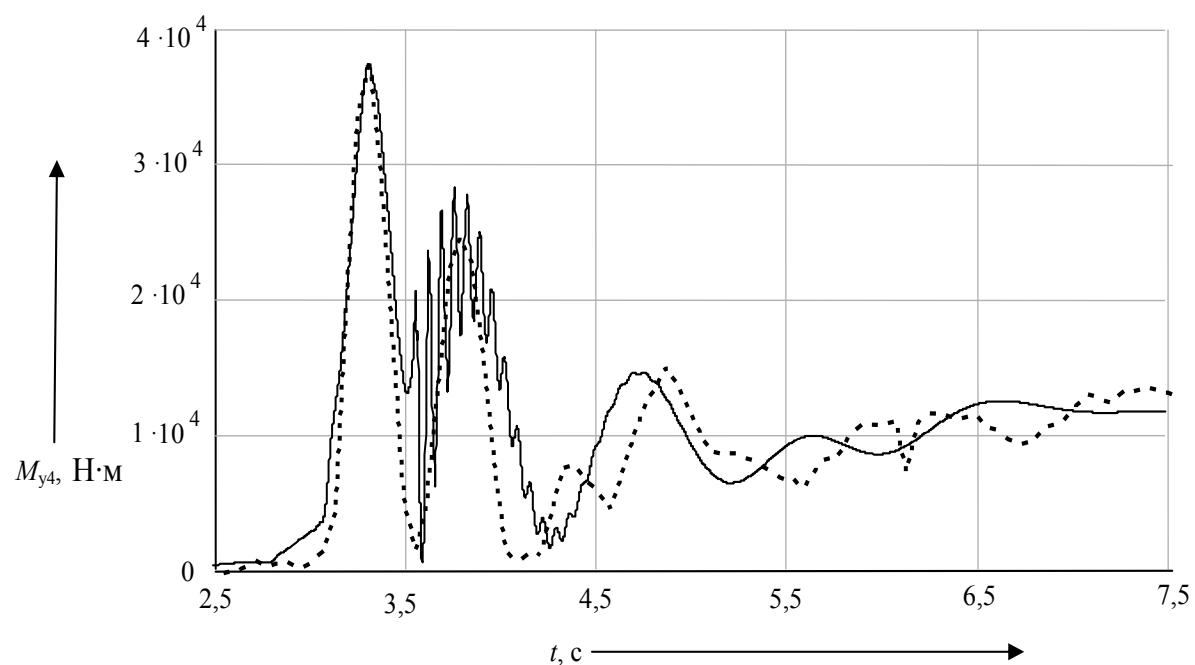


Рис. 4. Графики переходных процессов вращающего момента выходного вала коробки передач при включении первой передачи переднего хода, полученные:

—aaaaaaa моделированием,— экспериментально

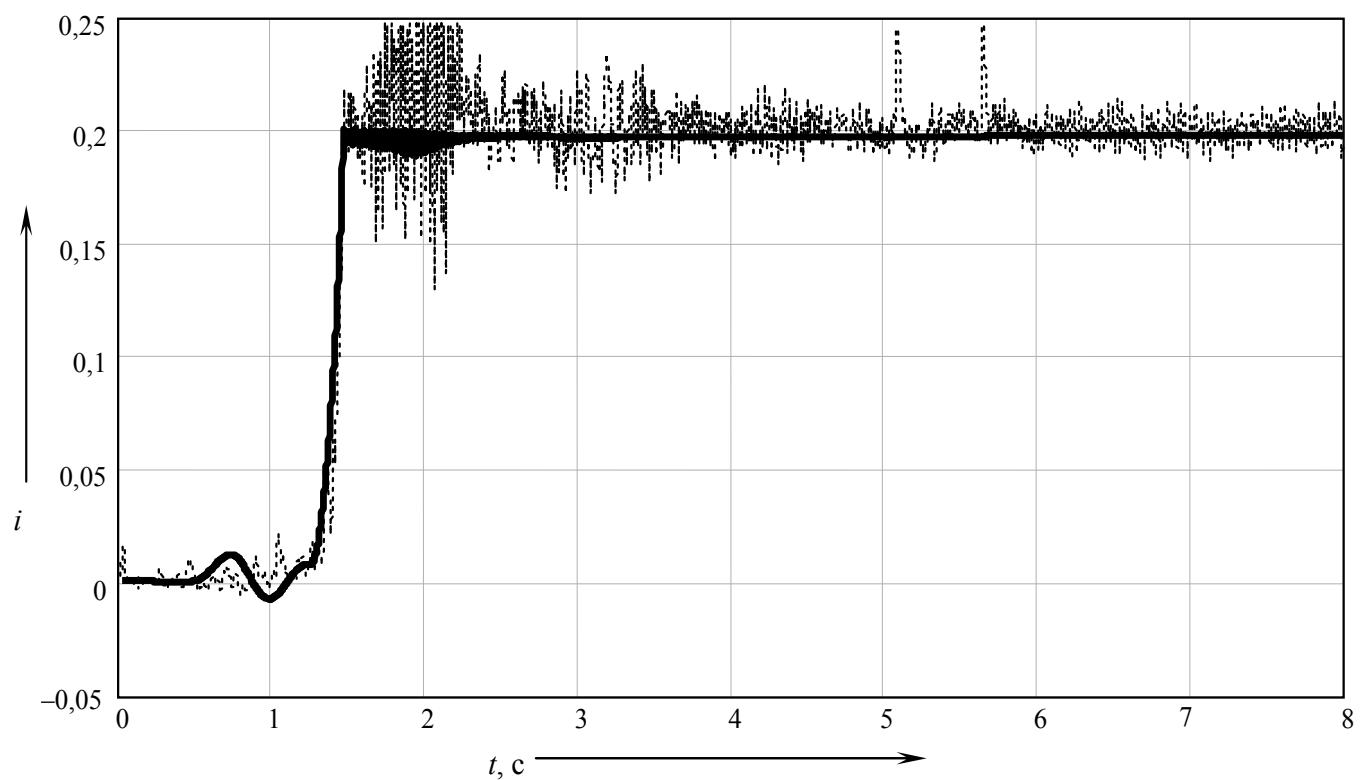


Рис. 5. Изменение передаточного отношения планетарной коробки передач при трогании автомобиля БелАЗ-7516 на передаче заднего хода, полученные:

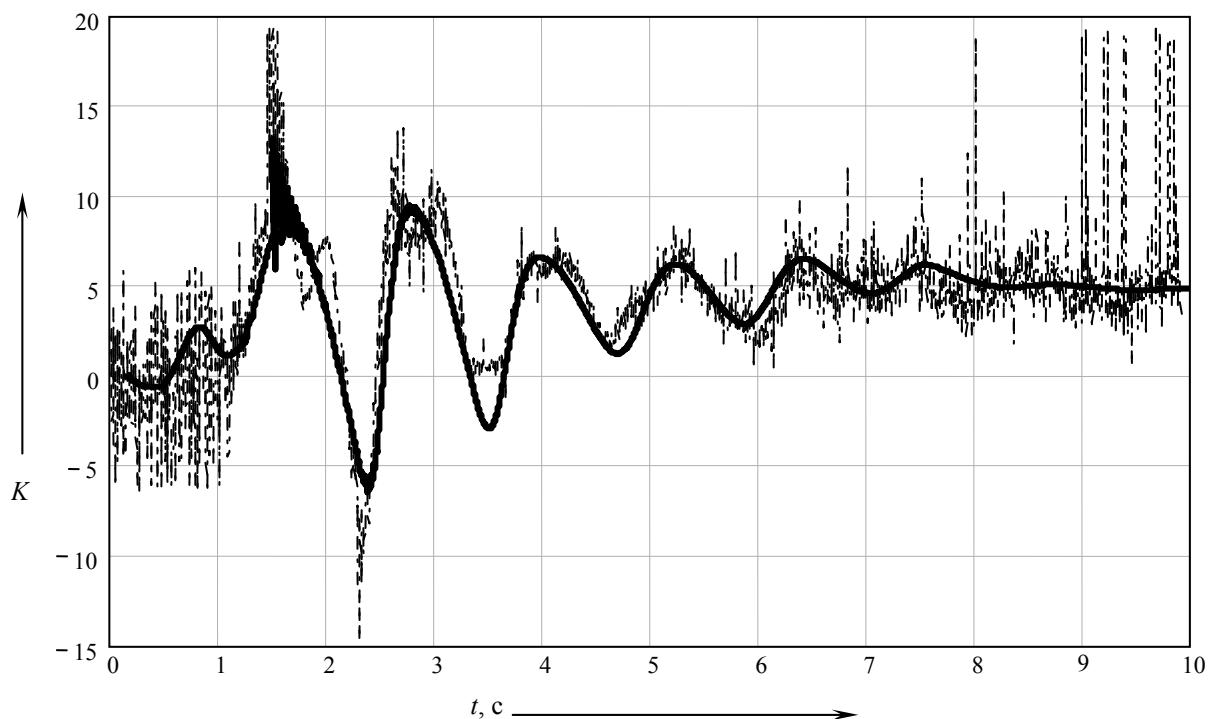


Рис. 6. Изменение коэффициента трансформации планетарной коробки передач при трогании автомобиля БелАЗ-7516 на передаче заднего хода, полученные:

— моделированием; — · · · — экспериментально

Оценка адекватности математической модели.

Для количественной оценки адекватности модели использовались максимальная амплитуда $M_{y4\max}$ и коэффициент динамичности K_{d4} вращающего момента на выходном валу ПКП. Выбор этих критериев обоснован тем, что при движении на передачах прямого хода педаль акселератора нажимается полностью, т. е. важную роль играет динамика автомобиля, в то время как при движении на передаче заднего хода основной целью является выполнение транспортной операции и изменение положения педали акселератора может носить колебательный характер, не достигая предельного значения, с возможным использованием педали тормоза.

Коэффициент динамичности определялся по формуле [1]

$$K_{d4} = \frac{M_{y4\max}}{M_{y4\text{уст}}},$$

где $M_{y4\max}$ — максимальное значение вращающего момента на выходном валу коробки передач; $M_{y4\text{уст}}$ — значение момента M_{y4} при установившемся режиме работы.

При движении автомобиля на передачах переднего хода коэффициент динамичности определялся для передачи, при включении которой возникают максимальные динамические нагрузки в элементах трансмиссии.

Гипотезу об адекватности математической модели проверяют по критерию согласия (F -критерий Фишера [1]). В таблице приведены результаты экспериментов и расчётные показатели.

Общая дисперсия S_y^2 воспроизводимости эксперимента вычислялась по выражению [1]

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2,$$

где S_i^2 — дисперсия воспроизводимости опыта по данным m параллельных опытов в каждой i -й точке спектра плана.

В свою очередь,

$$S_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{u=1}^m (Y_{iu}^* - \bar{Y}_i^*)^2, \quad i = \overline{1, N},$$

$$\text{где } \bar{Y}_i^* = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m Y_{ik}^*.$$

Остаточная дисперсия, или дисперсия адекватности, определялась выражением

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{Y}_i^* - \bar{Y}_i)^2,$$

$$\text{где } \bar{Y}_i^* = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Y_{ik}^*.$$

Результаты расчёта адекватности математической модели гидромеханической трансмиссии автомобиля БелАЗ-7516

| Параметр режима движения | | | Номер опыта на реальном автомобиле | Y_i^* | | | \bar{Y}_i^* | | Y_i | |
|-----------------------------|---------------------|-----------|------------------------------------|---------------------|------------------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|
| h , % | γ_{\max} , % | m_a , т | | $M_{y4\max}$, Н·ам | $M_{y4 \text{ уст.}}$, Н·ам | K_{d4} | $M_{y4\max}$, Н·ам | K_{d4} | $M_{y4\max}$, Н·ам | K_{d4} |
| На передаче заднего хода | | | | | | | | | | |
| 1 | 40 | 235 | 1 | -53 905 | -5688 | 9,48 | -55327 | 9,7 | -56188 | 9,9 |
| | | | 2 | -57 067 | | 10,04 | | | | |
| | | | 3 | -55 010 | | 9,67 | | | | |
| На передачах переднего хода | | | | | | | | | | |
| 1 | 100 | 235 | 1 | 57 984 | 6536 | 8,87 | 56 089 | 8,58 | 59 339 | 9,08 |
| | | | 2 | 50 028 | | 7,65 | | | | |
| | | | 3 | 60 256 | | 9,22 | | | | |
| 1 | 100 | 100 | 1 | 42 614 | 2800 | 15,22 | 40 914 | 14,6 | 41 223 | 14,7 |
| | | | 2 | 36 423 | | 13 | | | | |
| | | | 3 | 43 707 | | 15,61 | | | | |
| 5 | 100 | 235 | 1 | 79 658 | 13 944 | 5,7 | 76 480 | 5,49 | 82 901 | 5,95 |
| | | | 2 | 68 084 | | 4,88 | | | | |
| | | | 3 | 81 700 | | 5,86 | | | | |

Последним этапом проверки гипотезы адекватности математической модели является сравнение расчётного критерия Фишера F_p с табличным F_t [1]:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2}.$$

Результаты расчёта критерия F_p приведены в таблице. Значение критерия F_p меньше значения критерия F_t , что позволяет считать математическую модель адекватной.

Следует отметить, что процесс разгона автомобиля с переключением передач является общим режимом движения, при моделировании которого в программе расчёта задействованы математические модели всех основных узлов и агрегатов машины.

Заключение. Таким образом, рассмотрен способ дисперсионной оценки адекватности математической модели технической системы. В качестве примера проведена оценка адекватности математической модели гидромеханической трансмиссии карьерного самосвала БелАЗ-7516.

Качественное и количественное сравнение расчётных и экспериментальных исследований показало, что модель гидромеханической трансмиссии БелАЗ-7516 адекватно воспроизводит на ЭВМ процессы функционирования реального автомобиля на переходных режимах движения.

Из рис. 2 – 6 видно, что полного совмещения кривых нет, так как складываются неточности исходных данных, разброс характеристик узлов автомобиля, погрешности измерений и идеализация математической модели, а также влияние случайных помех. Однако кривые близки к совпадению, а характер их изменения идентичен. Разность в величинах максимального момента на выходном валу ПКП при включении передачи заднего хода по натуральному образцу и модели не превышает 5 %.

Библиографические ссылки

- Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: учеб. для вузов. Минск: Дизайн-ПРО, 2004. 640 с.
- Тарасик В.П., Евсеенко И.А. Прикладное программное обеспечение для моделирования объектов макроуровня // Автоматизация и современные технологии. 2007. № 4. С. 11–18.

УДК 629.7.054.07

А.В. Пролетарский, канд. техн. наук., доц.

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

pavmipk@mail.ru

ИНТЕЛЕКТУАЛИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Разработана интеллектуализированная система управления космических ракет на основе концепции системного синтеза. В интеллектуализированной системе использован двухконтурный алгоритм управления полётом.

Ключевые слова: системный синтез, критерий качества, летательный аппарат.

Space rockets intellectual control system from a systemic synthesis conception is developed. Flight direction double-circuit algorithm is utilized in the intellectual control system.

Key words: systemic synthesis, quality criterion, flying devices.

Современный этап развития систем управления ракет космического назначения (РКН) характеризуется созданием системы управления нового поколения – интеллектуальной системы (ИС). Наиболее перспективным направлением синтеза ИС является симбиоз экспертных систем, методов самоорганизации, принятия решений, адаптивного управления и оценивания, а также алгоритмов формирования цели.

Предлагается концептуальный подход к задаче синтеза интеллектуальных систем управления на основе гомеокинеза, теории функциональных систем П.К. Анохина, в которой цель функционирования системы задана априори. Такие системы можно назвать интеллектуализированными системами управления (ИСУ) летательных аппаратов (ЛА) и реализовать на базе серийных вычислительных средств [1, 2]. При штатной ситуации (ШС) цель функционирования динамического объекта в рамках данной структуры ИСУ не корректируется. В то же время, при возникновении нештатной ситуации (НШС) может возникнуть необходимость изменения цели функционирования, что потребует наличия в ИСУ устройств, выполняющих функции блока синтеза цели и блока мотивации [3].

Процесс создания ИСУ представляет собой сложную научную проблему, требующую для своего решения нового подхода, объединяющего два понятия: «синтез» – это соединение более простых функциональных систем решения частных задач в единую ИСУ и «система» – цель синтеза, которая заключается в создании ИСУ с требуемыми тактико-техническими характеристиками (ТТХ) перспективных РКН. Объединение понятий «синтез» и «система» составляет концепцию «системного синтеза» [1].

С использованием концепции системного синтеза задачу формирования технического облика ИСУ РКН можно сформулировать следующим образом.

Исходные данные:

1. Программа запусков $\Pi = \sum_{k=1}^m N_k$,

где N_k – количество запусков в k -м классе программы пусков.

2. Динамическая система, формализующая управляемый полёт ЛА:

$$\Sigma = (T, X, U, P, \Omega_1, \varphi, \eta), \quad (1)$$

где X – множество значений вектора $x(t)$, описывающего состояние ЛА; U – множество значений вектора управлений $u(t)$; P – множество значений параметров p , характеризующих ЛА и условия его полёта; R – множество параметров r , характеризующих признаки и характеристики рассматриваемых систем и приборов ИСУ; T^2 – множество всех упорядоченных пар (t, t') моментов времени $t \in T$ таких, что $T^2 = \{(t, t'): t, t' \in T, t' \geq t\}$.

Движение ЛА и значения его характеристик контролируются и управляются с помощью комплекса бортовых приборов, который измеряет некоторый вектор u из множества Y его значений, определяемого отображением

$$\eta: T \times \Omega_1 \times X \times P \longrightarrow Y;$$

где Ω_1 – множество значений вектора φ инструментальных погрешностей ИСУ ЛА.

Управляемый полёт ЛА представлен как отображение фазы: $T^2 \times X \times U \times P \rightarrow X$.

Цель полёта определена множеством $\mathcal{C} \subset T \times Z \times Q$, где Z – множество концевых условий; Q – мно-

жество значений вектора q показателей ТТХ ЛА, определяемые выражениями

$$\begin{aligned} g: X \rightarrow Z, Z \in Z_{\text{TP}}; q: T \times X \times Y \times P \times \\ \times R \rightarrow Q, Q \in Q_{\text{TP}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где Z_{TP} , Q_{TP} – множества требуемых концевых условий и показателей ТТХ ЛА.

Стратегия δ управления системой Σ при достижении множества Π определена как отображение

$$\delta: T \times Y \times P \times \Omega_2 \times \Pi \rightarrow \Gamma_{\text{Доп}}, \quad (3)$$

где $\Gamma_{\text{Доп}} \subset U$ – множество допустимых управлений, обеспечивающих достижение целей (Π) из множества Π ; Ω_2 – множество методических погрешностей управления.

Стратегия δ представляет собой композицию

$$\delta = \delta_1 \wedge \delta_2 \wedge \delta_3 \wedge \delta_4 \wedge \delta_5,$$

где $\delta_1: Y \rightarrow X$; $\delta_2: Y \rightarrow P$; $\delta_3: X \rightarrow \Pi$; $\delta_4: \Pi \rightarrow \Gamma$; $\delta_5: X \rightarrow T$ – алгоритмы решения задач навигации, идентификации, прогнозирования, управления и определения текущего значения момента времени.

3. Комплексный показатель эффективности ИСУ стоимостью связывает в единый показатель основные ТТХ РКН, технические характеристики ИСУ и некоторые частные показатели (C_j), которые используются для оценки целевой эффективности отдельных алгоритмов и элементов ИСУ для j -го участка разветвляющейся траектории движения ЛА:

$$\begin{aligned} J(C_i(t_{0j}, x_{0j}, t_{1j}, x_{1j}, \delta_j, \omega_{1j}, \omega_{2j}, r_j, \\ i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, N)). \end{aligned} \quad (4)$$

Требуется определить:

$$(\varepsilon^*, \bar{\delta}_k^*, \bar{r}_k^*) = \underset{(\varepsilon, \bar{\delta}, \bar{r}) \in E \times \bar{\Gamma} \times \bar{Q}}{\text{Arg min}} J(\varepsilon, \bar{\delta}_k, \bar{r}_k), \quad (5)$$

где E – множество отношений эквивалентности ε , характеризующих признаки, по которым множество разбивается на классы; $\bar{\Gamma}$, \bar{R} – множества возможных наборов стратегий δ и векторов r для каждой целевой задачи; вектор \bar{r} характеризует весь набор используемых бортовых измерительных приборов.

Для заданной программы пусков РКН $\Pi = \sum N_k$ описываются соответствующими динамическими системами Σ_j на j -х участках траектории движения при штатных и нештатных режимах полёта. Определим такое разбиение множества решаемых задач на классы N_k по признаку ε . В каждом классе найдём такие стратегии управления δ_{kj} и вектор r_{kj} признаков, характеризующих принципы

построения структуры, аппаратный состав и программно-алгоритмическое обеспечение ИСУ. Найденные стратегии обеспечивают выполнение поставленных перед ЛА целевых задач $\Pi \in \Pi$ и достижение заданных ТТХ РКН $q \in Q_{\text{зад}}$ при максимальной эффективности динамической системы Σ по комплексному критерию $J(\varepsilon, \bar{\delta}, \bar{r})$.

Для решения поставленной задачи, т. е. создания рационального технического облика ИСУ перспективных РКН разработана методическая схема (рис. 1), предусматривающая декомпозицию на три частные задачи оптимизации систем Σ_1 , Σ_2 , Σ_3 по частным критериям Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 . Для решения навигационной задачи в качестве базовых используются инерциальные навигационные системы (ИНС). Задача оптимизации решается на атмосферном и внеатмосферном участках выведения полезной нагрузки (ПН), а также на участке увода ЛА в район приземления (РП).

Первая задача представляет собой синтез стратегии:

$$\delta_{12}^*(\cdot) = \underset{\delta_{12} \in \Gamma_{12}}{\text{Arg max}} \Phi_1(x, \varphi, \delta_{12}) \quad (6)$$

при условиях $\Sigma_1 = (X, Y, P, \Gamma_{12}, \varphi, \eta, \delta_{12})$, $\eta: T \times \Omega \times X \times P \rightarrow Y$, $\Omega = \Omega_1 \times \Omega_2$, $\delta_{12} = \delta_1 \wedge \delta_2$, $\delta_{12}: Y \rightarrow (X \times P)/s \in S$ и $\varphi: T^2 \times X \times \Gamma \times P \rightarrow X$ для выбранной схемы выведения $s \in S$, т. е. решение задач навигации и идентификации параметров модели прогноза движения и условий полёта ЛА, оптимальных по частному критерию $\Phi_1(\cdot)$.

Вторая задача – задача синтеза стратегии:

$$\delta_{34}^*(\cdot) = \underset{\delta_{34} \in \Gamma}{\text{Arg max}} \Phi_2(x, \varphi, \delta_{34}) \quad (7)$$

при условиях, что $\varphi: T^2 \times X \setminus \delta_{12}^* \rightarrow X$, $g: X \rightarrow Z$, т. е. решение задач прогнозирования параметров движения и выбора оптимальных по частному критерию $\Phi_2(\cdot)$ управлений на различных участках полёта ЛА при условии реализации стратегии δ_{12} .

Третья задача – задача поиска:

$$r^* = \underset{r \in R}{\text{Arg max}} \Phi_3(x, \varphi, r) \quad (8)$$

при условиях $\Sigma_3 = (X, Y, \Omega, R, Q, q, \Sigma_1, \Sigma_2)$; $\varphi: T^2 \times X \times P/\delta^* \rightarrow X$; $g: X \rightarrow Z$, $\eta: \Omega \times X \rightarrow Y$ и ограничении $q: T \times X \times Y \times P \times R \rightarrow Q \in Q_{\text{TP}}$, т. е. задача синтеза структуры, выбора приборного состава и программно-алгоритмического обеспечения ИСУ, реализующая стратегии δ_{12}^* и δ_{34}^* , обеспечивающая выполнение требуемых ТТХ перспективных средств выведения (СрВ) и оптимальная по частному критерию $\Phi_3(\cdot)$.

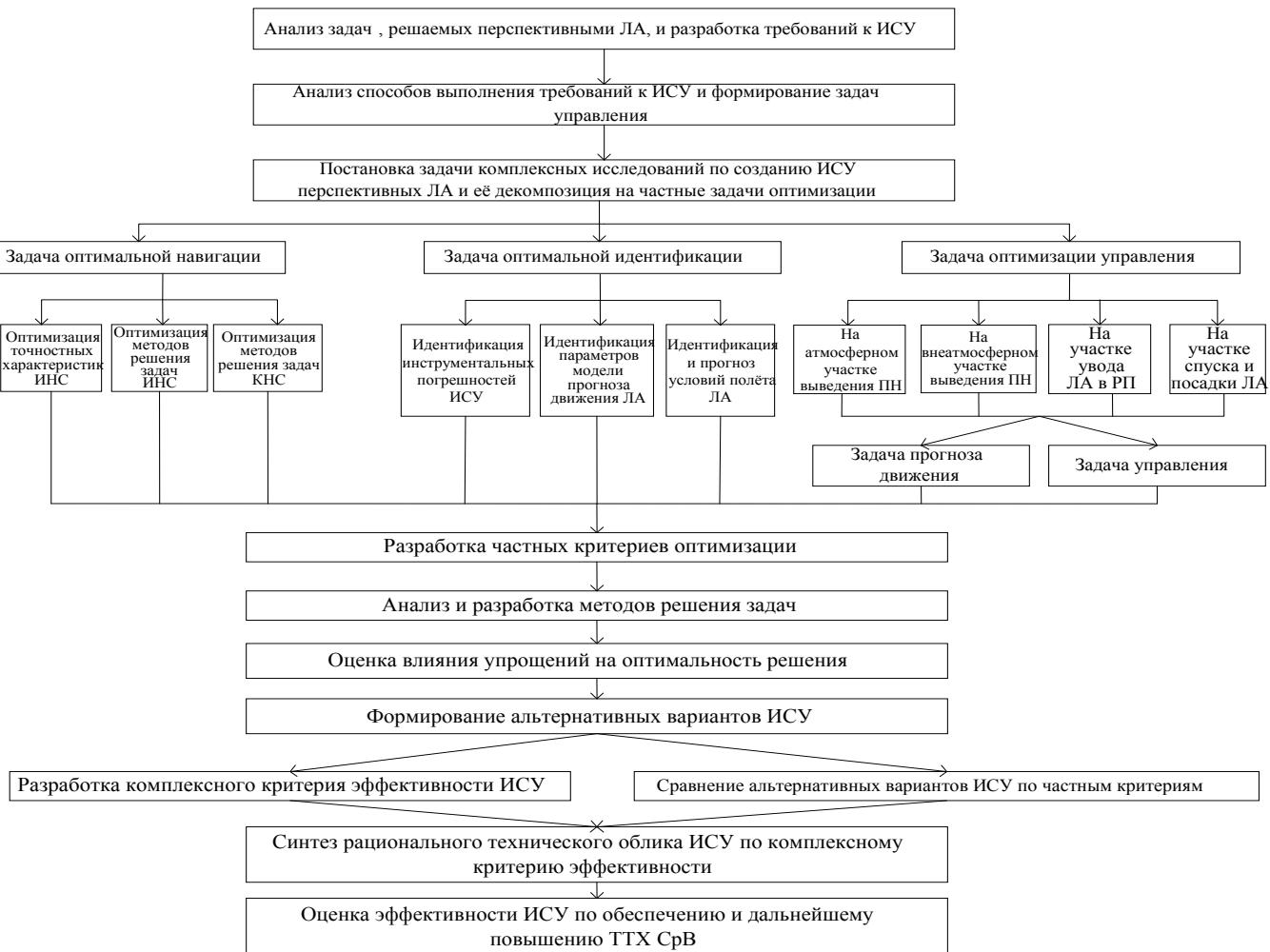


Рис. 1. Методическая схема разработки технического облика интеллектуализированной системы управления

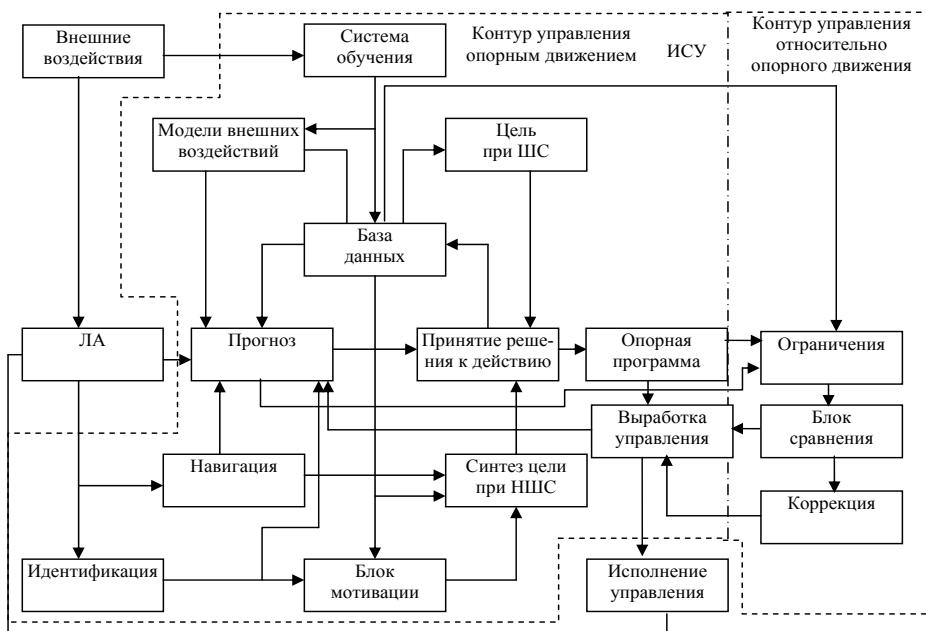


Рис. 2. Структура интеллектуализированной системы управления с двухконтурным алгоритмом управления полётом летательного аппарата

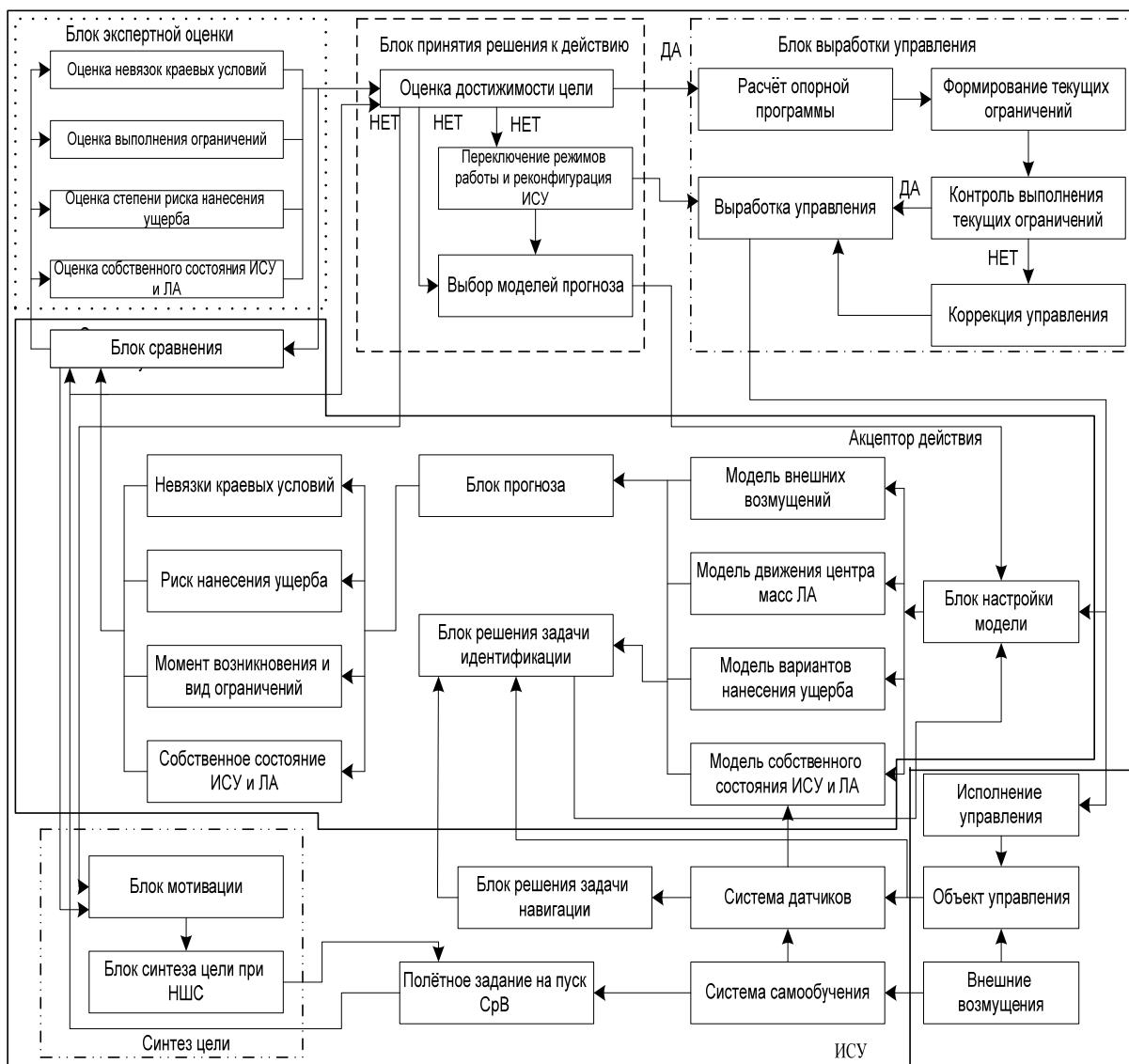


Рис. 3. Базовая структурная схема интеллектуализированной системы управления перспективных летательных аппаратов

В качестве базовой схемы управления рассматривается двухконтурная схема ИСУ с контуром управления опорным движением центра масс и контуром управления относительно опорной траектории (рис. 2).

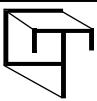
Методология системного синтеза ИСУ полётом СрВ предусматривает совместное решение частных методологических проблем и технико-экономическую оценку возможностей альтернативных вариантов ИСУ по обеспечению и дальнейшему повышению ТТХ РКН на основе предложенных критериев эффективности. С использованием сформированной методологии разработана базовая структурная схема ИСУ перспективных РКН (рис. 3).

Таким образом, решён комплекс задач по разработке рационального технического облика ИСУ,

проектированию систем управления РКН. Разработаны алгоритмическое обеспечение ИСУ для всех этапов полёта РКН, оптимальный приборный комплекс, а также комплексный показатель эффективности, включающий основные ТТХ. Решение всего комплекса задач получено с использованием концепции системного синтеза.

Библиографические ссылки

1. Пролетарский А.В. Концепция системного синтеза динамических объектов // Автоматизация и современные технологии. 2007. № 8. С. 14–17.
2. Неусыпин К.А. Современные системы и методы наведения, навигации и управления летательными аппаратами. М.: МГОУ, 2009. 500 с.
3. Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Цибизова Т.Ю. Системы управления летательными аппаратами и алгоритмы обработки информации. М.: МГОУ, 2006. 220 с.



УДК 539.376

И.Ф. Дьяков, д-р техн. наук, проф., А.В. Попович
(Ульяновский государственный технический университет)

i.dyakov@ ulstu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В CAD/CAM-СИСТЕМАХ

Рассмотрены основные вопросы, связанные с обработкой типовых элементов в современных CAD/CAM-системах. Описаны способы реализации нейросетевых алгоритмов при создании управляющей программы. Показан новый метод формирования в автоматическом режиме выбора режущего инструмента и стратегий обработки.

Ключевые слова: типовые элементы детали, проектирование процесса обработки деталей, CAD/CAM-система, нейронная сеть.

The main points related to the processing of feature elements in modern CAD/CAM-systems. We describe how to implement neural network algorithms to create the CNC program. Showed a new way of building in automatic selection of cutting tools and machining strategies.

Key words: features, machining, CAD/CAM-system, neural networks.

Введение. Современные системы твердотельного моделирования и подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ позволяют решать задачи различного уровня сложности. Синхронные технологии при моделировании, а также типовые элементы в деталях и пользовательские шаблоны обработки дают возможность ускорить процесс создания моделей и формирование этапов механической обработки.

Для выявления недостатков и оценки быстродействия формирования этапов обработки типовых элементов, начинающихся с подбора режущего инструмента и заканчивающихся описанием траектории резания, были выбраны CAD/CAM-системы – Unigraphics NX 7.5 (компании «Siemens»), TEBIS v.3.5 (компании «Tebis») и Feature CAM (компании «Delcam») [1, 2].

В представленных системах имеется отдельный модуль для работы с типовыми элементами, однако каждой САПР присущи свои недостатки – от сложного и далеко не простого интерфейса до значительного объёма рутинной ручной работы программиста.

Известно, что программисту доступны функции полуавтоматической работы с типовыми элементами. Все они не исключают большой объём ручной работы; гибкого, интуитивно-интеллектуального инструментария, сокращающего время на ручной труд при работе с указанными элементами, на сегодняшний день нет.

Каждый элемент легко распознаётся системой, с указанием всех его геометрических и точност-

ных параметров, затем данные о каждом объекте формируются в локальную базу данных элементов в модели детали [3]. Перед исследователем стоит задача сформировать оптимальный алгоритм и определить способ создания технологических процессов обработки данных элементов, обладающий максимально интуитивным интерфейсом.

Весьма актуально использование самообучающихся систем на основе нейросетевых технологий, что даёт возможность упростить задачу, сведя её к принятию решений САПР с предоставлением пользователю выбора по их утверждению. Также наличие базы знаний и широкого спектра методов обучения подобных сетей позволяет сократить время на подготовку управляющей программы и оградить пользователя от рутинного труда.

Основная часть. Искусственные нейронные сети (ИНС) строятся по принципам организации и функционирования их биологических аналогов. Они способны решать широкий круг задач распознавания образов, идентификации, прогнозирования, оптимизации, управления сложными объектами. Дальнейшее повышение производительности компьютеров в большой мере связывают с ИНС, в частности с нейрокомпьютерами (НК), основу которых составляет искусственная нейронная сеть.

Очевидно, что процесс функционирования нейронной сети – сущность действий, которые она

способна выполнять, — зависит от величин синаптических связей. Поэтому, задав структуру сети, соответствующую какой-либо задаче, необходимо найти оптимальные значения всех переменных весовых коэффициентов (некоторые синаптические связи могут быть постоянными). Этот этап называется обучением нейронной сети, и от того, насколько качественно он будет выполнен, зависит способность сети решать поставленные перед ней задачи во время функционирования.

В процессе функционирования нейронная сеть формирует выходной сигнал Y в соответствии с входным сигналом X , реализуя некоторую функцию g :

$$Y = g(X).$$

При заданной архитектуре сети вид функции g определяется значениями синаптических весов и смещений сети. Обозначим через G множество всех возможных функций g , соответствующих заданной архитектуре сети.

Пусть решение некоторой задачи есть функция $Y = r(X)$, заданная парами входных/выходных данных $(D_1, L_1, d_1, l_1), \dots, (D^K, L^K, d^K, l^K)$ (см. таб-лицу), для которых

$$Y^k = r(X^k),$$

где $k = 1, \dots, N$.

Введём понятие «функция ошибки» E (функционал качества), показывающее степень близости каждой функции f к функции r . Решить поставленную задачу с помощью нейронной сети заданной архитектуры — значит построить (синтезировать) функцию $g \in G$, подбрав параметры нейронов (синаптические веса и смещения) таким образом, чтобы функционал качества обращался в оптимум для всех пар (D^k, L^k, d^k, l^k) .

Таким образом, задача обучения нейронной сети определяется совокупностью компонентов $\langle X, Y, g, G, E \rangle$.

Обучение сети заключается в поиске (синтезе) функции g , оптимальной по E , требует длительных вычислений и представляет собой итерационную процедуру. Число итераций может составлять от 10^3 до 10^8 . На каждой итерации функция ошибки уменьшается.

Далее нейронная сеть строится в два этапа: выбор типа (архитектуры) сети и подбор весов (обучение) сети.

На первом этапе выбираем тип сети — многослойный персептрон. На втором этапе проводим обучение выбранной сети с учителем по алгоритму обратного распространения ошибки.

Обучение нейронной сети с помощью процедуры обратного распространения строится следующим образом.

1. На вход сети подают один из возможных образов (шаблон механической обработки типового изделия) и в режиме обычного функционирования нейронной сети, когда сигналы распространяются от входов к выходам, рассчитывают значения последних:

$$S_j^{(q)} = \sum_{i=0}^L y^{(q-l)} w_{ij}^{(q)},$$

где $y^{(q-l)} w_{ij}^{(q)}$ — i -й вход нейрона j слоя q ; L — число нейронов в слое $(q-1)$ с учётом нейрона с постоянным выходным состоянием +1, задающего смещение в виде $y_i^{(q)} = f(s_j^{(q)})$; $f(\cdot)$ — сигмоид.

В свою очередь, вход нейрона x_r — r -я компонента вектора входного образа

$$y_r^{(0)} = x_r.$$

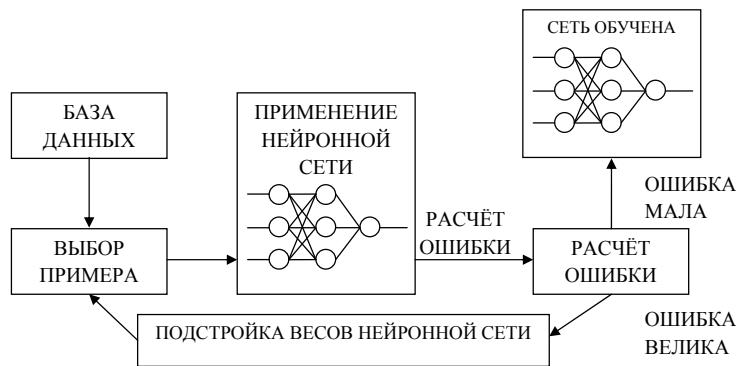
2. Находят изменения весов $\Delta w^{(q)}$ слоя Q по формуле

$$\Delta w_{ij}^{(Q)} = -\eta \delta_j^{(q)} y_i^{(q-l)}, \quad (1)$$

где η — коэффициент скорости обучения ($0 < \eta < 1$); $\delta_j^{(q)}$ величина входного слоя q .

Эскиз типового элемента детали

| Входные данные | Эскиз типового элемента |
|--|-------------------------|
| Диаметр первого отверстия D Глубина первого отверстия L Диаметр второго отверстия d Глубина второго отверстия l | |



Процесс обучения нейронной сети

3. Вычисляют значения $\delta_j^{(q)}$ и $\Delta w_{ij}^{(q)}$ для всех остальных слоёв ($q = (Q - 1), \dots, l$) по формулам

$$\begin{aligned}\delta_j^{(q)} &= \left[\sum \delta_r^{(q+1)} w_{jr}^{(q+1)} \right] (dy_i / ds_i); \\ \Delta w_{ij}^{(q)}(t) &= -\eta (\mu \Delta w_{ij}^{(q)}(t-l) + \\ &+ (1-\mu) \delta_j^{(q)} y_i^{(q-l)}),\end{aligned}$$

где μ – коэффициент инертности; t – номер текущей итерации.

4. Корректируют вес нейронной сети:

$$w_{ij}^{(q)}(t) = w_{ij}^{(q)}(t-l) + \Delta w_{ij}^{(q)}(t).$$

5. Если ошибка сети существенна – переходят к шагу 1. В противном случае – обучение завершено успешно.

Сети на шаге 1 попеременно в случайном порядке предъявляют все тренировочные образы, чтобы сеть не забывала одни образцы по мере запоминания других.

Из выражения (1) следует, что когда выходное значение $y_i^{(q-l)}$ стремится к нулю, эффективность обучения заметно снижается. При двоичных входных векторах в среднем половина весовых коэффициентов не будет корректироваться, поэтому область возможных значений выходов нейронов (0, ..., 1) желательно сдвинуть в пределы от $-0,5$ до $+0,5$, что достигается простыми модификациями логистических функций.

Количество весов может быть велико, поэтому обучение представляет собой сложный и длительный процесс (см. рисунок). После многократного предъявления примеров веса сети стабилизируются, причём сеть даёт правильные ответы на все (или почти все) примеры из базы данных. В этом случае говорят, что сеть обучена. В программных реализациях можно видеть, что в процессе обуче-

ния значение ошибки (сумма квадратов ошибок по всем выходам) постепенно уменьшается. Когда значение ошибки достигает нуля или оно приемлемо малого уровня, обучение останавливают, и сеть готова к распознаванию.

Важно отметить, что вся информация, которую сеть получает о задаче, содержится в наборе примеров. Поэтому качество обучения сети зависит от количества примеров в обучающей выборке, а также от того, насколько полно эти примеры описывают задачу. Считается, что для полноценной тренировки требуется хотя бы несколько десятков (а лучше сотен) примеров.

Заключение. Результат работы нейронной сети после предоставления ей необходимого числа примеров будет сохранён в ней для дальнейшего использования, что позволяет отказаться от ручного ввода последовательности обработки каждого конкретного изделия, делая этот процесс полностью автоматическим. САПР принимает решения самостоятельно; программисту необходимо лишь проверить правильность принятия нейронной сетью решения и внести корректиды в режимы обработки. Данная разработка в несколько раз снижает время на подготовку управляющих программ и с течением времени позволит накопить библиотеку базы знаний для оптимизации труда программиста станка с ЧПУ.

Библиографические ссылки

1. Круглов В.В. Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. М.: Горячая линия-Телеком, 2002. С. 12–40.
2. Nagasaka Yoshiyuki, Shichino Hayato, Takahashi Tomoyuki. CAE Systems for Gear Design and Manufacturing as Concurrent Engineering Tool / Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. № 645. 2000. С. 98–104.
3. Jan H. Vandenbrande, Aristides A.G. Requicha. IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, ч. 15, № 12/ Computer Science Department and Institute for Robotics and Intelligent Systems. University of Southern California, 1993. С. 1269–1285.

УДК 622.692

В.Ф. Шаякберов, канд. техн. наук (ООО «РН-УфаНИПИнефть», г. Уфа),
Ф.С. Гепштейн, Р.А. Янтурин, канд. техн. наук (ЗАО «Ростнефтехим», г. Уфа)

ShayakberovVF@ufanipi.ru

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Предложена гибкая муфта, предназначенная для обеспечения гибкости погружных электрических центробежных насосов при спуске и работе в скважине. Достигается угол изгиба между валами до 5° при одновременном уменьшении вибрации и увеличении подачи. Результаты подтверждены в ходе стендовых и промысловых испытаний.

Ключевые слова: скважина, кривизна, насос, гибкая муфта, подача, вибрация.

New exploitation technology of the submersible electric centrifugal pumps Flexible clutch intended for submersible electric centrifugal pumps flexibility guaranteeing during lowering and work in a well is proposed. Bend angle between shafts mounts to 5° by simultaneously vibration decrease and feed increase. Results were confirmed at the bench and field tests.

Key words: well, curvature, pump, flexible clutch, feed, vibration.

Введение. При кустовом бурении большая часть скважин имеет сверхнормативную кривизну. В погружных установках электрических центробежных насосов (УЭЦН), работающих в фонде искривлённых скважин, возникают боковые усилия, ведущие к появлению нерасчётных напряжений в корпусах и валах. Происходит ускоренный износ деталей и сокращение межремонтного периода. Аварийность УЭЦН увеличивает напряжение корпусов, возникающее при спуске погружных насосов в такие скважины.

Предложена новая технология эксплуатации УЭЦН в скважинах независимо от кривизны их ствола. Суть её заключена в придании гибкости погружным насосам. Это достигнуто оснащением штатной УЭЦН гибкими муфтами (ГМ) [1], обеспечивающими возможность спуска и работы насосов в скважинах независимо от кривизны ствола. Муфты предназначены для соединения погружного электродвигателя с насосом или их секций [1, 2]. На УЭЦН возможен монтаж одной или более ГМ (каждая обеспечивает работу при угле изгиба корпусов и валов до 5° и частоте вращения вала 3000 мин⁻¹). ГМ выпускают как в обычном, так и износостойком исполнении. В ходе испытаний УЭЦН с ГМ установлены [3]:

возможность подвески и эксплуатации насоса на любом участке ствола скважины независимо от его кривизны для более оптимального режима работы;

повышение добычи нефти за счёт увеличения глубины спуска насоса большего типоразмера в скважину со сверхнормативной кривизной ствола;

увеличение межремонтного периода насоса за счёт предотвращения работы в напряжённо-деформированном состоянии в кривом участке ствола скважины;

снижение вероятности отказов УЭЦН при спуске, являющихся следствием ослабления затяжки из-за асимметрии натяжения болтов при прохождении участков со сверхнормативной кривизной ствола;

уменьшение риска непрохождения насоса по стволу искривлённой скважины.

Дополнительно увеличение межремонтного периода связано со снижением вибрации в 2–3,5 раза после оснащения установки ГМ. Замеры вибрации проведены в ходе заводских стендовых испытаний. После монтажа ГМ подача насоса увеличилась на 6–10 % [3] при всех режимах, что, видимо, связано со снижением вибрации установки. Постоянный угол 1° 15' между погружным электродвигателем и насосом при испытаниях определён из возможностей стенда.

При опытно-промышленной эксплуатации в скважине ОАО «АНК «Башнефть» УЭЦН-80 с ГМ, расположенной между погружным электродвигателем и насосом, наработка составила 1092 сут. при среднем дебите жидкости 91,2 м³/сут. Причина остановки – отсутствие изоляции в системе «кабель – двигатель». На рис. 1 показано шарнирное соединение ГМ после подъёма насоса. Обычная наработка УЭЦН в скважинах со сверхнормативной кривизной ОАО «АНК «Башнефть» – 150–250 сут.

Для скважины ООО «РН-Пурнефтегаз» был проведён расчёт свободной вписываемости УЭЦН



a)



б)

Рис. 1. Гибкая муфта после 1092 сут наработки в скважине ОАО «АНК «Башнефть»»:

a – общий вид; б – шарнирное соединение

50-2200 (рис. 2) [3]. По его результатам оказалось, что достаточно монтажа одной ГМ в износостойком исполнении между протектором электродвигателя и газовым сепаратором. После наработки 196 сут. в связи с планово-предупредительным ремонтом была прекращена работа УЭЦН с ГМ. По результатам разбора было установлено, что отсутствует износ в составных частях. В настоящее время эксплуатация УЭЦН с ГМ в ОАО «НК «Роснефть» была продолжена. Подконтрольная работа трёх таких установок в ООО «РН-Пурнефтегаз» показала, что суточный прирост добычи нефти составил от 10 до 26 т.

Экономический эффект от применения ГМ в составе УЭЦН достигнут за счёт:

сокращения числа спуско-подъёмов насоса на колонне насосно-компрессорных труб и уменьшения годовой стоимости ремонтных работ;

дополнительной добычи нефти из-за увеличения рабочей глубины насоса и сокращения простояев.

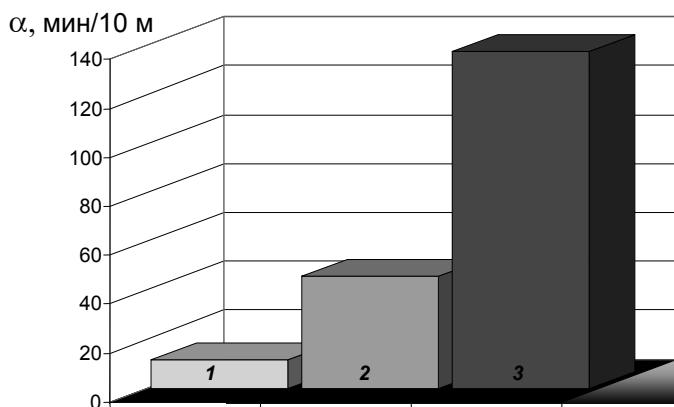


Рис. 2. Допустимые значения приращения зенитного угла α для УЭЦН 50-2200 в скважине ООО «РН-Пурнефтегаз»:

1 – без гибкой муфты; 2 – с одной гибкой муфтой; 3 – с тремя гибкими муфтами

В результате оценочных расчётов, выполненных для скважин ООО «РН-Юганскнефтегаз», получено, что для окупаемости ГМ достаточно увеличения межремонтного периода УЭЦН не более чем на 10–15 %.

Заключение. Разработана новая технология, обеспечивающая гибкость УЭЦН путём оснащения её ГМ. В ОАО «АНК «Башнефть» и ООО «РН-Пурнефтегаз» проведены стендовые заводские испытания, а также опытно-промышленная эксплуатация УЭЦН с этими муфтами. В ООО «РН-Пурнефтегаз» подвеска насоса произведена на участке ствола скважины, где работа штатной УЭЦН невозможна. При этом показано, что использование ГМ увеличивает межремонтный период УЭЦН независимо от кривизны ствола скважины.

Библиографические ссылки

1. Патент на изобретение РФ № 2230233. Гибкая шарнирная муфта / Ф.С. Гепштейн, И.А. Дьячук, В.Ф. Шаякберов. Заявл. 11.09.2002. Опубл. 10.06.2004. Бюл. № 16.
2. Технические условия. Муфты гибкие к погружным насосам и электродвигателям. ТУ 3639-001-80028030a2009. Уфа: 2009. 17 с.
3. Шаякберов В.Ф., Янтурин Р.А. О расширении возможностей УЭЦН // Нефтепромысловое дело. 2009. № 3. С. 27–28.



УДК 681.3

П.П. Куцко, канд. техн. наук, Е.Н. Огороднийчук
(Воронежская государственная лесотехническая академия)

wkz@rambler.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ РЕЙТИНГА, РЕАЛИЗУЕМОСТИ И ДОСТАТОЧНОСТИ ВОЕННОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОМПЛЕКСНЫХ ЦЕЛЕВЫХ ПРОГРАММ

Рассмотрено математическое обеспечение оценки рейтинга реализуемости и достаточности военной микроэлектроники при формировании комплексных целевых программ.

Ключевые слова: электронная компонентная база, математическое обеспечение, приоритетность разработок, рейтинговый анализ.

In article the software of an estimation of a rating a realizabilities and sufficiency of military microelectronics is considered at creation of complex target programs.

Key words: electronic component base, software, priority developments, the rating analysis.

В основу определения приоритетности разработок изделий электронной компонентной базы (ЭКБ) положен рейтинговый анализ, который позволяет проводить сравнительную оценку планируемых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). В его основе лежит обобщённая характеристика по определённому признаку (признакам), позволяющая выстраивать (группировать) работы в определённой последовательности по степени убывания (возрастания) данного признака. Признаки (критерии) классификации научно-исследовательских работ отражают степень их важности и первоочерёдности выполнения.

Алгоритм определения приоритетности разработок изделий электронной компонентной базы приведён на рисунке.

Как видно из рисунка, формируется множество (P_i) показателей (параметров) важности и первоочередности НИОКР:

приоритетность (обеспечение разработки важнейших образцов вооружений и военной техники (ВиВТ));

наличие в утверждённых решениях по замещению микросхем иностранного производства;

разработка одиночного изделия или серии, унифицированных рядов;

важность разработки ЭКБ с точки зрения достижения основных тактико-технических характеристик (ТТХ) образцов ВиВТ (традиционная или нетрадиционная технология разработки);

стадия выполнения работы (новые, переходящие, завершающие);

необходимые сроки поставки ЭКБ в образцы ВиВТ;

обеспечение комплектования одного или нескольких типов образцов ВиВТ.

Важность анализируемых показателей оценивают в зависимости от ущерба, наносимого выполнению программных документов в случае несоответствия параметра (показателя) установленному критерию.

В зависимости от задаваемых целевых установок все показатели по степени важности делятся:

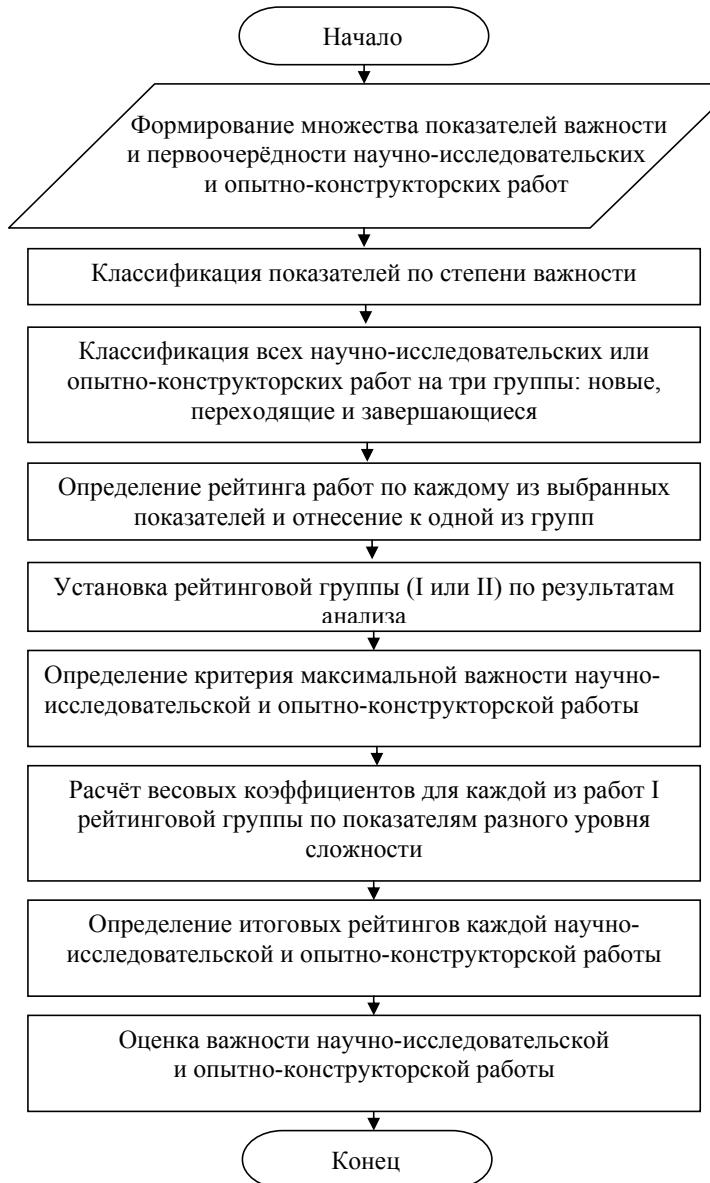
на важнейшие показатели (P_{v1}), отклонение которых от выбранного критерия может привести к катастрофическим последствиям для поставленной задачи, (коэффициент важности $K_{v1} = 1$);

определяющие показатели (P_{v2}), отклонение которых от выбранного критерия не приводит к катастрофическим последствиям для выполнения поставленной задачи (коэффициент важности $K_{v2} = 0,5$).

Все НИОКР классифицируются на три группы: новые, переходящие и завершающиеся.

По этим группам определяют рейтинг НИОКР по каждому из выбранных показателей, отнесённых по степени важности к одной из групп показателей P_{v1} , P_{v2} путём сравнения конкретного показателя P_i с установленным критерием Q_i (табл. 1).

По результатам сравнения показателей с выбранными критериями по каждой из N работ формируется табл. 2, в которой в зависимости от результата анализа показателей устанавливается



Алгоритм определения приоритетности разработок электронной компонентной базы

соответствующая этому состоянию рейтинговая группа (I или II). Предлагаемые критерии для оценки важности НИОКР приведены в табл. 3.

Далее определяют критерий максимальной важности НИОКР, при котором все анализируемые показатели попадают в первую рейтинговую группу:

$$\sum_{v=1}^a P_{vi} = \sum_{i=1}^a Q_{i1}, \sum_{v=1}^d P_{v2} = \sum_{i=1}^d Q_{i2},$$

где a, d – количество анализируемых показателей по группам важности, составляющих в сумме общее число анализируемых показателей P_i ; Q_{i1}, Q_{i2} – установленный критерий важности.

Рассчитываются весовые коэффициенты K_{r1} , K_{r2} для каждой из анализируемых НИОКР по показателям разного уровня важности, попавшим в первую рейтинговую группу:

$$K_{r1} = \sum_{r=1}^m P_{r1} / \sum_{v=1}^a P_{v1} \leq 1,$$

$$K_{r2} = \sum_{r=1}^g P_{r2} / \sum_{v=1}^d P_{v2} \leq 1,$$

где P_{r1}, P_{r2} – показатели 1-го и 2-го уровня важности соответственно; m, g – число показателей НИОКР (по группам важности), попавших в I и II рейтинговые группы.

Таблица 1

Рейтинг НИОКР

| Характеристика НИОКР | Значение показателя | Рейтинг НИОКР |
|---------------------------|---------------------|---------------|
| Соответствует критерию | $P_i = Q_i$ | I |
| Не соответствует критерию | $P_i < Q_i$ | II |

Таблица 2

Рейтинговые группы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

| Анализируемые показатели | Рейтинг НИОКР по анализируемым показателям | |
|--------------------------|--|----|
| | I | II |
| P_1 | + | - |
| P_2 | -a | + |
| P_3 | + | -a |
| ... | -a | -a |
| P_i | + | -a |

Таблица 3

Критерии оценки важности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

| Критерии важности НИОКР | Рейтинг НИОКР по показателю P_i | |
|--|---|---|
| | I | II |
| Обеспечение комплектования приоритетного образца ВиВТ | Для приоритетных образцов ВиВТ | Не для приоритетных образцов ВиВТ |
| Выполнение утверждённых решений по замещению импорта | В соответствии с утверждёнными решениями | Не решает задачу замещения импорта замещения |
| Решение задачи унификации | Обеспечивает серию унифицированных рядов ЭКБ | Обеспечивает разработку одиночного образца ЭКБ |
| Обеспечение достижения важнейших характеристик образцов ВиВТ | Обеспечивает достижение важнейших ТТХ образцов ВиВТ | Не обеспечивает достижение важнейших ТТХ образцов ВиВТ |
| Перспективность направления | Обеспечивает развитие нового направления | Обеспечивает выполнение работ на традиционных принципах |
| Увеличение срока выполнения НИОКР обеспечивает своевременную поставку ЭКБ для ВиВТ | Обеспечивает | Не обеспечивает |
| Решение задачи обеспеченности образцов ВиВТ элементной базой | Для многих образцов ВиВТ | Для одного образца ВиВТ |

Определяются итоговые рейтинги каждой НИОКР W_i путём суммирования рассчитанных весовых коэффициентов K_{r1} , K_{r2} с учётом установленных коэффициентов важности K_{v1} , K_{v2} :

$$W_i = K_{r1}K_{v1} + K_{r2}K_{v2}.$$

Оценивается важность работ по результатам анализа показателей путём сравнения их итоговых рейтингов W_{it} с максимально возможным W_{\max} , определяемым из рассмотренного выше выражения при условии $K_{r1} = K_{r2} = 1$ и принятым пороговым значением $W_{\text{пор}} < W_{it} < W_{\max}$.

Все НИОКР выстраиваются в порядке убывания их рейтинга (отдельно новые, переходящие и завершающиеся). В результате решения задачи получаются массивы информации, содержащие перечни НИОКР с указанием рейтинга.

При формировании рационального варианта требований к ЭКБ проводится анализ соответствия существующим и прогнозируемым потребностям разработчиков ВиВТ и возможностям отечественной промышленности по реализации этих требований в программный период.

На основе мониторинга потребностей разработчиков ВиВТ и анализа тенденций развития отечественной электронной компонентной базы формируется предварительный вариант требований к компонентной базе по группам и подгруппам с указанием релевантных параметров и уровня их значений.

Следующим этапом является анализ соответствия сформированных требований условию достаточности. В случае несоответствия рассматриваемому условию – требования к ЭКБ стремятся привести к максимальному удовлетворению потребностей разработчиков ВиВТ. Сформированный вариант требований к компонентной базе на программный период, максимально удовлетворяющий потребностям разработчиков, анализируется с точки зрения соответствия условию реализуемости этих требований. Если условие реализуемости не выполняется, определяют мероприятия по обеспечению потребностей в ЭКБ: использование баз иностранного производства с последующей заменой на отечественные аналоги; перенос сроков создания образцов

ВиВТ на период, необходимый для создания требуемой ЭКБ отечественной промышленностью; разработка электронной базы на отечественных предприятиях и производство за рубежом и др.

Для повышения обоснованности требований необходим разносторонний анализ состояния и тенденций развития элементной базы, основанный как на расчётах, так и на аргументированных суждениях специалистов-экспертов.

Применение предложенного экспериментального метода в значительной мере позволяет обеспечить объективность, многосторонность, комплексность и компетентность принимаемых практических решений. В данном случае необходимо получение качественных групповых экспериментальных оценок по частным критериям, по которым может быть принято решение о достаточности и реализуемости требований к ЭКБ на программный период. В качестве экспертной информации рассматриваются балльные оценки на основе частных критериев по целочисленной порядковой шкале. Качественные оценки ранжируются по возрастанию позитивности ответа. Для определения групповой оценки используется медиана выборки множества экспертных мнений по частным критериям для каждого исследуемого объекта (группы, подгруппы ЭКБ, значений основных технических параметров).

Нахождение групповой оценки правомерно при отсутствии деления множества экспертных мнений для конкретного исследуемого объекта по каждому из рассматриваемых частных критериев на две группы или более, имеющие единые групповые точки зрения.

В результате проведена формализация метода обработки результатов экспериментального оценивания. Предложенный метод анализа экспертной информации применим как для анализа достаточности требований к ЭКБ, так и для анализа их реализуемости. На основе данного математического обеспечения разработан программный модуль, который включен в информационную систему координационного управления и успешно используется для экспертизы заявок при формировании комплексных целевых программ создания военной микроэлектроники.

Вниманию авторов!

Требования к оформлению статей, присыляемых для публикации,
можно найти на сайте www.mashin.ru



ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

SYMANTEC: В 2010 г. КИБЕРУГРОЗЫ СТАЛИ ЗНАЧИТЕЛЬНО БОЛЕЕ МАСШТАБНЫМИ И ИЗОЩРЁННЫМИ

Корпорация Symantec (Nasdag: SYMC) – мировой лидер в области решений для обеспечения безопасности, хранения данных и управления системами – обнародовала 16-й ежегодный отчёт об угрозах безопасности в интернете. Отчёт свидетельствует о важных изменениях в ландшафте интернет-угроз в 2010 г., а также об усложнении этих угроз и увеличении их масштабов.

За 2010 г. Symantec обнаружила более 286 млн. новых угроз. Такое огромное количество угроз сопровождалось появлением нескольких новых важных тенденций. Во-первых, в 2010 г. наблюдался резкий рост как частоты, так и изощрённости направленных атак на предприятия. Во-вторых, социальные сети стали использоваться злоумышленниками как платформы для распространения атак. В-третьих, нападающие изменили тактику – они всё чаще стали использовать уязвимости Java для взлома традиционных компьютерных систем. Наконец, замечен резкий рост интереса мошенников к мобильным устройствам.

2010: Год направленных атак. Направленные атаки, такие как Hydraq и Stuxnet, представляли растущую угрозу для предприятий в 2010 г. Для успешного и незаметного проникновения в компьютерные сети предприятий злоумышленники использовали ранее неизвестные уязвимости (так называемые уязвимости нулевого дня). А, например, Stuxnet для осуществления атак использовал сразу четыре таких уязвимости.

В 2010 г. злоумышленники атаковали целый ряд разнообразных крупных транснациональных корпораций и правительственные учреждений, а также на удивление много небольших компаний. Часто злоумышленники собирали информацию о конкретных сотрудниках атакуемой корпорации, а затем разрабатывали индивидуальный подход к конкретной жертве (в основном с использованием методов социальной инженерии) для получения доступа в сеть компании-жертвы. Благодаря такому прицельному характеру, многие из этих атак достигли успеха даже в отношении таких организаций, где соблюдались основные меры безопасности.

«Stuxnet и Hydraq, два самых заметных кибер-события 2010 г., стали эпизодами настоящей кибервойны – они кардинальным образом изменили ландшафт угроз, – заявил Стивен Триллинг (Stephen Trilling), вице-президент Symantec по технологиям безопасности и ответных действий. – Фокус угроз расширился от попыток взлома частных бан-

ковских счетов до нанесения ущерба информационной и физической инфраструктуре целых государств».

Получившие широкую огласку направленные атаки 2010 г. имели своей целью хищение интеллектуальной собственности или нанесение физического ущерба. Однако многие менее известные направленные атаки были нацелены и на частных лиц для получения доступа к их персональной информации. По данным отчёта, в 2010 г. в среднем один успешный взлом приводил к попаданию в открытый доступ персональных данных 260 000 человек.

Социальные сети: плодородная почва для киберпреступности. Популярность социальных сетей продолжает расти, и создатели вредоносных программ не могли оставить это без внимания. Чаще всего злоумышленники используют короткие URL-адреса, которые обычно применяются для сокращения числа символов в сообщении на том же Твиттере, более аккуратного вида длинной ссылки на сайте или в письме. В 2010 г. мошенники распространяли миллионы таких ссылок по социальным сетям с целью заманить пользователей на фишинговые сайты или заразить вирусом или другим вредоносным ПО. Это спровоцировало рост количества случаев успешного инфицирования.

В отчёте отмечается, что злоумышленники по максимуму использовали возможности новостных лент популярных соцсетей для массовых вредоносных активностей. Типичный сценарий выглядел так: злоумышленник входит на взломанный аккаунт в социальной сети и вывешивает в статусе короткую ссылку на вредоносный веб-сайт. Затем сайт социальной сети автоматически отправляет ссылку в новостные потоки друзей жертвы, распространяя её таким образом сотням или тысячам жертв в течение нескольких минут. Корпорация Symantec зафиксировала, что в 2010 г. 65 % вредоносных ссылок в новостных потоках использовали короткие URL-адреса. Из них на 73 % «кликали» более 10 раз, а 33 % – от 11 до 50 раз.

Готовые инструменты для осуществления атак сфокусировались на Java. Наборы эксплойтов для атак – это компьютерные программы, которые могут использоваться как продвинутыми хакерами, так и новичками для облегчения запуска широкомасштабных атак. Такие инструменты повсеместно применялись в 2010 г. и всё чаще использовали уязвимости Java, на долю которой пришлось 17 % всех уязвимостей плагинов веб-браузеров. Являясь популярной мульти-платформенной технологией, не привязанной к типу браузера, Java остаётся привлекательной мишенью для злоумышленников.

Набор Феникс (Phoenix) стал основой для большинства осуществлённых веб-атак в 2010 г.. Он, как и многие другие наборы, тоже содержит элементы, использующие уязвимости Java. За отчётный период топ-6 веб-атак использовали экспойты к уязвимостям Java.

Число веб-атак, ежедневно фиксированных в 2010 г., возросло на 93 % по сравнению с 2009 г. И, учитывая то, что по данным Symantec две трети всех этих угроз были созданы с помощью готовых наборов инструментов, именно они могли стать причиной такого резкого роста.

Проясняется схема действий злоумышленников в мобильном пространстве. Повсеместное распространение мобильных платформ достигло того уровня, когда злоумышленники просто не могут не обращать на это внимания. В связи с этим Symantec ожидает увеличение числа атак на эти платформы. В 2010 г. мобильные устройства атаковались преимущественно троянскими программами, маскировавшимися под легитимные приложения. И хотя некоторые из этих программ были разработаны злоумышленниками «с нуля», во многих случаях инфицирование пользователей происходило путём вписывания вредоносных алгоритмов в исходные официальные приложения. Затем злоумышленники распространяли эти зараженные приложения через общедоступные интернет-магазины. К примеру, именно таким способом воспользовались авторы Pjapps Trojan.

Несмотря на то, что новые архитектуры систем безопасности, используемые в современных мобильных устройствах, не уступают в эффективности настольным компьютерам и серверам, злоумышленникам часто удается миновать эту защиту, используя внутренние уязвимости мобильных платформ. К сожалению, такие недочёты встречаются довольно часто: в течение 2010 г. корпорация Symantec обнаружила 163 уязвимости, которые могли бы быть использованы злоумышленниками для получения частичного или полного контроля над устройствами, использующими популярные мобильные платформы. В течение первых месяцев 2011 г., злоумышленники уже воспользовались этими недочётами, чтобы инфицировать сотни тысяч устройств.

Ландшафт угроз – основные цифры и факты:

286 миллионов новых угроз – 2010 г. характеризовался многообразием вредоносного ПО, а также появлением новых механизмов его распространения, что послужило причиной дальнейшего роста количества вредоносных технологий. В 2010 г. Symantec столкнулся с более чем 286 млн. уникальных вариантов вредоносного ПО;

количество веб-атак выросло на 93 % – благодаря готовым инструментам для осуществления веб-атак, их число увеличилось в 2010 г. на 93 %. Этому также способствовало широкое использование сервисов коротких URL;

260 000 «человеческих жертв» за одну успешную атаку – Таково среднее количество людей, чьи персональные данные оказались в открытом доступе после взлома в 2010 г.;

14 новых уязвимостей нулевого дня – Уязвимости нулевого дня сыграли ключевую роль в направленных атаках, таких как Hydraq и Stuxnet. Только Stuxnet использовал четыре различные уязвимости нулевого дня;

6 253 новые уязвимости – В 2010 г. Symantec зафиксировал больше уязвимостей, чем в любой предыдущий отчётный период;

число обнаруженных мобильных уязвимостей выросло на 42 % – Признаком того, что киберпреступники начинают фокусироваться на мобильном пространстве стал рост числа зафиксированных новых уязвимостей мобильных операционных систем со 115 в 2009 до 163 в 2010 г.;

один ботнет с более одного млн. спам-ботов – В 2010 г. был период, когда под контролем Rustock, самого крупного ботнета из наблюдавшихся в 2010 г., находилось более одного млн. ботов. Другие ботнеты – такие как Grum и Cutwail – отставали ненамного, контролируя многие сотни тыс. ботов каждый;

74% спама относились к фармацевтической продукции – В 2010 г. примерно три четверти всего спама представляли собой рекламу фармацевтических препаратов;

\$15 за 10 000 ботов – Проводя мониторинг рекламных объявлений теневого рынка в 2010 г., Symantec обнаружил, что 10 тыс. ботов продавались всею за 15 долл. США. Обычно боты используются для спам-рассылок и распространения ложного ПО, однако в последнее время их все чаще применяют для DDOS-атак.;

от \$0.07 до \$100 за кредитную карту – В 2010 г. цены на реквизиты кредитных карт на подпольных форумах варьировались в широком диапазоне. Факторами, диктовавшими цену, были редкость карты и скидки при оптовой покупке.

По итогам 2010 года Россия заняла первое место в Европе по уровню организованного «спам-зомбирования». Россия второй год подряд входит в топ-10 стран с наиболее высокой вредоносной активностью в Интернете (оценка основана на данных об источниках сетевых и веб-атак, бот-инфицированных компьютерах, вредоносном коде, спам-зомби и фишинговых серверах). При этом в 2010 г. Россия заняла первое место в Европе и третье место в мире по количеству организованных сетей спам-зомби.

Организованные сети спам-зомби (также называемые спам-ботнетами) – сети зараженных компьютеров, запрограммированных рассыпать спам и управляемых с удаленных серверов. Такие сети обладают «внутренним интеллектом», позволяющим им распределять массированные рассылки среди множества элементов сети и при отключении одного из элементов оперативно переключать соответствующую работу на другие компьютеры. Посредством распространения вредоносных программ компьютеры могут быть запрограммированы рассыпать спам по собственной адресной книге или любому заданному списку.

Россия управляет долей в 7 % от общемирового числа спам-ботнетов, являясь источником спам-

зомби для таких крупных организованных сетей, как Grum, Cutwail, Maazben, Ozkok (Mega-D), Bo-bax и др.

За 2010 г. доля России на мировом рынке спама выросла с 2% в начале 2010 г. до 4–5% в начале 2011 г. Такой рост обусловлен введением в эксплуатацию доменного имени «.рф», общественная регистрация на которое открылась 11 ноября 2010 г.

Доля спама из России в 2010 г. составила примерно 3%, при ежедневном потоке спама в 95,5 млрд сообщений, это почти 3 млрд сообщений в день. Если учесть масштабы этой деятельности и среднюю стоимость услуг по рассылке спам-сообщений – примерно 2–3 копейки за сообщение, – оборот рынка спама в России за 2010 г. составил более 25 млрд руб. «Спам – это не только недобросовестная реклама. Во многих случаях это письма, отправляемые с целью получить незаконным путем какую-либо информацию с компьютера пользователя или инфицирования систем вредоносным ПО с целью дальнейшего проникновения в корпоративную сеть. Часто злонамеренные электронные сообщения являются первым шагом в осуществлении спланированной целевой атаки», – говорит Олег Шабуров, старший системный инженер Symantec в России и СНГ. – Попадание в сети ботнетов может нанести серьезный удар индивидуальному пользователю или компании, в том числе и с точки зрения репутации».

Ботнетами рассыпается около 90% мирового спама. О масштабе деятельности ботнетов также может говорить тот факт, что после недавнего закрытия сети Rustock за несколько дней объём мирового спама, по данным Symantec, уменьшился на 40%. «Тем не менее, освободившаяся ниша с большой долей вероятности скоро будет занята другими ботнетами, и по нашим прогнозам, России отойдет очень весомая доля», – поясняет Олег Шабуров.

Спам зомби известны многим российским пользователям также и в социальных сетях. Нередки случаи кражи данных учетных записей и последующей рассылки спама по всему списку друзей в Одноклассниках или В контакте. И это вполне закономерно, методы социальной инженерии уже давно используются мошенниками и в 2010 г. продолжили своё развитие.

Помимо активности, связанной с распространением спама, по данным отчета Symantec об угрозах интернет-безопасности за 2010 г., из России исходило 2% всего вредоносного кода в мире, 3% сетевых атак. На территории России расположено 2% фишинговых хостов (поддельных сайтов, выманивающих под видом сайта настоящей организации деньги у населения). Это довольно высокие показатели, учитывая тот факт, что в России проживает около 2% от общего числа пользователей интернета.

Отчет об угрозах интернет-безопасности основывается на реальных, эмпирических данных, собранных глобальной аналитической сетью Symantec Global Intelligence Network, оригинальных исследованиях и активном мониторинге коммуникаций ха-

керов. Отчёт позволяет глобально и объективно взглянуть на состояние Интернет-безопасности. Том 16 отчета охватывает период с января по декабрь 2010 г.

КОМПАНИЯ MAKINO ВЫХОДИТ НА РОССИЙСКИЙ РЫНОК

В рамках расширения операций в Европе глобальный лидер в области технологий стремится поддержать программу модернизации российской промышленности своими решениями в области передовых технологий производства. Офис представительства открылся в Москве в марте этого года. Модернизация производственных мощностей, призванная положить конец зависимости России от экспорта нефти и газа и способствовать её экономической диверсификации, стало основным соображением при открытии офиса Makino в Москве. «Учитывая огромный потенциал, который мы видим на российском рынке, я считаю, что этот шаг стал для нас крайне важной вехой в освоении новых рынков» – говорит П. Андерс Ингемарссон, президент и главный исполнительный директор компании MAKINO Европа. «Наши обрабатывающие центры, всемирно известные благодаря своим характеристикам, могут внести решающий вклад в модернизацию российской промышленности».

Компания Makino Milling Machine Co., Ltd. имеет репутацию лидера в области технологий и сервисной поддержки в станкостроении. Корпорация зарегистрирована на токийской фондовой бирже и имеет численность около 3700 сотрудников в Северной и Южной Америке, Европе и Азии. Богатый спектр высококлассной продукции Makino включает обрабатывающие центры для производства деталей, штампов и пресс-форм с широким ассортиментом применения в таких отраслях, как авиакосмическая, автомобилестроительная промышленность, энергетика, железнодорожная отрасль, производство автомобилей-внедорожников, компонентов для промышленности и микропроцессорная техника. Высокая точность и оперативная готовность решений позволит Makino внести серьёзный вклад в повышение эффективности производства и уровень автоматизации. Группа MAKINO Европа объединяет технологические центры в Гамбурге, Штутгарте, Париже, Милана и Братиславы и специализируется на маркетинге, продажах, проектировании на условиях заказчика и сервисном обслуживании.

Господин Гётц Эрик Эренфордт, недавно назначенный Главой представительства в России, будет официальным представителем, ответственным за развитие бизнеса в регионе. Представительство находится в центре Москвы (4-й Добрининский переулок, 8) около станции метро «Добринская». В ближайшие месяцы предполагается расширить штат офиса Makino.



ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

УДК 621.002.51

По страницам журналов

Эргатический информационно-управляющий комплекс многоцелевых беспилотных вертолётов. Полёт. 2010. № 10.

Представлена технология разработки, создания и функционирования эргатического информационно-управляющего комплекса многоцелевых беспилотных вертолётов средней дальности наземного базирования. Рассмотрена архитектура, концепция построения информационно-управляющего и бортового комплексов управления вертолёта, интегрированного наземного пункта управления и его эргатического интерфейса.

О воспроизводимости и достоверности результатов автоматизированного ультразвукового контроля сплошности труб. Контроль. Диагностика. 2010. № 10.

Рассмотрен автоматизированный ультразвуковой контроль труб в иммерсионном варианте. Показан механизм формирования воспроизводимости и достоверности результатов контроля. Предложены определения воспроизводимости и достоверности результатов контроля применительно к автоматизированным системам ультразвукового контроля труб.

Модель алгоритмов для управляющих действий в нечётких системах вибродиагностики. Контроль. Диагностика. 2010. № 10.

В настоящее время нет каких-либо приемлемых методов и средств поиска информативных диагностических признаков и тем более оценки технического состояния элементов и узлов магистральных насосных агрегатов (МНА). Отчасти задача повышения точности, быстродействия и надёжности оценки технического состояния МНА была решена за счёт применения методов Марковской теории оптимальной нелинейной фильтрации. Однако в реальных условиях нет полной априорной информации, а изменение параметров сигналов случайным образом приводит к изменению уравнений состояний и измерений. Для этого случая алгоритм управляющих действий в диагностических системах может быть реализован в виде нечётких (логико-лингвистических) моделей. Приведены примеры моделей.

Особенности фрикционных автоколебаний в континуальной системе. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. № 11.

Рассмотрены особенности фрикционных автоколебаний в системах с континуальными упру-

гоинерционными свойствами. Проведено сопоставление результатов для континуальных и эквивалентных дискретных моделей процессов. Приведены аналитические законы движения континуальных систем (для квазигармонических автоколебаний) и численные расчёты устойчивости релаксационных автоколебаний.

Разрушение поверхности катания железнодорожного колеса, инициированное трением и силовыми нагрузками. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. № 11.

Металлическая поверхность катания железнодорожного колеса подвергается очень большим температурным и силовым нагрузкам в процессе эксплуатации трибосистемы «колесо—рельс—тормозная колодка». Поэтому на ней появляются различные дефекты, такие как трещины, выщербины и т. д. Методами оже-электронной и рентгено-электронной спектроскопии ранее установлено, что легирующие и примесные атомы концентрируются на зернограницах поверхностях взаимодействующих материалов трибологической системы. Среди них такие, как фосфор, сера, стронций, барий, кальций, калий и другие, которые оказывают негативное влияние на скрепление между зернами. На поверхностях границ между зернами вблизи поверхности катания были также обнаружены ямки размером от 0,2 мкм и больше. Предложена модель образования насыщенного раствора вакансий в твёрдом теле. С помощью этой модели был оценён эксплуатационный срок службы материала железнодорожного колеса.

Параметры шероховатости выглаженных поверхностей. Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. № 11.

Рассмотрено формирование профиля шероховатости поверхностей деталей при выглаживании. Приведена парная корреляция между параметрами шероховатости выглаженных поверхностей, показывающая важность выбора определённого диапазона режимов выглаживания. Предложена формула для оценки опорной способности шероховатости поверхности. Представлены результаты экспериментальных исследований наследственных связей между параметрами шероховатости исходной и выглаженной поверхности. Установлено, что для гарантированного обеспечения заданного профиля шероховатости поверхности

при выглаживании необходимо выявить численные значения наследственных связей для каждого обрабатываемого материала детали и затем экспериментально подобрать режимы обработки, варьируя преимущественно скорость выглаживания.

Методика выбора рациональных режимов технологических процессов центробежной обработки. Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. № 11.

Предложена методика проектирования технологических процессов центробежной обработки. Получены зависимости для определения шероховатости обрабатываемой поверхности, степени и глубины упрочнения.

Оборудование для плазменного нанесения и упрочнения покрытий с модуляцией электрических параметров. Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. № 11.

Рассмотрены схемы установки плазменного нанесения покрытий с модуляторами тока дуги плазмотрона прямой и обратной полярности. Представлены технические характеристики модуляторов и рекомендации по режимам нанесения покрытий, перспективная схема двухполярной импульсной модуляции тока косвенной и прямой (выносной) дуги плазмотрона для процессов напыления и гибридного процесса напыления – наплавки. Разработано оборудование для высокоеффективных ресурсосберегающих технологий плазменного нанесения и упрочнения покрытий на различные детали машин.

Особенности фрикционных автоколебаний в континуальной системе. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. № 11.

Рассмотрены особенности фрикционных автоколебаний в системах с континуальными упругоинерционными свойствами. Проведено сопоставление результатов для континуальных и эквивалентных дискретных моделей процессов. Приведены аналитические законы движения континуальных систем (для квазигармонических автоколебаний) и численные расчёты устойчивости релаксационных автоколебаний.

Прогнозирование безотказности трибосопряжений по критерию износстойкости на стадии их проектирования. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. № 11.

Предложена модель процесса формирования постепенных отказов трибосопряжений по критерию износстойкости в детерминистическом и вероятностном аспекте. Она построена на основе термодинамического анализа процесса трения, как процесса двойственной молекулярно-механической природы. Теоретические зависимости для определения скорости изнашивания элементов трибосопряжения получены совместным решением двучленных уравнений энергети-

ческого баланса установившегося процесса фрикционного взаимодействия и уравнений молекулярно-механической теории, решенных относительно коэффициента трения. Методика позволяет на стадии проектирования сопряжений предсказать уровень значений коэффициента безопасности, вероятности безотказной работы и временных характеристик безотказности трибосопряжений в предполагаемых условиях эксплуатации. Достоверность аналитических зависимостей подтверждена сравнительным анализом экспериментальных и расчётных данных по изнашиванию образцов из различных материалов на машине трения.

Влияние геометрических параметров роторной ступени с развернутыми лопатками на откачные характеристики турбомолекулярного насоса. Инженерный журнал «Справочник». 2010. № 11.

Представлены результаты моделирования методом Монте-Карло процесса прямого и обратного перехода молекул газа через межлопаточные каналы роторного колеса с развернутыми лопатками турбомолекулярного насоса. Разработана программа расчёта максимальной быстроты откачки и максимального сжатия газа с учётом толщины лопаток для различных законов распределения скоростей молекул газа, входящих в каналы, и законов отражения молекул от стенок лопаток. Приведены примеры расчётов.

Устранение дефектов при выполнении электромонтажа накруткой. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. № 11.

Рассмотрены способы исключения дефектов при электромонтаже способом накрутки по спирали при автоматической накрутке, при настройке механизма осевой подачи накручивающей головки, при подаче вручную. Предложены рекомендации для исключения дефектов при регулировании осевого перемещения, уменьшении скорости перемещения накручивающей головки, рекомендации по предупреждению брака при накрутке, по обеспечению высокого качества электромонтажных работ с применением различных способов накрутки.

Влияние ультразвуковых радиальных колебаний на процесс разборки гладких соединений. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. № 11.

Рассмотрена возможность применения радиальных ультразвуковых колебаний при разборке гладких соединений деталей машин. Предложена конструкция ультразвуковой колебательной системы для возбуждения радиальных колебаний в соединении вал – втулка. Приведён расчёт основных акустических и технологических параметров процесса.

Создание автоматических космических комплексов для научных исследований Луны: вчера, сегодня, завтра. Полёт. 2010. № 11.

Приведено описание автоматических космических комплексов, созданных и проектируемых коллективом НПО им. С.А. Лавочкина для фундаментальных и прикладных научных исследований Луны. Дано краткое описание решаемых ими научных задач. Представлены предложения по дальнейшей программе научных исследований Луны.

Информационные технологии в научных экспериментах в космосе. Полёт. 2010. № 11.

Предлагается структура научно-образовательного ресурса, использующего современные информационные технологии для создания на основе телеметрических данных адаптивных моделей и виртуальных образов, отражающих функционирование космического аппарата и условий, в которых проводятся эксперименты в космосе. Описаны примеры использования созданного программного комплекса для сопровождения миссий КА «Фотон-М2/3».

Устройство для идентификации дискомфортных режимов полёта и оценка точности его работы. Полёт. 2010. № 11.

Представлены состав и назначение блоков разработанного устройства для идентификации дискомфортных режимов полёта. Его первый блок – аналого-цифровое вычислительное устройство – даёт максимальную погрешность, так как на него подаются аналоговые сигналы со штатных датчиков самолёта. Для этого блока рассчитаны методическая погрешность оценки временного интервала T между точками пересечения линии нулевого уровня вертикальными порывами и погрешность оценки T , вызванная порогом срабатывания компаратора. Определено минимальное значение крутизны функции F при переходе через нулевой уровень, при котором гарантируется заданная точность работы устройства.

Новые методы фотометрических измерений интегрированной солнечной постоянной. Контроль. Диагностика. 2010. № 11.

Предложены новые методы измерения интегрированной солнечной постоянной с помощью пиранометров. Показано, что интегрированная солнечная постоянная может быть вычислена на основе результатов пиранометрических измерений при двух оптических воздушных массах. При этом удается устранить влияние неопределенности значения коэффициента мутности Линке на результат измерений.

Контактные деформации соединения вал – втулка под действием радиальной силы и опрокидывающего момента. Вестник машиностроения. 2010. № 12.

Для соединений вал – втулка с зазором и натягом в предположении абсолютной жёсткости со-

прягаемых деталей и податливости контактного слоя получены зависимости сближения от радиальной силы и угла поворота от опрокидывающего момента. Сопоставлены результаты расчёта и эксперимента для соединения с зазором, нагруженного радиальной силой.

Итеративные регуляризованные алгоритмы обработки измерительной информации. Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 11.

Проведён анализ функционирования итеративных регуляризованных алгоритмов обработки информации на основе решения задачи оценки параметров динамических систем. Сделаны выводы и выработаны рекомендации для их практического применения.

Выделение линии горизонта на телевизионных и тепловизионных изображениях. Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 11.

Предложен новый подход к автоматическому выделению линии горизонта при комплексной обработке телевизионных и тепловизионных панорамных изображений. Разработана итерационная процедура компьютерной обработки изображений, обеспечивающая построение линии горизонта в простых и сложных метеоусловиях. Приведены результаты обработки изображений реальных сцен, содержащих пригоризонтные области.

Оценка соответствия специалиста требованиям работодателя на основе нечётких вычислений. Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 11.

Рассмотрен вопрос количественной оценки степени соответствия претендента на должность/рабочее место требованиям работодателя на основе количественных и качественных оценок претендента и нечётких вычислений.

Применение основанного на когнитивном анализе метода обработки документов для повышения эффективности их поиска в сети интернет. Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 11.

Предложен новый метод обработки текстовых документов, основанный на когнитивном анализе. Показана целесообразность применения метода в составе распределённой мультиагентной поисковой системы.

Расчётно-экспериментальный метод прогнозирования остаточного ресурса зубчатых передач. Автомобильная промышленность. 2010. № 11.

Предложена методика формирования блоков нагружения зубьев шестерни при проведении ресурсных испытаний зубчатых передач, рассматривающая каждый зуб как отдельный объект испытаний и позволяющая по результатам вибромониторинга прогнозировать остаточный ресурс зубчатых пар.