

# 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.

Шебакин И.Ю.

(заместитель главного редактора)

**РЕДАКЦИЯ:**

Шебакин И.Ю. — зам.главного редактора

Гончарова Л.К. — научный редактор

Осипова В.Г. — научный редактор

Артамонова М.Н. — секретарь

*Адрес редакции:*

107076, Москва,

Стромынский пер., 4/1, стр. 3

Тел.: (499) 748 0290,

E-mail: [ast@mashin.ru](mailto:ast@mashin.ru); <http://www.mashin.ru>

**8**  
**2008**

**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

---

Издательство «Машиностроение»

*Адрес издательства:*

107076, Москва,

Стромынский пер., 4/1, стр. 3

Тел.: (495) 268 3858,

факс: 269 4897

## СОДЕРЖАНИЕ

### АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

- Васин А.В., Ивашов Е.Н., Степанчиков С.В.** Идеология проектирования автоматизированного оборудования современных вакуумных технологий ..... 3
- Никифоров С.О., Мархадаев Б.Е.** Полициклоидальные мехатронные устройства ..... 8

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Ветров А.Н.** Особенности реализации информационно-образовательных сред автоматизированного обучения ..... 16
- Карташов Б.А., Карташов А.Б., Медведько М.Ю., Шабаетв Е.А.** Моделирование нелинейных динамических систем в среде программного комплекса «МВТУ» ..... 25

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- Шполянская И.Ю.** Модель управления малым коммерческим предприятием как открытой системой ..... 31
- Мезенцев Ю.А.** Математические модели управления подсистемами логистики на предприятиях ..... 35

### ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

- «Металлообработка-2008» ..... 45

### ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

- По страницам журналов ..... 46

## CONTENTS

### AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

- Vasin A.V., Ivashov E.N., Stepanchikov S.V.** Automatic equipment design ideology for modern vacuum technology ..... 3
- Nikiforov S.O., Markhadaev B.E.** Polycycloidal mechanotronic devices ..... 8

### MODERN TECHNOLOGIES

- Vetrov A.N.** Realization features of the inform-educational surroundings for automatic education ..... 16
- Kartashov B.A., Kartashov A.B., Medvedko M.Yu., Shabaev E.A.** Nonlinear dynamic systems simulation in the program complex "MBTU" surrounding ..... 25

### ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

- Shpolyanskaya I.Yu.** Management model of the small commercial enterprise as open system ..... 31
- Mezentsev Yu.A.** Mathematical models of the logistic subsystem management on the enterprises ..... 35

### EXHIBITION AND PRESENTATIONS

- «Metalloobrabotka-2008» ..... 45

### SURVEY OF PERIODICALS

- Periodicals review ..... 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 (495) 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 (495) 269 6600, 269 5298

Художественный редактор *Галицына Т.Н.*  
Компьютерный набор *Путилов В.Н.*  
Компьютерная верстка *Тугаринов А.А.*

Сдано в набор 30.05.08. Подписано в печать 28.07.08.  
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная  
Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 6,47. Заказ 835. Цена свободная

Набрано в ФГУ «Научно-исследовательский институт —  
Республиканский исследовательский  
научно-консультационный центр экспертизы»  
123995, Москва, ул. Антонова-Овсеенко, 13. Тел.: (499) 7951789

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

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 несёт рекламодатель

Издательство «Машиностроение»,  
«Автоматизация и современные технологии», 2008 г.

# 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)

**РЕДАКЦИЯ:**

Шебалин И.Ю. — зам.главного редактора

Гончарова Л.К. — научный редактор

Осипова В.Г. — научный редактор

Артамонова М.Н. — секретарь

**Адрес редакции:**

107076, Москва,

Стромынский пер., 4/1, стр. 3

Тел.: (499) 748 0290,

E-mail: [ast@mashin.ru](mailto:ast@mashin.ru); <http://www.mashin.ru>

**8**  
**2008**

**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

---

Издательство «Машиностроение»

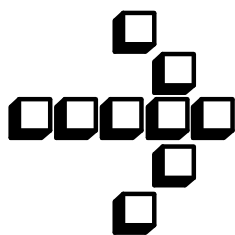
**Адрес издательства:**

107076, Москва,

Стромынский пер., 4/1, стр. 3

Тел.: (495) 268 3858,

факс: 269 4897



## АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

### ИДЕОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ВАКУУМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*А. В. Васин, Е. Н. Ивашов, С. В. Степанчиков*

*Рассмотрена идеология проектирования автоматизированного вакуумного оборудования с использованием принципа управляемой упругой деформации, при которой эффект функционирования внутрикамерных систем создаётся в результате внутреннего трения, что полностью исключает наличие трения движения как источников привносимой дефектности. Такой подход обеспечивает создание современной индустрии высоких вакуумных технологий.*

Анализ тенденций развития современной электронной техники в отечественной практике и в промышленно развитых странах свидетельствует о непрерывном расширении масштабов применения высоких вакуумных технологий и технологического оборудования для их реализации.

Одним из важнейших факторов, определяющих уровень и надёжность оборудования этого класса, является не только его способность формировать необходимые для соответствующих технологических процессов вакуумные условия, но и сохранять их стабильными в течение технологического цикла.

Аналогичные проблемы возникают при создании высоковакуумного оборудования в приборостроительной, авиационной и космической технике, в прецизионной металлургии для уникальных процессов атомной и термоядерной энергетики, ядерной физики, физики элементарных частиц, вплоть до тонких химических и медицинских технологий.

Сохранение «чистого» вакуума в процессе работы высоковакуумного автоматического оборудования с размещением в вакуумных камерах различных функциональных систем и устройств для ориентации и перемещения изделий относительно источников технологического воздействия, их транспортирования и межкамерного шлюзования в многомодульных системах и т. д. является достаточно сложной комплексной задачей (рис.1).

В то же время автоматизация сложных технологических процессов требует размещения в вы-

соковакуумных камерах ряда механизмов, которые во многих случаях могут стать источниками генерации «загрязнений», или так называемой привносимой дефектности вакуумной среды, в том числе наиболее опасного их вида — микрочастиц износа, при наличии в составе функциональных механизмов узлов внешнего трения скольжения или качения.

Устранить генерацию микрочастиц износа трущихся пар возможно только в случае их полного исключения в конструкциях функциональных механизмов. Одной из таких возможностей является создание различных исполнительных устройств и систем с использованием принципа управляемой упругой деформации, при которой эффект функционирования механизмов создаётся в результате внутреннего трения.

Механизмы этого типа основаны на использовании герметичных полых трубчатых элементов различного геометрического очертания (приводов) различной формы нормального поперечного сечения и ориентации друг относительно друга в составе законченного устройства или системы.

Для приведения в действие приводов в каждый из них независимо подаётся газообразный или жидкий энергоноситель, создающий в герметичной полости приводов необходимое давление для деформации их в упругой области. Величиной создаваемого давления и, соответственно, величиной деформации легко управлять.

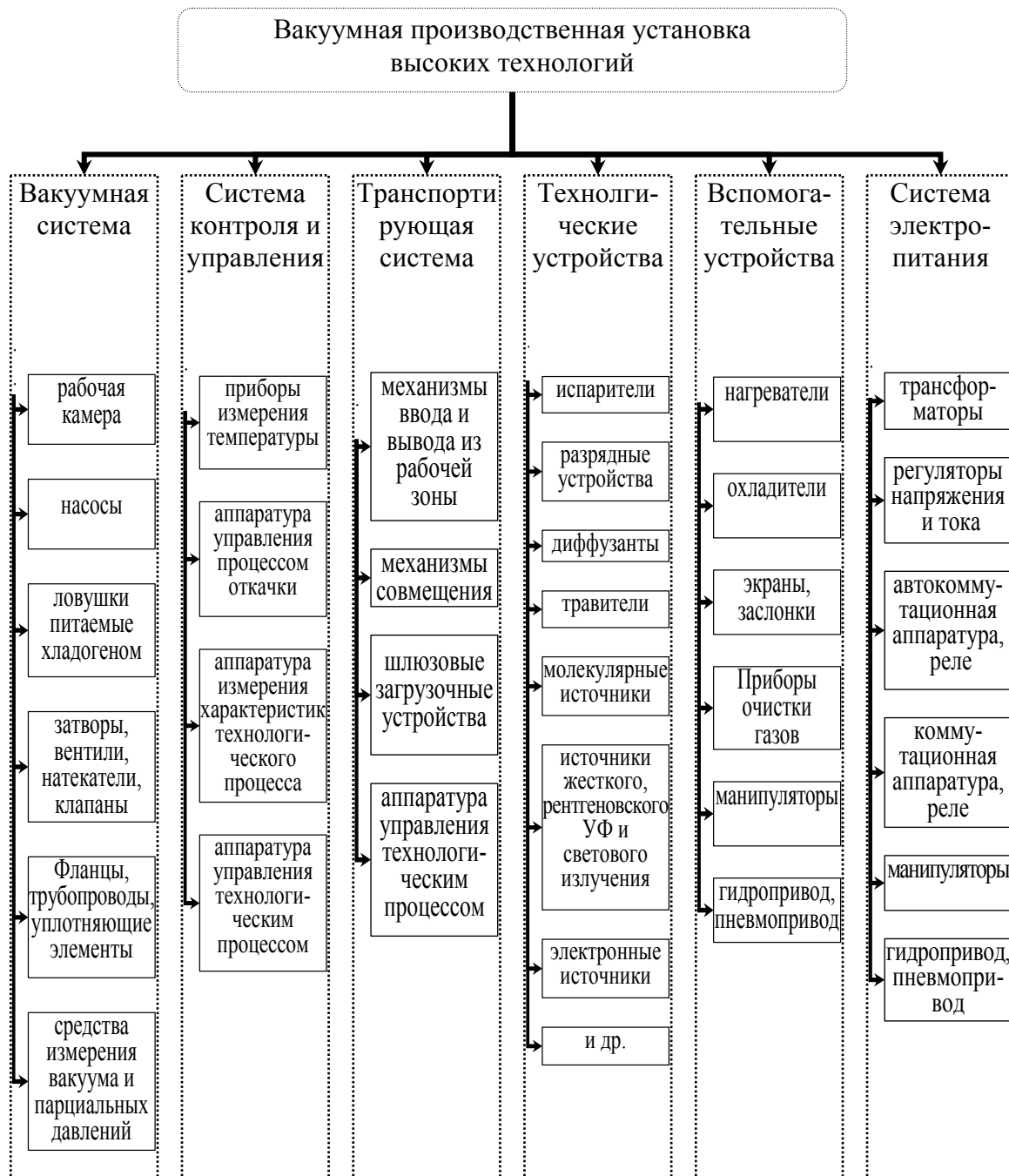
В качестве газообразных источников давления используется сжатый воздух заводских магистралей при условии стабилизации давления, а также автономные пневмоисточники, в числе которых наиболее привлекательными являются термосорбционные компрессоры, создаваемые на основе водородно-гидридной технологии.

Могут использоваться также встроенные малоинерционные обратимо действующие термосорбционные системы, использующие для стимулирования процессов «сорбция — десорбция» термоэлектрические эффекты, например эффект Пельтье.

Наряду с этим для создания чистого безмасляного вакуума разработано направление форвакуумных насосов, действующих на принципе управляемой упругой деформации.

**Идеология создания функциональных устройств и систем без узлов трения для оборудования высоких вакуумных технологий.** Современное автоматизированное оборудование высоких вакуумных технологий требует особого подхода к созданию функциональных устройств различного назначения, размещенных в объёме высоковакуумных камер.

Несмотря на общность задач, связанных с автоматизацией производственных процессов, и на фундаментальность теории автоматизации, в различных отраслях промышленности возникают



**Рис. 1. Состав вакуумной производственной установки высоких технологий**

технические трудности при решении проблем создания специального автоматизированного вакуумного оборудования, например, для процессов термического и магнетронного осаждения пленок, ионной имплантации, молекулярно-лучевой эпитаксии, электронно-лучевой, синхротронной литографии и др.

Очевидно, что дальнейшее развитие технологий производства изделий микро- и нанoeлектроники потребует в числе прочих задач ещё более высокой чистоты технологических вакуумных сред с ис-

ключением, в том числе наиболее опасного вида загрязнения — микрочастиц износа, возникающих в парах трения функциональных механизмов.

Одним из методов создания функциональных механизмов, предназначенных для работы в вакууме и воспринимающих его дестабилизирующее влияние без снижения надёжности, является использование для формирования усилий и перемещений приводов управляемой упругой деформации, особенно, когда требуется высокая точность позиционирования.

Появление нового класса механизмов обусловлено необходимостью не только снижения, но и полного исключения продуктов износа элементов механизмов.

В таблице приведены минимальные размеры топологии микросхем и соответствующие критические размеры микрочастиц загрязнений, характеризующие достижения ряда ведущих мировых фирм в 2000 и 2005 гг. [1, 2].

Известно, что при наличии в составе функциональных механизмов пар трения образовавшиеся микрочастицы износа в большинстве случаев приобретают электрический заряд, благодаря которому могут мигрировать в вакуумных объёмах и осажаться на обрабатываемых полупроводниковых пластинах, снижая коэффициент выхода годных микросхем, который по параметру «привносимой дефектности» выражается следующей зависимостью:

$$\eta_r = \exp[-DA\nu P(d_q - d_{кр})],$$

где  $D$  – доза привносимой дефектности;  $A$  – площадь кристалла;  $\nu$  – доля площади кристалла, занятая микроструктурами;  $d_q$  и  $d_{кр}$  – средний и критический размеры микрочастиц;  $P(d_q - d_{кр})$  – доля попавших на кристалл микрочастиц с размером  $d_q$ , большим  $d_{кр}$ .

Отсюда выражение для дозы привносимой дефектности имеет вид:

$$[D] = \frac{\ln(1/\eta_r)}{A\nu \exp(d_{кр}/d_q)}.$$

Если в вакуумных камерах оборудования работают механизмы, генерирующие привносимую дефектность в виде микрочастиц износа, то, очевидно, и надёжность оборудования должна оцениваться с учётом этого фактора. Если вероятность безотказной работы оборудования обозначить  $P(t)$ , то

$$P(t) = \prod_{i=1}^K P_i(t)U[\Phi(t) - \Phi_{доп}],$$

где  $K$  – количество механизмов;  $P_i(t)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го механизма в составе оборудования, размещённого в вакуумной камере;  $\Phi(t)$ ,  $\Phi_{доп}$  – текущее и допустимое значения уровня привносимой дефектности; функция  $U[\Phi(t) - \Phi_{доп}]$  при  $\Phi(t) = \Phi_{доп}$  принимает нулевое значение, и соответственно  $P(t)=0$ .

**Минимальные размеры топологии микросхем и соответствующие им критические размеры микрочастиц загрязнения, мкм**

Фирма	Разрешение (по поверхности/эффективное)		Критический размер микрочастиц	
	2000 г.	2005 г.	2000 г.	2005 г.
American Micro Instruments (AMI)	0,5/0,5	–	0,05	–
Epson	0,25/0,25	0,1	0,025	0,011
Fugitsu	0,25/0,18; 0,35/0,28; 0,5/0,45	0,060	0,022; 0,032; 0,048	0,007
Hitachi	0,18/0,15; 0,2/0,18; 0,35/0,28; 0,4/0,35	0,065	0,016; 0,019; 0,032; 0,038	0,006
LG Semicon	0,4/0,3	0,12	0,038	0,010
National Semiconductor	0,22/0,18	0,1	0,02	0,010
SGS-Thomson	0,25/0,2		0,023	
Simens	0,25/0,22; 0,35/0,25; 0,5/0,3	0,1	0,023; 0,035; 0,05	0,009
Taiwan Semiconductor Manufacturing (TSMC)	–	0,080; 0,065	–	0,010; 0,008
Texas Instrument	0,23/0,18; 0,32/0,22 0,42/0,35	0,080	0,02	0,008
® Intell	–	0,045	–	0,005

Таким образом, при превышении уровня (дозы) привносимой дефектности  $D$  по отношению к допустимому значению при достижении некоторого времени вероятность безотказной работы оборудования принимает нулевое значение и его дальнейшая эксплуатация становится бессмысленной, т. е. наибольший эффект повышения надёжности вакуумного оборудования может быть достигнут в случае полного исключения привносимой дефектности со стороны действующих функциональных механизмов, устройств и систем. Качественная зависимость  $\tau$  от уровня привносимой дефектности имеет вид:

$$U[\Phi(t) - \Phi_{\text{доп}}] = \begin{cases} 1, \Phi(t) \leq \Phi_{\text{доп}} \leftrightarrow t \leq \tau \\ 0, \Phi(t) > \Phi_{\text{доп}} \leftrightarrow t > \tau. \end{cases}$$

Общую идеологию разработки и создания вакуумных устройств и систем можно кратко представить в форме четырёх основных направлений, предложенных А.Т. Александровой [3, 4]:

всевозможное упрощение структуры и оптимизация геометрии вакуумных систем;

максимальный вынос оборудования из технологической вакуумной среды и его

экранирование, в том числе сальфонами и гибкими оболочками;

применение форвакуумных и высоковакуумных насосов без узлов трения движения и сильных магнитных полей (криогенных и модернизированных турбомолекулярных), замена трёхступенчатой системы откачки на двухступенчатую или одноступенчатую, по возможности на данном уровне развития техники;

устранение на всех исполнительных и коммутационных устройствах узлов трения движения и замена их приводами управляемой упругой деформации.

С повышением требований к чистоте технологической среды и значительно возросшей возможностью математического моделирования, связанной с лавинообразным ростом мощности вычислительных средств, первые три пункта данной идеологии фактически уже применяются ведущими зарубежными и отечественными производителями вакуумной техники. Наиболее популярна сейчас концепция «сухого» вакуума.

Так, А.Т. Александрова предложила принцип конструирования механизмов вакуумного оборудования на основе приводов управляемой упругой деформации. В частности, хорошо себя зарекомендовали упругодеформируемые пневмоприводы. Активное развитие и применение это направление получило только в последние 20–30 лет в связи с развитием промышленности.

**Приводные элементы механизмов управляемой упругой деформации.** Применение приводов на

основе управляемой упругой деформации для формирования перемещений и усилий в высоком вакууме позволяет создать герметичные механизмы различного назначения с полным исключением пар трения движения, отсутствием привносимой дефектности в виде микрочастиц износа и высоким быстродействием на уровне 0,1 – 0,2 с.

Основой приводных элементов этого типа являются тонкостенные герметичные пневматические полые пружины с различными законами изменения радиуса кривизны центральной оси и некруглой формой нормального поперечного сечения (плоскооальной, овальной, ромбической и др.).

Давление, подаваемое во внутреннюю полость приводных элементов, вызывает его деформирование, которое не должно выходить за пределы упругой области.

В зависимости от требуемого исполнительного перемещения по величине и траектории применяют три вида приводных элементов: с незамкнутым контуром, очерченным по постоянному или переменному радиусу кривизны; с замкнутым контуром, образованным герметично соединёнными между собой дугами упруго деформированных целых элементов, создающих единую полость; с прямолинейной осью гладкого и спирального типа.

Приводные элементы (с незамкнутым контуром) (рис. 2, а – е) характеризуются возможностью моделирования конфигурации центральной оси по определённому закону для получения требуемого направления траектории перемещения свободного конца и последовательно соединённых с ними элементов механизма.

В ряде случаев эта возможность очень важна. Наиболее распространённым и технологичным является приводной элемент с постоянным радиусом кривизны центральной оси (рис. 2, а). От величины радиуса и геометрических параметров сечения (рис. 2, к) зависит величина перемещения свободного конца. Эта величина, в случае необходимости, при подсоединении к его свободному концу прямолинейного элемента в виде стержня или трубки позволяет увеличить перемещение до  $\lambda_1$  (рис. 2, б).

На рис. 2, в – е показаны приводные элементы, центральная ось которых изменяется по разным законам – соответственно по архимедовой спирали, параболе, синусоиде, гиперболе исключительно с целью формирования необходимой траектории перемещения.

На рис. 2, ж приведена схема многовиткового приводного элемента, позволяющего получить угловое перемещение свободного конца при чётном количестве витков по траектории, близкой к окружности.

Угловое перемещение формируется системой приводных элементов, соединённых общим кол-

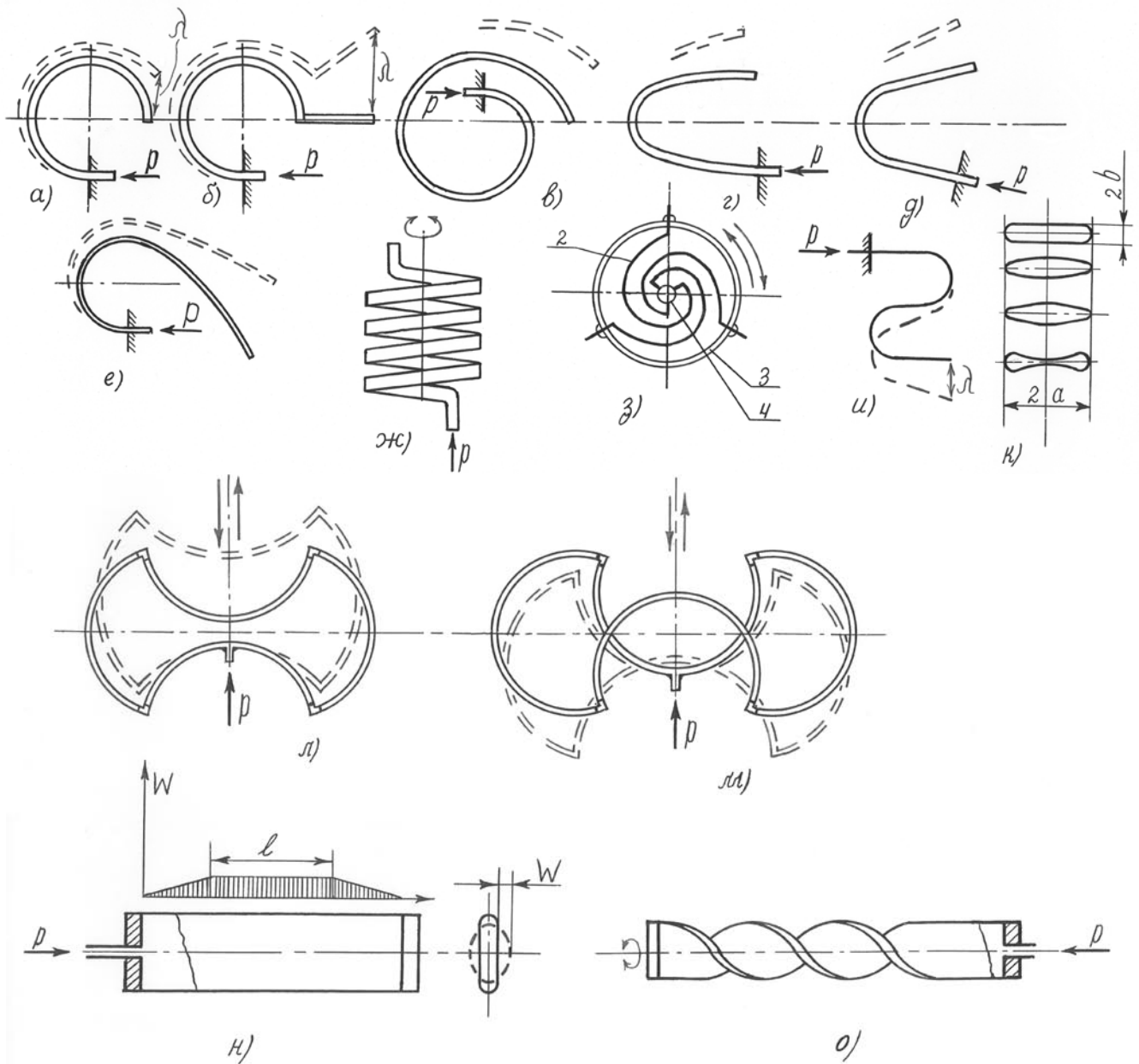


Рис. 2. Виды приводных элементов

лектором 1, через который давление подаётся одновременно в три привода 2 с идентичными параметрами, передающих движение на кольцевую обойму 3, воспринимающую только тангенциальную составляющую общего перемещения привода (рис. 2, з).

Возможно формирование с использованием приводов незамкнутого контура (типа змейки) прямолинейного перемещения (рис. 2, и).

На рис. 2, к – л приведены варианты приводов замкнутого контура, формирующие линейное перемещение, максимальная величина которого совпадает с осью симметрии, проходящей через штуцер подачи избыточного давления.

На рис. 2, м – н представлены приводы соответственно с прямолинейной осью (рис. 2, м) для формирования линейного перемещения за счёт деформации нормального поперечного сечения и спиралевидные (рис. 2, н) для формирования углового перемещения.

Развитие и совершенствование новых технологических процессов предъявляет новые, всё более жёсткие требования к оборудованию, что обеспечивает непрерывное функционирование рассматриваемого направления.

Начиная с разработки и исследования приводов управляемой упругой деформации на основе трубчатых элементов был создан комплекс исполни-



тельных устройств для работы в технологическом объёме в условиях вакуума: от коммутационных устройств до форвакуумных насосов, с образованием родственных направлений в области электронного машиностроения и вакуумной техники.

Данный комплекс работ впервые в мировой практике доведён до промышленного применения.

#### Список литературы

1. <http://www.nanonewsnet.ru/>.
2. <http://www.semiconductor.net/>.
3. Александрова А. Т. Теоретические основы расчёта и конструирования функциональных устройств и сис-

тем оборудования высоких вакуумных технологий на основе приводов управляемой упругой деформации. Учебное пособие. М.: Моск. гос. ин-т электроники и математики, 2003.

4. Вакуумная техника: Справочник. Е. С. Фролов, В. Е. Минайчев, А. Т. Александрова и др. Под общ. ред. Е. С. Фролова, В. Е. Минайчева. М.: Машиностроение, 1992.

5. Патент РФ № 2206913. Александрова А.Т., Васин В.А., Горюнов А.А. и др. Устройство позиционирования и привод вращения для него. 2003. № 17.

## ПОЛИЦИКЛОИДАЛЬНЫЕ МЕХАТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

С. О. Никифоров, Б. Е. Мархадаев

*Представлен особый класс полициклоидальных мехатронных систем повышенного быстродействия. Рассмотрена топология компоновочных структур, траекторий рабочего органа и классификация решаемых манипуляционных задач.*

В понятие «мехатроника» заложена идея неразделимого взаимообусловленного единства механических (электромеханических) и электронных функциональных компонент мехатронных систем (МС), внутри которых происходит необходимый обмен энергоинформационными потоками для реализации требуемых движений рабочих органов.

Подробное толкование термина «мехатроника» и содержания охватываемой проблематики приведено в работе [1].

Специфика МС определяется ориентированностью на различные сферы их применения, возможностями существующей элементной базы и современных технологий, программного обеспечения.

Критерии качества реализации движений рабочих органов МС определяются конкретикой решаемой задачи. Именно методы и средства их управления должны опираться на новые идеи теории управления с подобающей аппаратно-схемотехнической реализацией соответственно уровню решаемой задачи. Объёмы разработки и производства МС постоянно растут, охватывая всё новые области жизнедеятельности человека. Среди них, в частности, в работе [2], выделены:

станкостроение и оборудование для автоматизации технологических процессов;  
робототехника и нанотехнологии;

авиационная, космическая и военная техника; автомобилестроение (средства автоматической парковки и т. д.);

бытовая техника;

контрольно-измерительные устройства; тренажёры для подготовки операторов эргатических систем;

шоу-индустрия (системы звукового и светового оформления);

демонстрационные устройства (системы рекламы, демонстрационные роботы) и т. д.

Отмечается, что на основе традиционных подходов достичь качественно нового уровня технологического оборудования практически нереально. Поэтому в ближайшие годы ожидается резкий рост отношения «качество — цена» для нетрадиционных производственных машин.

В работе [2] предлагается различать МС по уровню интеграции.

*Первый уровень.* Данный уровень характеризуется объединением в мехатронных модулях только двух исходных элементов. Типичный пример подобного модуля — мотор-редуктор (управляемый двигатель и механический редуктор), используемый, например, в технологическом промышленном роботе (ПР) модели ТУР-10.

*Второй уровень.* Появление миниатюрных датчиков и электронных блоков для обработки сигналов от датчиков привело к их объединению с приводными модулями. Таким образом, появились интегрированные мехатронные модули, примером которых являются управляемые энергетические машины (турбины и генераторы, станки с ЧПУ и ПР).

*Третий уровень.* Появление недорогих микропроцессоров и контроллеров привело к интеллектуализации процессов управления функциональных движений рабочих органов МС.

В перспективе из МС будут формироваться высокопроизводительные мехатронные комплексы

с искусственным интеллектом и гибкостью производства за счёт их реконфигурации.

Сказанное выше в полной мере относится к полициклоидальным МС [3].

В предлагаемой работе формулируются принципы создания МС, приводится классификация компоновочных структур, рассматриваются способы и варианты формирования движений исполнительных механизмов МС, раскрываются их потенциальные возможности.

Во многих отраслях промышленности велика потребность в максимально простых по конструкции, относительно дешёвых ПР с цикловым программным управлением, предназначенных для самостоятельного выполнения единообразных, достаточно простых технологических операций или для быстрого обслуживания быстродействующего технологического оборудования. Качество таких роботов определяется способностью работы на высокой скорости с тем, чтобы максимально использовать технологические возможности обслуживаемого оборудования.

При традиционном принципе построения ПР с цикловым программным управлением модули всех степеней подвижности имеют собственные приводы с самостоятельными двигателями и передачами. При выполнении программных движений на каждом этапе двигатели включаются и разгоняют подвижные части механизмов, затем приводы тормозятся перед заданными точками позиционирования, а для выхода в последующие точки те же движения повторяются. В этих случаях представляет серьёзные трудности уменьшение времени выполнения даже самых простых циклов до значений

меньших 3–4 с или повышение средних скоростей выше 1,5 м/с.

Однако возможны и другие технические решения повышения быстродействия манипуляторов ПР с цикловым программным управлением, основанные на построении механизмов, в которых ведущие звенья, приводимые в движение роторами электродвигателей, вращаются в одну и ту же сторону равномерно. Выходные звенья механизмов передачи задают рабочему органу движения по траекториям, удовлетворяющим поставленным ограничениям, с мгновенными остановками в заданных точках позиционирования. Такие плоские механизмы называют полициклоидальными, так как для простейшей двухзвенной шарнирно-рычажной схемы воспроизводимые траектории относятся к классу циклоид (представляют собой эпициклоиды и гипоциклоиды).

**Топология компоновочных структур и их классификация.** Кинематические цепи полициклоидальных МС могут быть выполнены в виде планетарно-зубчатых механизмов (ПЗМ), зубчато-рычажных механизмов (ЗРМ), шарнирно-рычажных механизмов (ШРМ), механизмов с цепными и тросовыми передачами (ТТМ) [3].

Подобные устройства могут быть многозвенными, иметь одно приводное устройство (в ПЗМ-, ЗРМ- или ТТМ-компоновках перенастройки траекторий рабочего органа ограничены, иногда невозможны) или иметь свой привод для каждой степени подвижности (в ШРМ-компоновке работа каждого привода синхронизируется системой управления и легко осуществляется перенастройка траекторий). Возможные виды компоновочных структур представлены на рис.1.

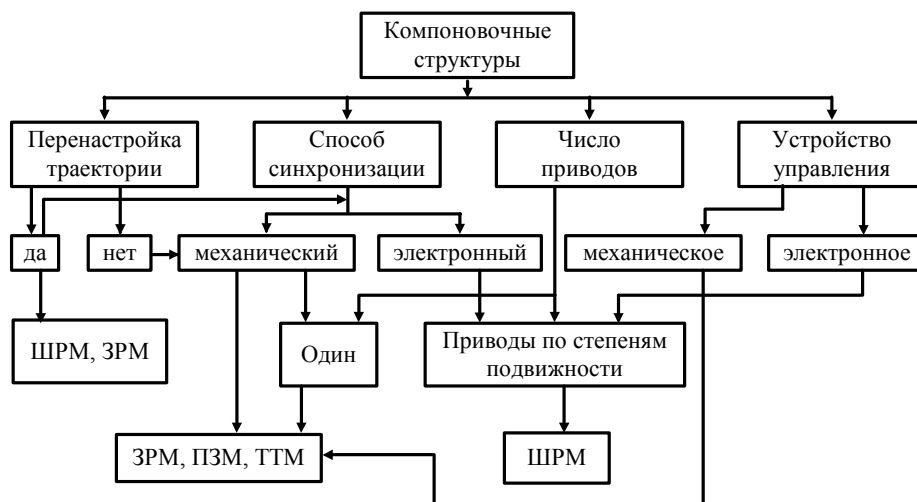


Рис. 1. Разновидности компоновочных структур

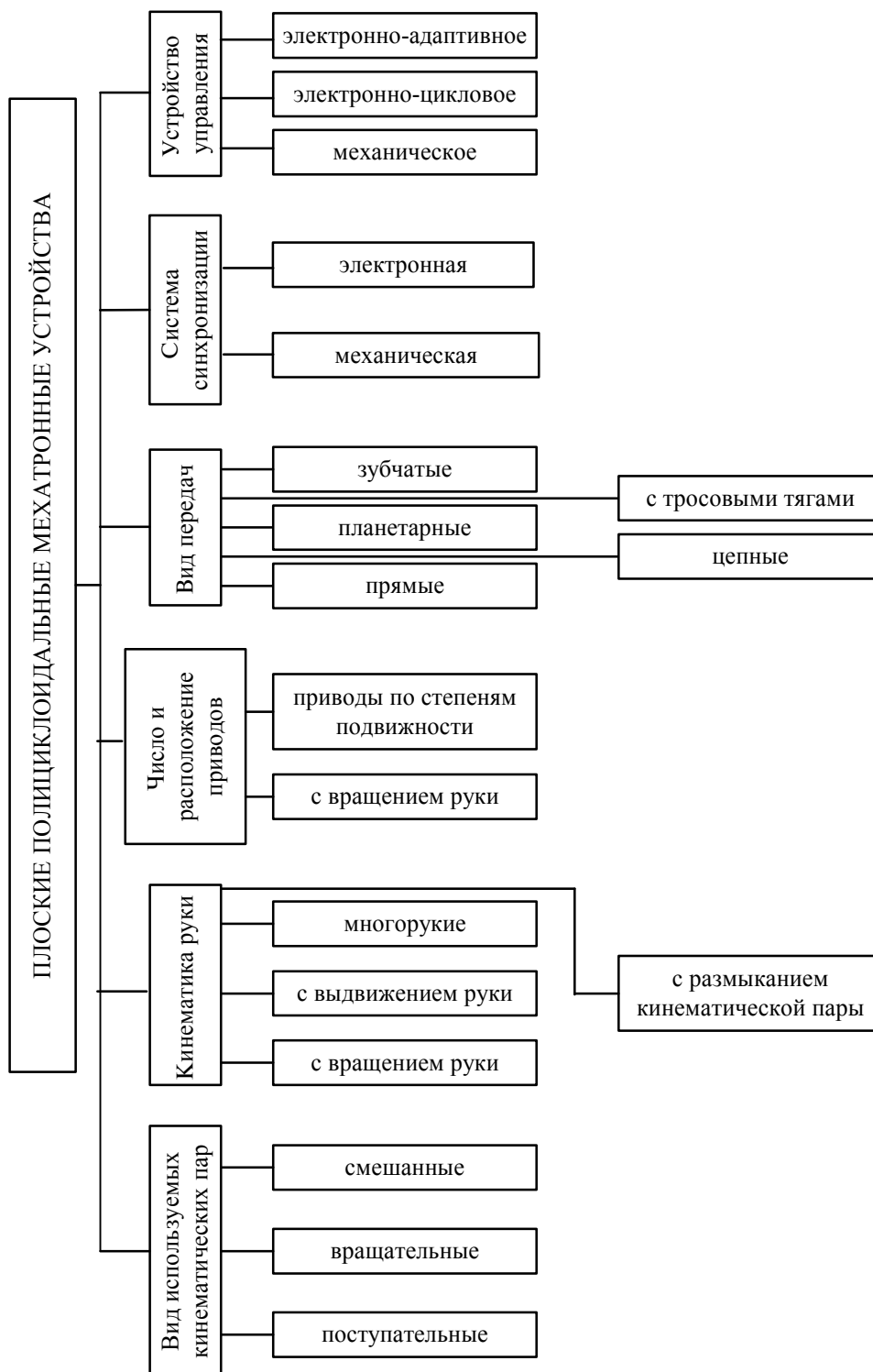


Рис. 2. Классификационная схема компоновочных структур мехатронных систем

Рассматриваемые МС не являются классическими циклическими механизмами. Лишь в самых простых вариантах они представляют собой механизмы с одной степенью подвижности и одним нерегулируемым приводом (с ПЗМ-компоновкой). МС должны сохранять обязательные и типовые для ПР свойства переналаживаемости, программируемости и адаптивности, что требует усложнения структур механизмов, использования нескольких приводов и самостоятельных систем автоматического управления.

Разработана многоуровневая иерархическая классификационная схема рассматриваемых компоновочных структур МС (рис. 2) [4].

Наименования признаков вписаны в вертикальные ряды, а конкретные варианты признаков – в горизонтальные прямоугольные рамки. Классификация выполнена по нескольким независимым признакам, поэтому является фасетной.

Так как подобные МС не имеют реверса приводных двигателей, т.е. нет чередования этапов разгона и торможения, то решаются проблемы быстрогодействия и уменьшения установочной мощности приводных двигателей [5].

Таким образом, в основу рассматриваемых МС заложены идея получения требуемой траектории и закон движения рабочего органа за счёт геометрии движения звеньев МС чисто кинематическими средствами (выбором соответствующей кинематической схемы). Привод МС осуществляется от постоянно вращающегося двигателя при повышенном быстродействии. Также отметим, что требуемые траектории можно формировать не наложением геометрических или кинематических связей, а динамически импульсным воздействием приводов в соответствии с решениями уравнений динамики исполнительного механизма [6, 7].

**Топология траекторий рабочего органа МС.** Особенности топологии траекторий рабочего органа полициклоидальных МС можно показать на примере кинематической схемы  $n$ -звенного МС в ШРМ-компоновке (рис. 3).

Траектории воспроизводящей точки  $P$  запишем в виде

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n l_i \cos \beta_i \\ \sum_{i=1}^n l_i \sin \beta_i \end{bmatrix}, \quad \beta_i = \sum_{k=1}^i \varphi_k, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где  $l_i$  – длина  $i$ -го звена;  $\varphi_i$  – угол, характеризующий положение  $i$ -го звена относительно  $(i-1)$ -го звена;  $\varphi_1$  – угол между первым звеном и осью абсцисс, неподвижной системой координат, связанной с осью первого шарнира.

Это будут так называемые полициклоидальные кривые [3, 4]. Введём обозначения:

$$N_i = \frac{\varphi_{i+1}}{\varphi_i} = \frac{p_i}{q_i}, \quad \text{где } \frac{p_i}{q_i} \text{ – несократимая дробь;}$$

$$\varepsilon_i = \frac{l_{i+1}}{l_i}, \quad \mu_i = \varepsilon_i |N_i + 1|, \quad i = 1, 2, \dots, n-1;$$

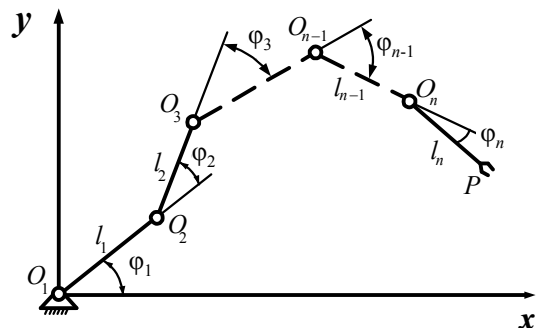
$$K = \prod_{i=1}^{n-1} q_i; \quad R = \prod_{i=1}^{n-1} p_i.$$

Если все  $N_i$  – рациональные числа и ни одно из них не принадлежит отрезку  $[-1, 0]$ , то траектория замыкается при совершении первым отстойки звеном  $K$  оборотов. Если какое-либо число  $N_j \in [-1, 0]$ , то конец  $(j+1)$ -го звена по отношению к входному шарниру  $j$ -го звена описывает эпициклоиду, идентичную эпициклоиде с параметром

$$\tilde{N}_j = \frac{N_j}{N_{j+1}} = \frac{p_j}{p_{j+1}} = \frac{p_j}{\tilde{q}_j},$$

где  $\tilde{q}_j = -(p_j + 1)$  и  $\tilde{N}_j > 1, j = 1, 2, \dots, n-1$ .

В этом случае кривая замкнётся при совершении первым звеном  $\tilde{K}$  оборотов, где  $\tilde{K} = \prod_{i=1}^{n-1} \tilde{q}_i$  (осуществляется инверсия длин звеньев).



**Рис. 3. Кинематическая схема  $n$ -звенного шарнирно-рычажного полициклоидального механизма:**

$l_i, \varphi_i$  – соответственно, длина звеньев и межзвенные углы, определяющие конфигурацию МС

Количество осей симметрии полициклоиды определяет величина  $|p_1|$  (рис.4, а–з).

Величины  $|p_2|, \dots, |p_{n-1}|$  влияют на количество петель полициклоиды: чем больше значение  $|p_i|$ , тем больше формируется петель по периметру основной циклоидальной кривой (рис.4, д–з).

Характер полициклоиды зависит от величины  $\mu_i$ : при  $\mu_i < 1$  образуются «волны», а при  $\mu_i > 1$  – «петли» (рис. 5).

Параметрами  $K$  и  $R$  определяется сложность траекторий: при малых значениях  $K$  и  $R$  кривые просты и лаконичны (рис. 6, а – в), а при больших значениях – напоминают сложные узоры в виде розетки или плетенки (рис.6, г – е).

Изменение параметров  $N_i$  и  $\varepsilon_i$  даёт бесконечное число вариаций полициклоид. Их можно объединить в базу данных, которая станет источником генерирования различных рабочих траекторий.

Таким образом, пользователь получает новый компьютерный инструментарий, где эффективно реализуется эвристический подход при синтезе подобных устройств. Для его применения необходимо выработать классификационные признаки базы данных полициклоид, в качестве которых предлагается использовать число осей симметрии, наличие (отсутствие) петель, плотность и характер заполнения узора, индекс сложности формируемой траектории.

**Манипуляционные задачи полициклоидальных МС.** Основная идея использования циклоидальных механизмов в манипуляторах заключается в том, чтобы задавать требуемую траекторию и закон движения по траектории чисто кинематическими средствами выбором кинематической схемы. Привод следует осуществлять от постоянно

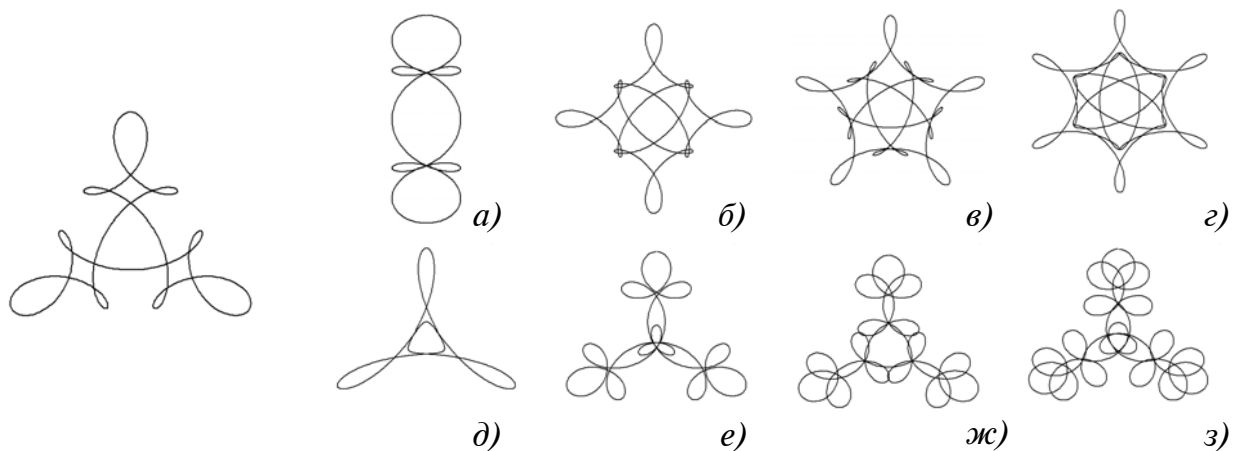
вращающегося двигателя. Могут быть предложены и рассмотрены различные кинематические схемы, воспроизводящие траектории, сходные по конфигурации. Из них предпочтение следует отдавать схемам, содержащим только вращательные кинематические пары. Достоинства таких схем приведены в работах [1, 4].

Принципиальным является то обстоятельство, что в точках возврата происходит не выстой на заданное время, а мгновенная остановка (скорость равна нулю).

С учётом особенностей можно классифицировать все возможные варианты реализации компоновочных структур полициклоидальных МС с точки зрения решения манипуляционных задач.

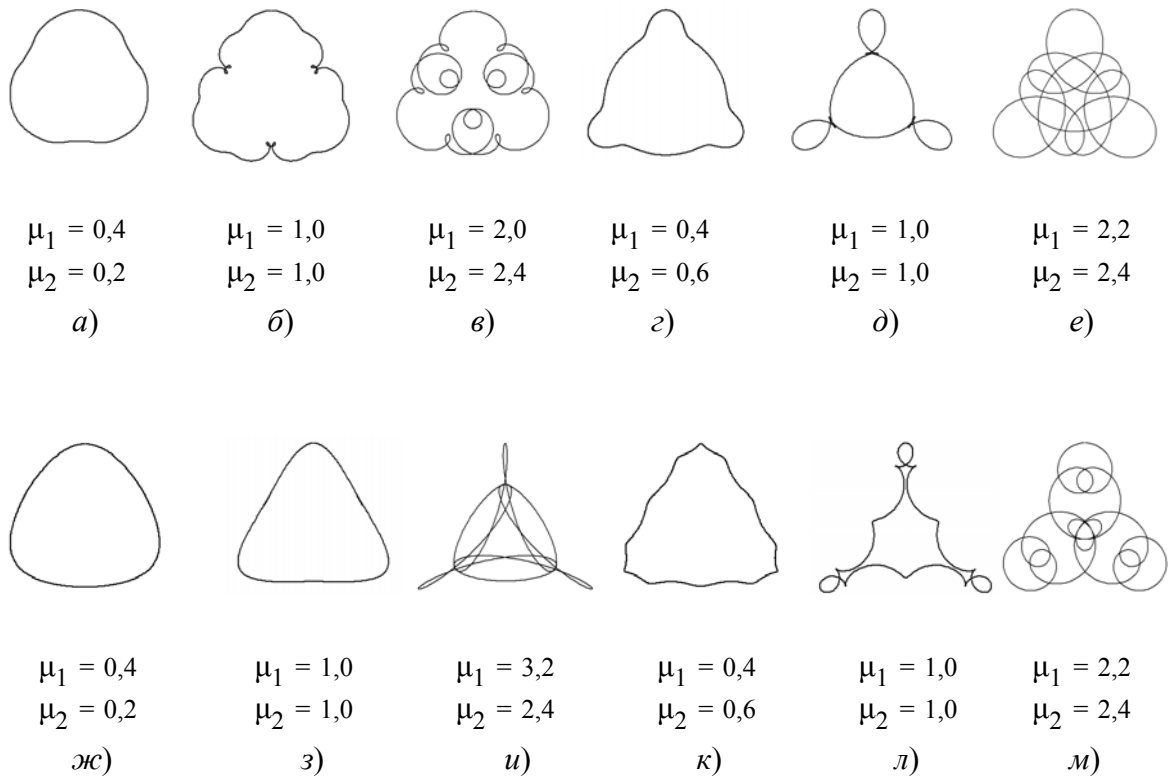
В зависимости от режимов применения решаемые манипуляционные задачи можно разделить на четыре группы: терминальные, контурные, слежения, специальные (рис. 7).

Принципиальной особенностью циклоидальных манипуляторов является мгновенная остановка рабочего органа в положении выстоя, но иногда необходима его остановка на конечное время. При неизменном условии, что двигатель привода работает непрерывно, с постоянной скоростью, единственная возможность получения остановки на конечное время – размыкание кинематической цепи. В общем случае замыкание-размыкание должно происходить во время движения. При разъединении отключенную часть механизма нужно остановить в заданном положении с достаточно высокой точностью. При этом в момент разъединения могут действовать значительные силы и моменты, обусловленные взаимодействием разъединяемых частей.



**Рис. 4.** Влияние параметров  $p_1$  и  $p_2$  на количество осей симметрии и петель полициклоиды с параметрами  $N_1 = -3, N_2 = -3, \varepsilon_1 = -1, \varepsilon_2 = 0,5$ :

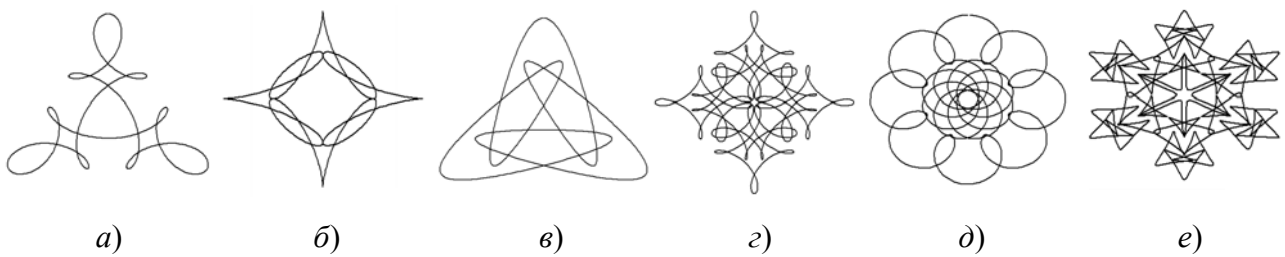
а –  $p_1 = -2$ ; б –  $p_1 = -4$ ; в –  $p_1 = -5$ ; г –  $p_1 = -6$ ; д –  $p_2 = -2$ ; е –  $p_2 = -4$ ; ж –  $p_2 = -5$ ; з –  $p_2 = -6$



**Рис.5. Влияние величин  $\mu_1$  и  $\mu_2$  на форму полициклоиды:**

(a–в) –  $N_1=3; N_2=3$ ; (г–е) –  $N_1= -3; N_2= -3$ ;

(ж–и) –  $N_1= 3; N_2= -3$ ; (к–м) –  $N_1= -3; N_2= 3$



**Рис. 6. Полициклоиды с параметром  $K = 1$  и различными  $R$ :**

a –  $R = 9(N_1=-3, N_2=-3, \epsilon_1 = -1, \epsilon_2 = 0,5)$ ;

б –  $R = 12(N_1=4, N_2=-3, \epsilon_1 = 0,5, \epsilon_2 = 1)$ ;

в –  $R = 9(N_1=3, N_2=-3, \epsilon_1 = 1,5, \epsilon_2 = 0,5)$ ;

г –  $R = 36(N_1=-4, N_2=-3, N_3=-3, \epsilon_1 = \epsilon_3 = 0,5, \epsilon_2 = 1,5)$ ;

д –  $R = 16(N_1=8, N_2=2, N_3=2, \epsilon_1 = 0,7, \epsilon_2 = 0,5, \epsilon_3 = 0,5)$ ;

е –  $R = 48(N_1=-6, N_2=6, N_3=-3, \epsilon_i = 0,5)$

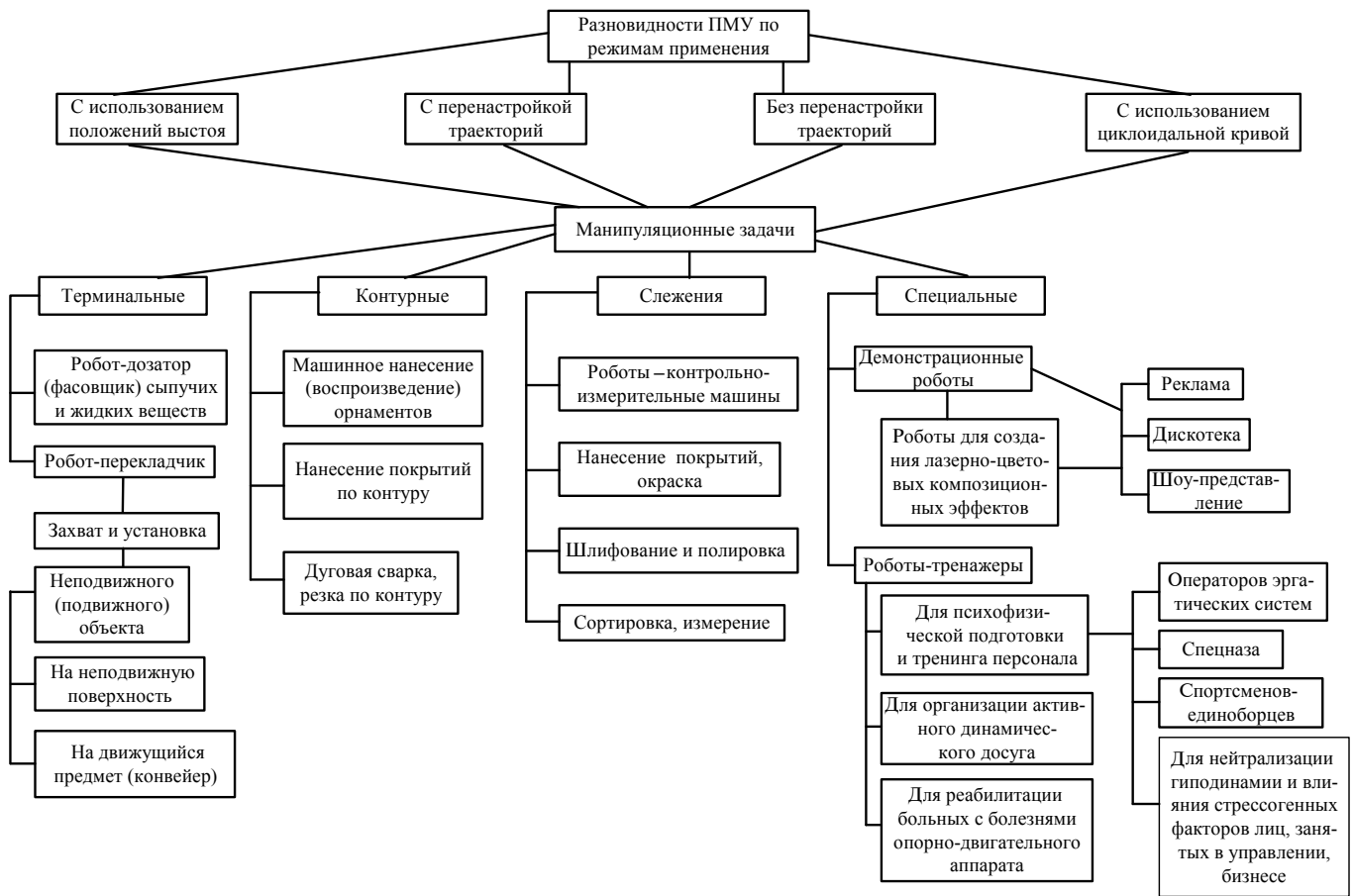


Рис. 7. Манипуляционные задачи для различных полициклоидальных механических устройств



Рис. 8. Характеристики взаимодействия исполнительного механизма с обслуживаемым оборудованием

Наоборот, замыкание звеньев в общем случае происходит с ударом, импульс которого должен погашаться специальным устройством. В работах [6, 7] показано преимущество замыкания и размыкания кинематической цепи в точках, в которых относительные скорости соединяемых и разъединяемых звеньев равны нулю. В этих случаях соединение и разъединение звеньев осуществляется безударно.

Переменность компоновочных структур практически используется во многих случаях [4, 8]. В качестве примера показано влияние на исполнительный механизм МС переменности нагрузок со стороны объекта манипулирования, а также характер технологических усилий (рис. 8).

**Выводы.** Основные признаки, присущие полициклоидальным МС, позволяют отнести их к особой разновидности МС, главной из которых является повышенное быстродействие, обусловленное отсутствием реверса приводных двигателей.

Топология компоновочных структур допускает реализацию МС в виде планетарно-зубчатых, зубчато-рычажных, шарнирно-рычажных механизмов, а также в виде механизмов с тросовыми тягами. Причём при отсутствии требований к перенастройке достаточно одного приводного устройства.

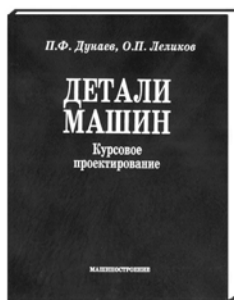
Разработана иерархическая классификационная схема компоновочных структур и выявлены особенности топологии траекторий рабочего органа МС.

### Список литературы

1. Дьяченко В. А., Колпашников С. Н., Никифоров С. О., Челпанов И. Б. Проблематика преподавания мехатроники в технических вузах. *Мехатроника*. 2003. № 9.
2. Подураев Ю. В., Кулешов В. С. Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем. *Мехатроника*. 2000. № 1.
3. Никифоров С. О. Циклоидальные манипуляторы: новые схемы, механика, управление, применение. *Вестник машиностроения*. 2002. № 9.
4. Никифоров С. О., Мархадаев Б. Е. Роботокомплексы переменной структуры. *Автоматизация и современные технологии*. 2006. № 11.
5. Никифоров С. О., Павлов А. Н. Требования к перемещению объектов манипулирования и способы реализации устройств для их перемещений. *Вестник машиностроения*. 2006. № 3.
6. Мархадаев Б. Е., Никифоров С. О. Манипуляторы с импульсным заданием движения. *Вестник машиностроения*. 2004. № 12.
7. Мархадаев Б. Е., Никифоров С. О., Сосоров Е. В. Импульсные движения манипуляторов с типовыми кинематическими схемами. *Вестник машиностроения*. 2005. № 6.
8. Никифоров С. О., Челпанов И. Б., Мархадаев Б. Е. Использование переменности структур в применении к манипуляционным роботам. *Вестник машиностроения*. 2007. № 1.



## ИЗДАТЕЛЬСТВО “МАШИНОСТРОЕНИЕ” представляет



**Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Детали машин. Курсовое проектирование:** учеб. пособие для машиностроит. спец. учреждений среднего профессионального образования: 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2007. – 560 с.: ил. ISBN 5-217-03253-7. Цена 363 р. (с НДС)

Изложена методика расчета и конструирования узлов и деталей машин общепромышленного применения. Приведены методические указания по выполнению чертежей типовых деталей машин, правила оформления учебной конструкторской документации.

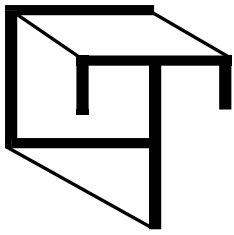
В пятом издании (4-е изд. 2003 г.) приведены изменения, внесенные в ГОСТ 2.309–73 на обозначения шероховатостей поверхностей и правил их нанесения на чертеж, а также выдержки из вновь вводимых стандартов на общие допуски размеров (ГОСТ 30893.1–2002) и общие допуски формы и расположения поверхностей (ГОСТ 30893.2–2002).

Для студентов машиностроительных специальностей учреждений среднего профессионального образования всех форм обучения, полезно студентам высших учебных заведений.

Заявки на книгу направляйте в отдел реализации по факсу: (495) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru; по почте: 107076, Москва, Стромьинский пер., 4, ОАО “Издательство “Машиностроение”.

Справки о наличии книг, выписке счетов и отправке изданий по телефонам: (495) 269-66-00, 269-52-98.





## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СРЕД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ

**А. Н. Ветров**

*Проводится анализ особенностей распределённой информационной среды образовательных центров региона и области как интегральной совокупности организационного, аппаратного, программного, технического и методического обеспечения ориентированного на реализацию автоматизированного обучения на расстоянии посредством достижений в области новых информационных и коммутационных технологий.*

#### **Введение и постановка научной проблемы.**

Глобализация информационной среды оказывает существенное влияние на создание, распределение и использование информационных ресурсов, продуктов и услуг между разными категориями потребителей [1], при этом наблюдается интенсификация развития и появление новых информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), обеспечивающих объединение региональных образовательных центров и учреждений, а также создание международных информационно-образовательных сред (ИОС).

Использование современных достижений в области информационных технологий (ИТ) позволяет обеспечить открытый разграниченный доступ разных категорий пользователей к территориально распределённым информационным ресурсам, продуктам и услугам, а также к хранилищам, содержащим информацию по предметным областям (их носителями являются web-серверы).

Информатизация образовательных центров, расположенных в одном или нескольких регионах и областях, является актуальной научной проблемой и достигается созданием, внедрением и практическим использованием средств автоматизации, существенно повышающих эффективность функционирования ИОС, что инициирует рассмотрение широкого спектра частных научных задач и прикладных вопросов, относящихся к особенностям обработки информации разного рода (рис. 1). Приобретает ак-

туальность когнитивная информатика, изучающая процесс информационного обмена между субъектами и средствами обучения и представления данных.

**Организация информационных сред автоматизированного обучения на расстоянии.** Топология организации ИОС автоматизированного (дистанционного) обучения (АДО) в определённом регионе или области объединяет ряд образовательных учреждений, их региональные и виртуальные представительства, которые предоставляют комплекс образовательных услуг дифференцированному контингенту потребителей (рис. 2).

Особенности организационной структуры (рис. 3) и ИОС образовательного учреждения зависят от его уровня в системе образования, профиля и специализации, набора образовательных услуг, оказываемых контингенту обучаемых, что предполагает наличие подразделений и отделов, выполняющих набор разных функций, автоматизация которых позволяет оптимизировать и существенно сократить транзакционные и временные издержки, неизбежно возникающие при выполнении операций персоналом.

**Современное состояние информационного рынка в сфере образования.** Современное состояние ИКТ инициирует появление дополнительных требований к организационному, техническому и программному обеспечению, используемому в сфере образования [2], содержанию учебных курсов и средствам автоматизации процессов, сопутствующих деятельности образовательных учреждений разного уровня.

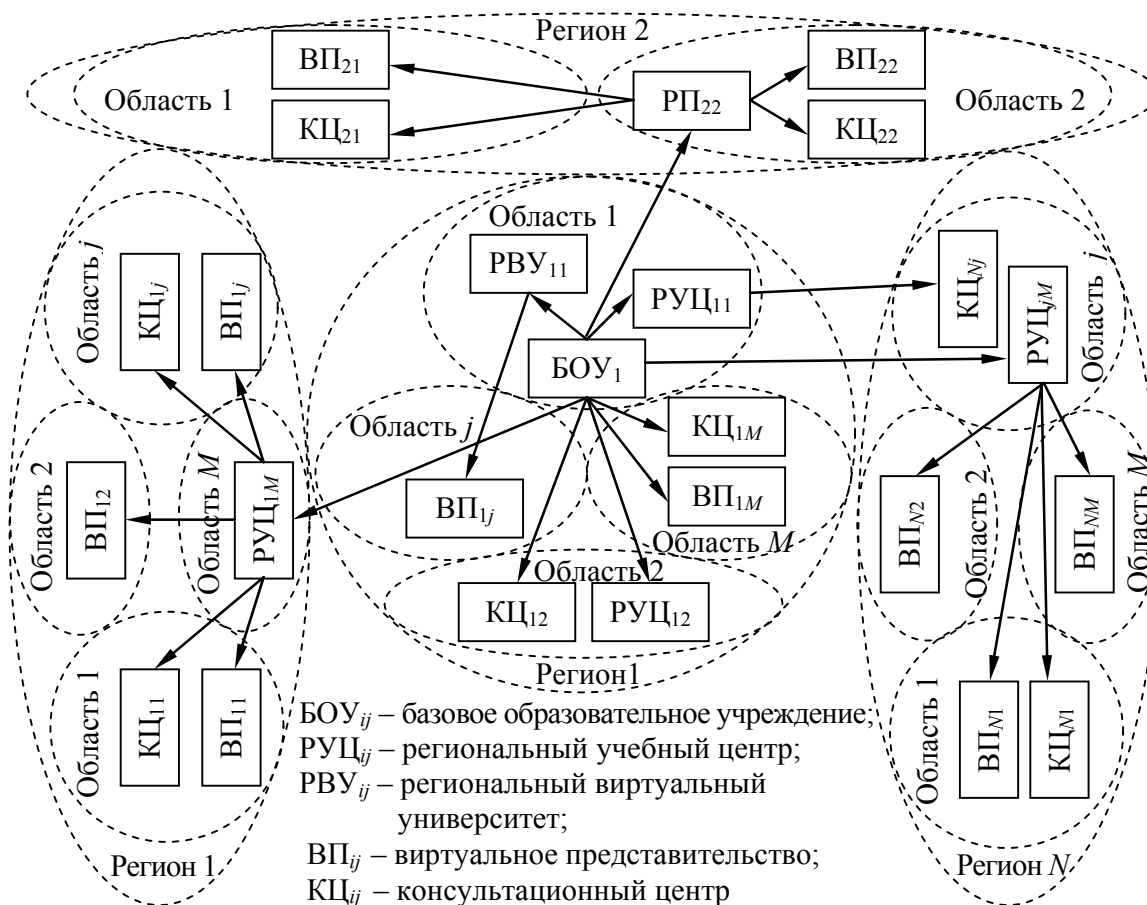
Подготовка и повышение квалификации обслуживающего персонала, в частности кураторов занятий, проводимых в учебных группах и компьютерных классах, требует развития навыков владения ЭВМ, а также формирование этических норм, необходимых для нормальной работы в локальных и глобальных вычислительных сетях адекватно уровню информационной культуры общества в развитых странах [3, 4].

Интенсификация роста совокупного агрегата накопленных знаний по различным предметным областям (естественные и гуманитарные науки) обусловлена увеличением количества разнородных источников информации и потребностями потребителей. Обучаемого требуется подготовить к быстрому овладению навыками практического использования современных средств автоматизации обработки данных для изучения больших объёмов информации адекватно его индивидуальным особенностям восприятия (физиология), обработки (психология) и понимания (лингвистика) содержания предмета.

Данная проблематика накладывает определённые ограничения на организацию и технологию



Рис. 1. Аспекты и направления информатизации информационно-образовательных сред



**Рис. 2. Топология организации распределённой информационно-образовательной среды автоматизированного (дистанционного) обучения**

процесса обучения в аудитории, оборудованной средствами ИТ [4, 5]. Обучение рассматривается специалистами [6–8] как технологический процесс управляемого формирования знаний контингента обучаемых, реализуется в автоматизированной ИОС посредством использования средств автоматизации, которые выполняют определенные функции при работе пользователей разных категорий:

электронный учебник (отображает содержание предмета изучения);

диагностический модуль (реализует тестирование уровня остаточных знаний по предметам изучения и индивидуальных особенностей личности из контингента обучаемых);

лабораторный практикум (обеспечивает изучение объектов, процессов и явлений на макро- и микроуровне, которые протекают в замкнутых и открытых системах);

задачник (позволяет изучить подходы к решению типовых задач);

тренажёр (обеспечивает выработку практических навыков и повышение уровня опыта и мас-

терства при выполнении субъектом типовой последовательности операций);

электронная библиотека (содержит информационные ресурсы, документы и массивы, позволяющие получать и углублять теоретические знания);

кумулятивный пакет (содержит набор методических материалов и информации по их использованию, которые позволяют изучить часть предмета изучения).

**Инфраструктура распределённой информационно-образовательной среды.** Внедрение средств автоматизации в инфраструктуру образовательных учреждений на разных уровнях системы образования, в частности вузов, обеспечивает повышение эффективности функционирования ИОС, созданных на основе традиционных ИТ, а также даёт возможность внедрения и практического использования инновационных методов, моделей и технологий для реализации обучения на расстоянии (рис. 4).

Автоматизированные рабочие места (АРМ) позволяют различным категориям пользователей получить открытый доступ к имеющимся информационным ресурсам базового учебного заведе-

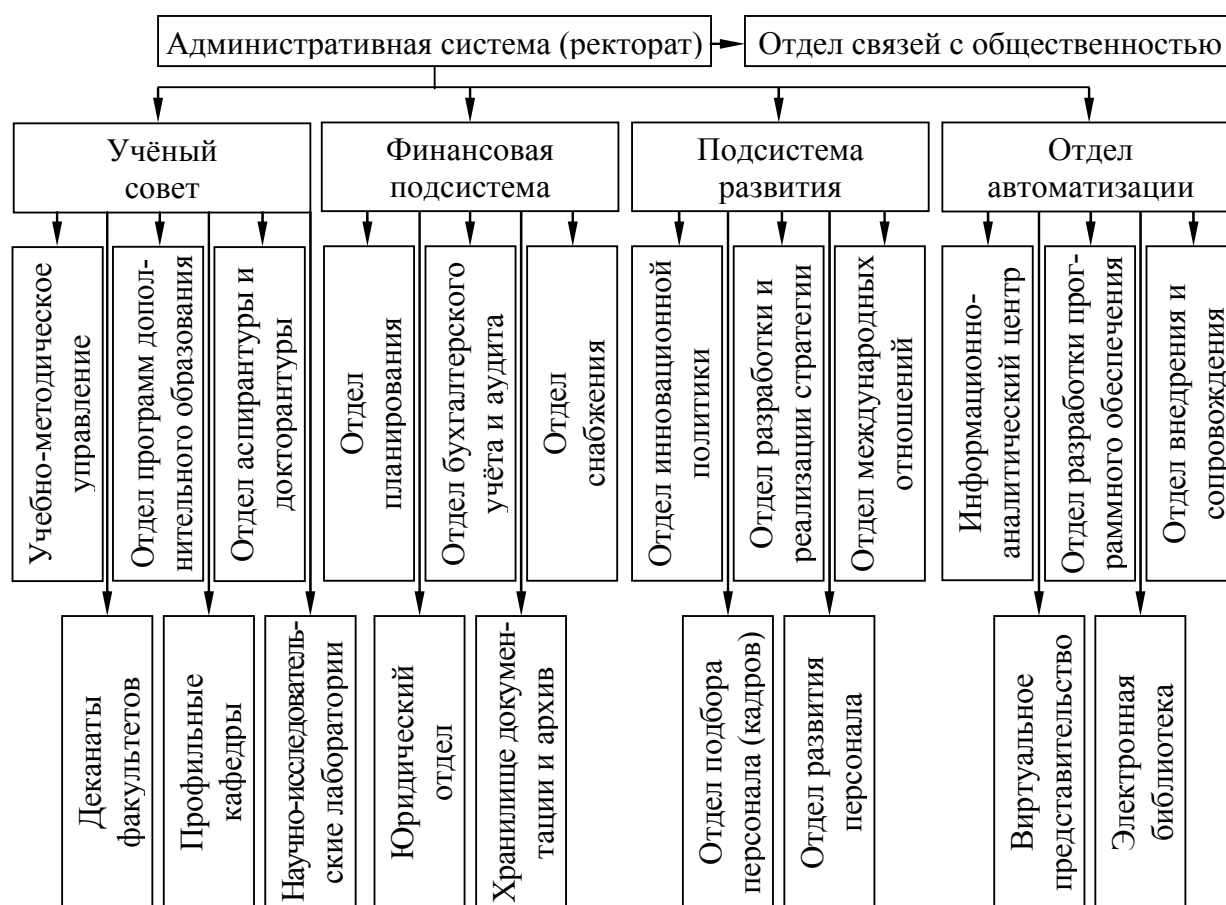


Рис. 3. Организационная структура образовательного учреждения

ния, его регионального и виртуального представительства в сети Интернет.

**Особенности информационной среды автоматизированного обучения.** ИОС АДО имеет ряд отличительных особенностей (рис. 5), которые представляют собой достоинства и недостатки, выделяемые экспертами в области качества и разными категориями потребителей услуг, предоставляемых образовательным учреждением:

процесс формирования знаний достигается посредством набора обучающих воздействий (автоматизированное средство обучения оперирует на основе алгоритма и генерирует информационные фрагменты, которые отражают содержание предмета);

информационное взаимодействие субъектов реализуется посредством средств ИОС (коммуникативная ограниченность дуплексного информационного взаимодействия между субъектами и средствами частично устраняется на основе достижений ИКТ);

необходимость технического и сервисного обслуживания системы АДО (конфигурирование и

поддержка в эксплуатационном режиме имеющегося аппаратного и ПО);

существенно неоднородный контингент субъектов (субъекты дифференцированы по возрасту, полу, профессии, предпочтительному времени, выделенному для обучения посредством использования различных компонентов системы обучения на расстоянии);

существенно неоднородный состав аппаратного и ПО (возникает необходимость дополнительного обучения приёмам и навыкам использования средств ИОС АДО).

Использование распределенного банка данных является оправданным в случае разветвленной структуры ИОС, включающей несколько территориально распределённых образовательных учреждений и их представительств, каждое из которых специализируется на определённом наборе образовательных программ и услуг, а также обеспечивает поддержку нескольких информационных ресурсов, предназначенных для функционирования системы автоматизированного обучения на расстоянии.

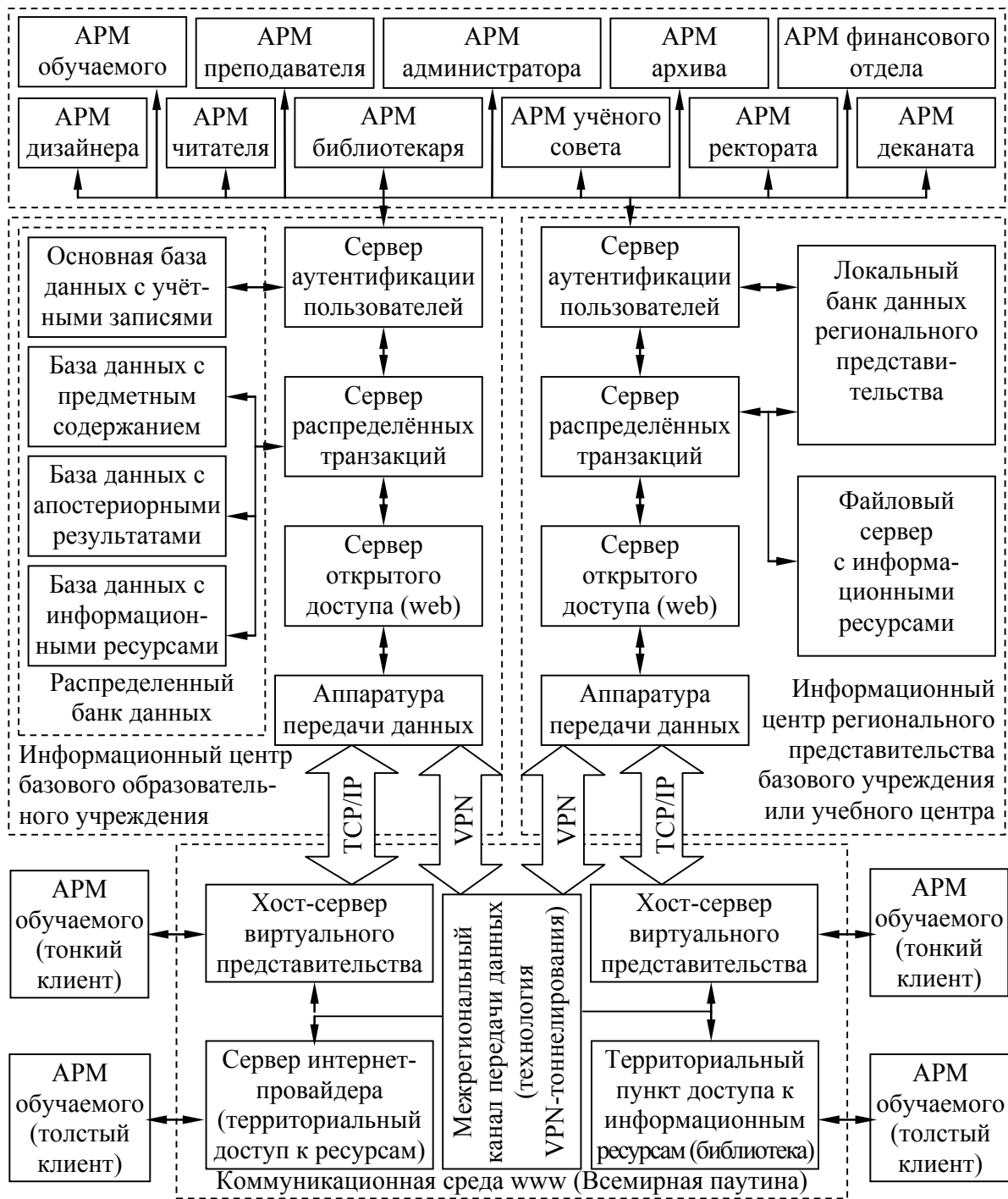


Рис. 4. Структура информационной среды образовательного учреждения

**Программное обеспечение в основе систем автоматизированного обучения.** ИОС образовательного учреждения (независимо от типа) предполагает использование стандартного и специализированного ПО различного рода и назначения [5, 7, 8]: *средства обучения* – аппаратное и ПО, устанавливаемое на разных АРМ и обеспечивающее выполнение всех задач и функций пользователей в

ходе процесса обучения (электронный учебник, диагностический модуль, лабораторный практикум, задачник); *средства поддержки подразделений образовательного учреждения* – ПО, реализующее автоматизацию выполнения специфических операций сотрудников ректората, учёного совета, кафедры, лабораторий, а также обеспечивающее документооборот;



Рис. 5. Особенности информационно-образовательной среды автоматизированного обучения на расстоянии

*инструментальные средства* – ПО, обеспечивающее эксплуатационное, сервисное и техническое обслуживание АРМ пользователей, а также локальных и сетевых средств обучения, входящих в систему автоматизированного обучения, и используются персоналом, не имеющим специальной подготовки в области ИКТ и программирования;

*электронная библиотека* – подразделение образовательного центра, обеспечивающее возможность подключения к информационным ресурсам локальных, региональных и глобальных вычислительных сетей, а также к каталогам электронных библиотек посредством каналов передачи данных (спутниковых, оптоволоконных, кабельных и прочих);

*средства администрирования компонентов* – ПО, реализующее конфигурирование компонентов ИОС, а также аппаратного и ПО, находящегося в основе системы АДО;

*средства мониторинга и управления процессом обучения* – ПО, а также средства индивидуально-

го контроля уровня остаточных знаний, которые были получены и усвоены контингентом обучаемых при работе с различными компонентами системы АДО;

*средства работы в телекоммуникационной среде Ethernet (Интернет)* – предоставление доступа к информационным ресурсам базового вуза, а также его региональных и виртуальных представительств, расположенным в разных географических регионах.

ИОС образовательного центра предполагает использование традиционного ПО (системного, прикладного, специализированного), которое обеспечивает поддержку периода исполнения ПО, используемого пользователями на разных этапах цикла АДО.

Системное ПО (рис. 6) представляет собой операционные системы (ОС) разного уровня и назначения, включающие набор программных компонентов установленных на ЭВМ, которые находятся на АРМ различных категорий пользователей:

*выгружаемая и невыгружаемая части ядра* – основные и расширенные программные модули, обеспечивающие обработку событий инициированных ПО и пользователем при его взаимодействии с элементами интерфейса ОС посредством манипулятора;

*локальные и сетевые службы* – программные компоненты, обеспечивающие выполнение разных функций и задач пользователя под управлением ОС: обновление компонентов ОС и ПО, формирование очереди и вывод информации на печать, установка и удаление ПО, установка драйверов аппаратного обеспечения; обработка непрерывно поступающих распределенных транзакций, динамическое распределение сетевых адресов; установка спецификаторов доступа к ресурсам файлового сервера, модификация локальной и сетевой политики безопасности, множественный сетевой вход в систему, быстрое переключение пользователей, удаленный помощник, теневое копирование тома, обслуживание локальных и сетевых логических дисков реализованных посредством накопителей на гибких, жестких, оптических и электронных дисках, мониторинг производительности и активности пользователей в сети посредством кабельной, оптоволоконной, спутниковой и беспроводной технологии, www-сервер; диспетчер подключений удаленного доступа; защищенное хранилище; телефония; резервное копирование тома; сетевой экран, мастер сетевых подключений;

*ПО для обеспечения конфигурирования программного окружения ОС*, а также разные утилиты и ПО для диагностики аппаратного обеспечения ЭВМ (рис. 6).

Сетевые операционные системы (ОС) обеспечивают поддержку функционирования локально-вычислительных сетей, доступ к их информационным ресурсам: файлам, папкам, сетевому и локальному периферийному оборудованию (сетевым концентраторам, сетевым адаптерам и повторителям, принтерам, факсам, сканерам, модемам).

Специальные ОС используются для поддержки функционирования промышленных контроллеров, сетевых систем контроля доступа, используемых в локальных и распределённых системах мониторинга динамики технологических процессов.

ОС для портативных компьютеров содержатся в мини-компьютерах на микросхемах энергонезависимой памяти с поддержкой многократной перезаписи, записываются производителем и обновляются пользователями соответствующих устройств.

Оболочки ОС поддерживают командный интерфейс взаимодействия с пользователем и при этом реализуют ряд функций графического интерфейса посредством использования набора кнопок, полей, окон, меню, пиктограмм и подсказок.

Менеджеры файловых систем для ОС с поддержкой графического интерфейса пользователя позволяют работать в оконном режиме и осуществлять навигацию.

ПО в основе ИОС АДО практически не имеет существенных отличий и реализует автоматизацию процессов обработки информации, доступ к информационным ресурсам, выполнение прикладного и специального ПО для всех категорий пользователей (рис. 7).

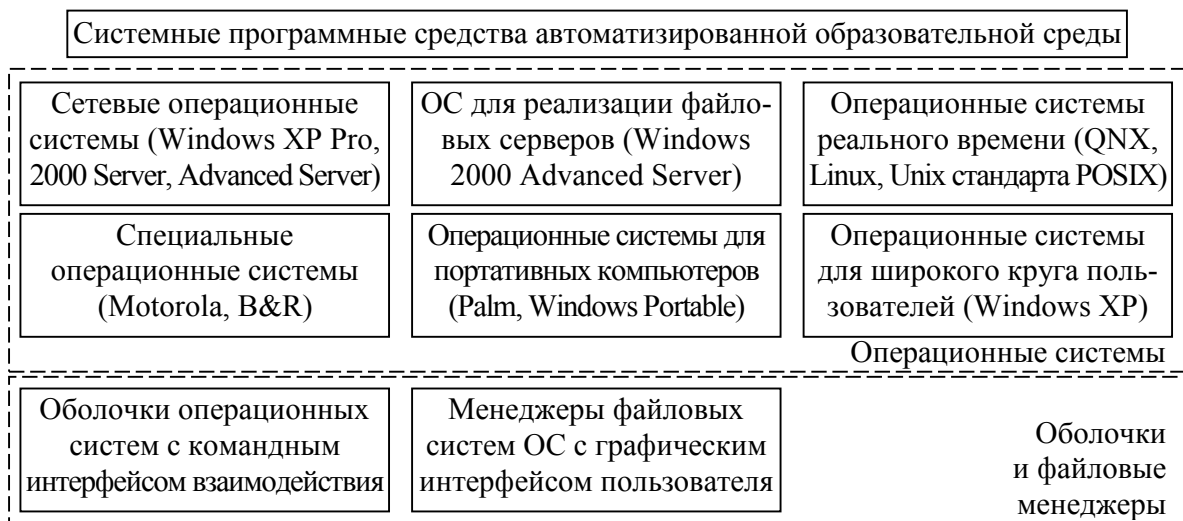


Рис. 6. Классификация системного программного обеспечения

Для автоматизации документооборота в организации	Для автоматизации перевода текста на разных языках	Для автоматизации конструирования и аналитических расчётов
Текстовые редакторы	Системы перевода текста	Системы проектирования
Системы электронных таблиц	Электронные словари	Системы моделирования
Системы управления БД	Системы перевода web-ресурсов	Системы численных расчётов
Конструкторы презентаций	Переводчики для Pocket PC	Системы статистического анализа
Издательские системы	Словари для Pocket PC	Пакеты анализа данных
Почтовые системы	Портативные переводчики	Пакеты Data mining
Среды разработки web-ресурсов		Пакеты прикладных программ
Для автоматизации процесса обработки потокового аудио и видео	Для сканирования уровня безопасности информационных систем	Для снижения уровня вирусной опасности информационных систем
Аудио- и видео-редакторы	Сканеры уровня безопасности	Комплексные системы безопасности
Среды для создания анимации	Сетевые сканеры безопасности	Сетевые экраны
Графические редакторы	Средства борьбы со спамом	ПО для криптографического кодирования
Прикладные среды обработки и защиты информации		Антивирусные программы
Пакет сервисных программ, предназначенных для диагностики ПО	Пакеты утилит для конфигурирования и обслуживания ОС	Интегрированные среды разработки и отладки ПО, а также создания банков данных
Системы комплексной защиты, диагностики и обслуживания ЭВМ	Программы сканирования оптических дисков для лазерных накопителей	Средства разработки архитектур и систем управления базами данных
Пакеты программ для обслуживания файловой системы и восстановления данных	Программы для оптимизации структуры и редактирования реестра	Интегрированные среды программирования на языках высокого уровня
Процедура восстановления поврежденного программного обеспечения и данных	Программы диагностики аппаратного обеспечения ЭВМ	Отладчики, компиляторы, интерпретаторы компьютерных программ
Процедура резервного копирования данных	Программы разметки накопителей на жестких магнитных и электронных дисках	Средства разработки информационных хранилищ и файл-серверов
Средства дефрагментации файловой системы	Мультимедиа драйверы	
Архиваторы	Конфигураторы расширенных функций ОС	Пакеты для разработки ПО и создания инфологических схем реляционных баз данных
Пакеты сервисных программ и утилит		

Рис. 7. Классификация программного обеспечения прикладного назначения





Рис. 8. Классификация субъектов информационно-образовательной среды автоматизированного (дистанционного) обучения

Информационный рынок и информационная индустрия в России находятся на этапе становления, поэтому ПО представлено в основном зарубежными производителями [7].

**Субъекты среды автоматизированного обучения и источники информации.** Субъекты ИОС системы АДО (рис. 8) выступают в роли внутренних и внешних источников и потребителей информации разного типа и назначения, занимают определенное положение в организационной структу-

ре образовательного учреждения и выполняют набор должностных обязанностей посредством АРМ и набора ПО [3, 5, 7, 8].

**Заключение.** Несмотря на комплекс проблем, возникающих в ходе информатизации информационных сред образовательных учреждений и территориально распределенных центров обучения, а также принимая во внимание регламентированные формы образовательной деятельности и особенности организации процесса обучения в

Российской Федерации (очная, очно-заочная, заочная, дистанционная), в качестве резюме выделим несколько выводов:

приобретает особую актуальность внедрение различных подходов, методов и технологий АДО, которые позволяют обеспечить учёт требований государственных органов и широкого круга дифференцированных потребителей образовательных услуг [6];

повышаются темпы научно-технического прогресса и уровень развития ИКТ, расширяется номенклатура средств автоматизации для разных прикладных областей;

расширяется набор аппаратного, программного и алгоритмического обеспечения, которое обеспечивает автоматизацию функций и операций, сопутствующих образовательной деятельности, появляются новые направления и возможности использования ИКТ для повышения эффективности формирования знаний обучаемых [7];

обеспечивается возможность создания распределённых ИОС, включающих несколько образовательных учреждений, которые совместно функционируют на рынке образовательных услуг и повышают уровень осведомлённости населения;

появляется техническая возможность интенсификации всех заделов (этапов) технологического процесса обучения в автоматизированной ИОС и повышения эффективности (результативности) процесса формирования знаний контингента обучаемых посредством внедрения и использования различных компонентов системы АДО [7, 8];

выделяется системное, прикладное и сервисное ПО, включая утилиты, средства мониторинга и обслуживания информационных систем, используемых в образовании;

достигается возможность реализации индивидуально-ориентированных сред [8].

### Список литературы

1. **Ершов А. П.** Концепция использования средств вычислительной техники в сфере образования. Новосибирск: Препринт ВЦ СО РАН АН СССР, 1990.
2. **Догмачёв В. Г.** Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий. М.: МИЭМ, 2006.
3. **Моисеев В. Б.** Элементы информационно-образовательной среды высшего учебного заведения. Ульяновск: УлГТУ, 2002.
4. **Скибицкий Э. Г.** Теоретические основы дистанционного обучения. Новосибирск: изд-во НГПУ, 2002.
5. **Солдаткин В. И.** ДО технологии: Информационный аспект. М.: НИИВО, 1998.
6. **Ветров А. Н.** Факторы успеха в образовательной деятельности вуза: Тенденции развития информационной среды дистанционного образования. Моногр. А. Н. Ветров, Н. А. Ветров. Под ред. чл.-корр. Международной академии наук ВШ И. Н. Захарова. СПб.: Изд-во МБИ, 2004.
7. **Ветров А. Н.** Особенности развития теории информации и информационных технологий на пороге XXI века. Моногр. А. Н. Ветров. М.: РАО, 2007.
8. **Ветров А. Н.** Среда автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей. Моногр. А. Н. Ветров. М.: РАО, 2007.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В СРЕДЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МВТУ

**Б. А. Карташов, А. Б. Карташов,  
М. Ю. Медведько, Е. А. Шабает**

*На примере нелинейной математической модели специализированного асинхронного электропривода рассмотрен один из возможных вариантов моделирования нелинейных динамических систем с использованием программного комплекса МВТУ — высокоэффективного средства автоматизированного проектирования широкого класса технических систем.*

Исследование нелинейных динамических систем традиционными аналитическими и численными методами на основе математических моделей в форме Коши представляет достаточно слож-

ную, а в отдельных случаях, без существенных упрощений, практически неразрешимую задачу. Применение современных информационных технологий значительно упрощает решение подобных задач, поскольку для моделирования технических систем, в том числе и нелинейных динамических, разработаны достаточно простые и эффективные компьютерные программы MATCAD, MATLAB, программный комплекс «Моделирование в технических устройствах» (ПК МВТУ) и др. В статье на примере нелинейного асинхронного электропривода специального назначения иллюстрируется один из возможных вариантов моделирования нелинейных динамических систем с помощью отечественного программного комплекса МВТУ [1, 2], выгодно отличающегося от зарубежных аналогов. Краткая характеристика ПК МВТУ приведена в работе [3].

В некоторых технологических установках сельскохозяйственного назначения асинхронные электродвигатели работают в тормозных режимах. К одной из таких установок относится траншейный выгрузчик консервированных кормов, электропривод подачи рабочего органа которого работает в режиме динамического торможения [4]. Принцип работы его привода следующий.

Рабочий орган выгрузчика – цепочно-планчатый отделитель (ЦПО) – перемещается по направляющей мачтового типа. При рабочем ходе (движении вниз) ЦПО фрезерует горизонтальную поверхность силосного монолита. При этом ширина фрезеруемого слоя равна ширине рабочего органа, а глубина врезания вдоль хранилища – его рабочей длине. Отделённый корм по направляющему кожуху подаётся в мобильное транспортное средство или в поточную линию раздачи кормов. После достижения крайнего нижнего положения ЦПО поднимается вверх над поверхностью корма и смещается поперёк хранилища по portalу на ширину рабочего органа. Технология выемки корма с помощью рассмотренного выгрузчика предусматривает необходимость плавного регулирования скорости подачи ЦПО при рабочем ходе. Это достигается перемещением ЦПО на силосный монолит под действием его силы тяжести посредством подтормаживания электродвигателем, работающим в режиме динамического торможения с независимым возбуждением. Таким образом, электродвигатель выполняет функции исполнительного элемента (органа), выходным параметром которого является угловая скорость  $\omega$ , а входным (регулирующим) воздействием – постоянный ток возбуждения (подмагничивания) в режиме динамического торможения.

Для определения уравнения движения (математической модели) привода рассмотрим силы и момент, приложенные к его отдельным элементам [4] (рис. 1).

Перемещение ЦПО на силосный монолит обеспечивается за счёт его силы тяжести:

$$G = mg,$$

где  $m$  – масса отделителя;  $g$  – ускорение свободного падения.

При постоянной скорости цепи отделителя корма сопротивление силосного монолита [5]

$$R = kv, \quad (1)$$

где  $k$  – константа, зависящая от физико-механических свойств силоса и конструктивных параметров отделителя;  $v$  – скорость подачи ЦПО.

Регулирование скорости подачи отделителя обеспечивается изменением момента электродвигателя  $M_T$  в режиме динамического торможения посредством изменения тока подмагничивания  $I_{\text{п}}$ , подаваемого в статорную обмотку электродвигателя.

Динамическая модель привода подачи ЦПО на основе исходной схемы (см. рис. 1) может быть представлена (рис. 2) в виде двухмассовой систе-

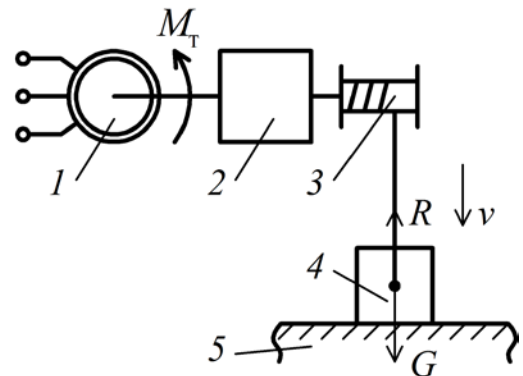


Рис. 1. Схема привода подачи цепочно-планчатого отделителя:

1 – асинхронный электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – барабан; 4 – ЦПО; 5 – силосный монолит

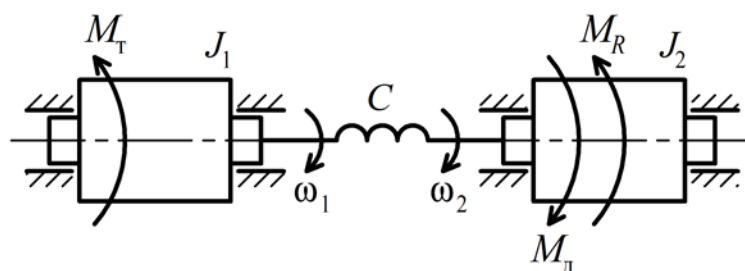


Рис. 2. Динамическая модель электропривода

мы с упругим звеном [6]. Основные параметры схемы модели определяются следующими зависимостями:

эквивалентный момент инерции на валу электродвигателя

$$J_1 = J_d + (J_p + J_6) / i_p^2;$$

момент инерции поступательно движущегося ЦПО, приведённый к валу электродвигателя,

$$J_2 = m \frac{2}{6} / i_6^2;$$

движущий момент

$$M_d = Gr_6 \eta / i_p,$$

где  $J_d$ ,  $J_p$ ,  $J_6$  – моменты инерции электродвигателя, редуктора и барабана соответственно;  $i_p$  – передаточное отношение редуктора;  $r_6$  – радиус барабана;  $\eta$  – общий КПД привода.

С учётом формулы (1) момент реакции силового монолита, приведённый к валу электродвигателя

$$M_R = \frac{kr_6^2 \eta}{i_p} \frac{d\varphi_2}{dt}.$$

С учётом обозначения  $D = kr_6^2 \eta / i_p$  уравнение момента примет вид

$$M_R = D \frac{d\varphi_2}{dt}.$$

Динамика рассматриваемой двухмассовой системы на основе принципа Даламбера описывается системой уравнений

$$\begin{cases} J_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} = M_y - M_T; \\ J_2 \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} = M_d - M_y - M_R, \end{cases} \quad (2)$$

где  $M_y = C (\varphi_2 - \varphi_1)$  – момент, создаваемый упругим элементом;  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  – углы поворота на концах упругого элемента;  $C = C_k r_6^2 / i^2$  – приведённый коэффициент жёсткости упругого звена;  $C_k$  – жёсткость каната.

Исключая переменную  $\varphi_2$  и учитывая, что

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = \omega,$$

исходную систему уравнений (2) можно свести к одному дифференциальному уравнению

$$\frac{J_1 J_2}{C} \frac{d^3 \omega}{dt^3} + \frac{J_1 D}{C} \frac{d^2 \omega}{dt^2} + (J_1 + J_2) \frac{d\omega}{dt} + D\omega = M_d - M_T - \frac{D}{C} \frac{dM_T}{dt} - \frac{J_2}{c} \frac{d^2 M_T}{dt^2}. \quad (3)$$

Тормозной момент  $M_d$ , входящий в уравнение (3), создаётся двигателем в режиме динамического торможения. Он может быть определён на основе упрощённой формулы механической характеристики асинхронного электродвигателя для режима динамического торможения как [4]

$$M_T = A I_{\pi}^2 \omega / (B^2 + \omega^2), \quad (4)$$

где  $A = 3\gamma x_{\mu}^2 S_{\kappa} / (x_2 + x_{\mu})$ ;  $I_{\pi}$  – постоянный ток возбуждения;  $B = S_{\kappa} \omega_0$ ;  $\gamma$  – коэффициент, зависящий от схемы подключения обмотки статора к источнику постоянного тока в режиме динамического торможения;  $x_2$  – индуктивное фазное сопротивление ротора, приведённое к обмотке статора;  $x_{\mu}$  – индуктивное сопротивление рассеяния контура намагничивания.

Критическое скольжение в режиме динамического торможения

$$S_{\kappa} = r_2 / (x_2 + x_{\mu}),$$

где  $r_2$  – активное фазное сопротивление обмотки ротора, приведённое к обмотке статора.

Таким образом, динамика электропривода описывается системой уравнений (3) и (4), анализ которой показывает, что вследствие нелинейности последнего уравнения исследование переходных процессов в приводе подачи отделителя аналитическими методами на её основе без дополнительных упрощений представляет практически неразрешимую задачу. Для этих целей целесообразно использовать прикладные программы компьютерного моделирования. В данном примере эта задача решена в среде ПК МВТУ применительно к приводу на основе двухступенчатого цилиндрического редуктора Ц2У-100-31,5 и двухскоростного электродвигателя АИР90L16/4Е43.

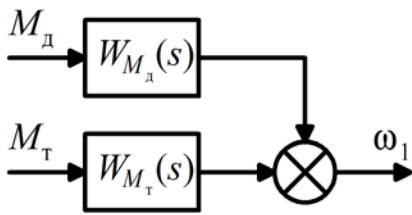


Рис. 3. Структурная схема уравнения (3)

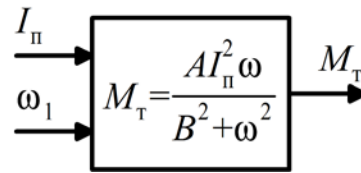


Рис. 4. Структурная схема уравнения (4) тормозного момента

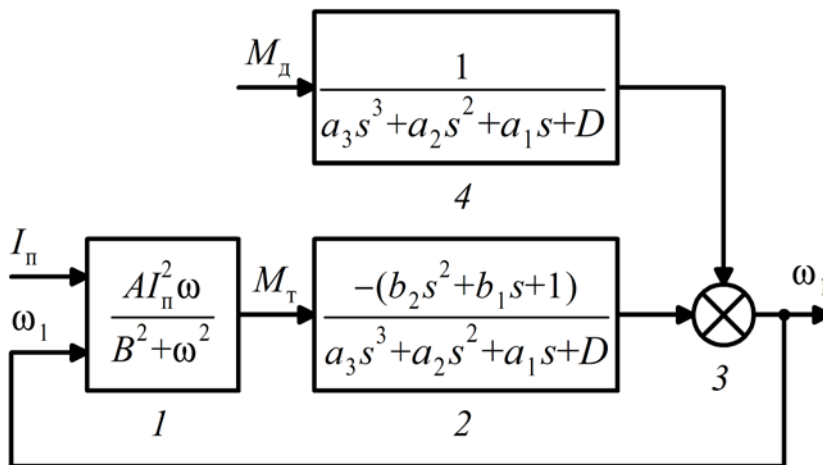


Рис. 5. Структурная схема системы уравнений (3) – (4):  
1, 2, 3, 4 – блоки структурной схемы

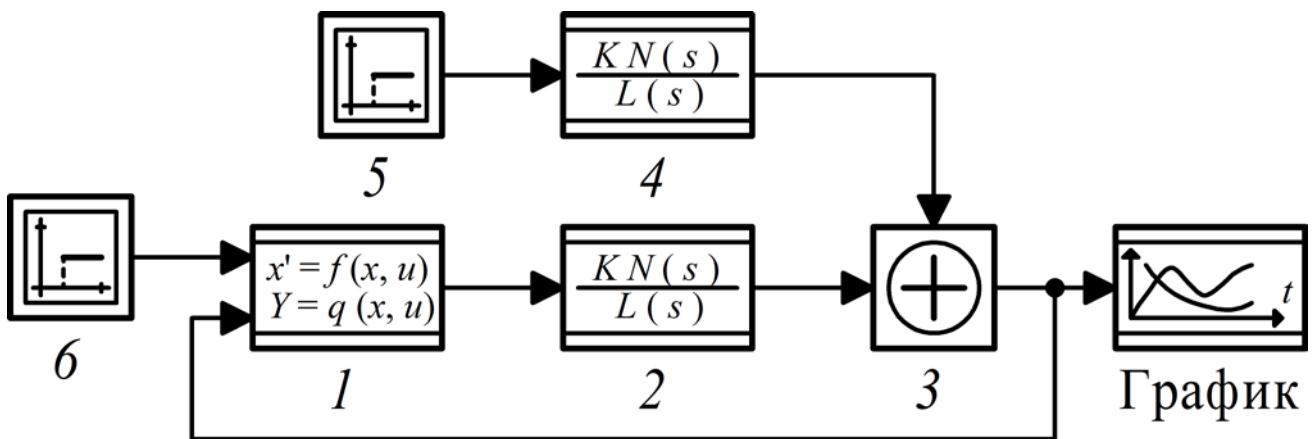


Рис. 6. Структурная схема моделирования в среде ПК МВТУ привода подачи цепочно-планчатого отделителя:  
1, 2, 3, 4 – блоки, соответствующие структурной схеме на рис. 5; 5, 6 – блоки для формирования  $M_d$  и  $I_{\Pi}$  соответственно

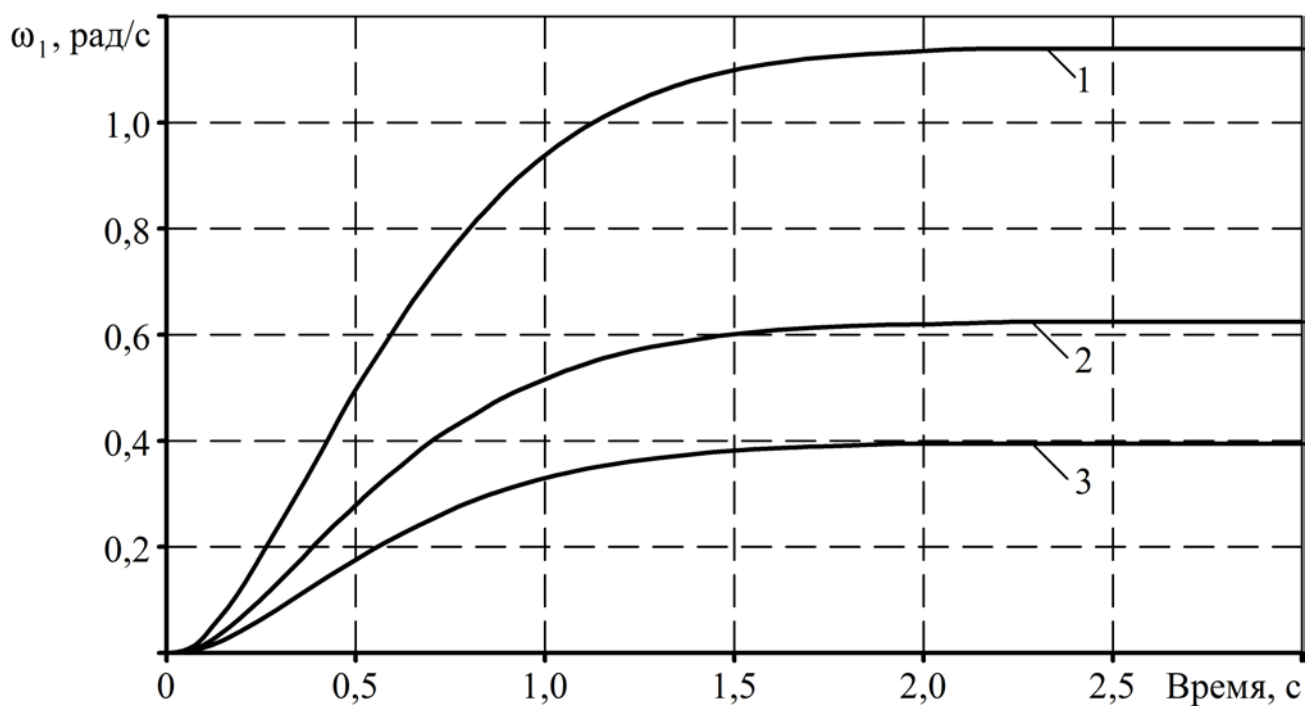


Рис. 7. Зависимости изменения угловой скорости привода от времени:

1 – при  $I_{II} = 1,5$  А; 2 – при  $I_{II} = 2$  А; 3 – при  $I_{II} = 2,5$  А

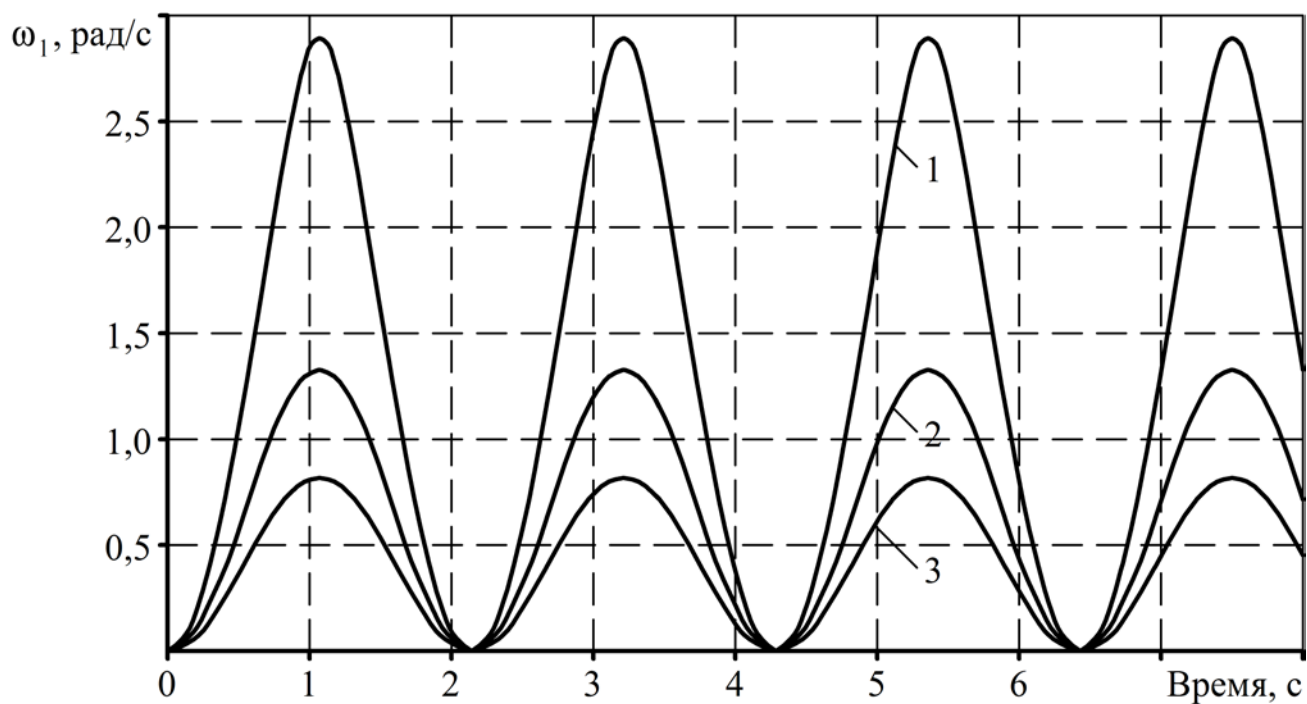


Рис. 8. Колебательные режимы работы привода без нагрузки (при отсутствии силосного монолита):

1 – при  $I_{II} = 1,5$  А; 2 – при  $I_{II} = 2$  А; 3 – при  $I_{II} = 2,5$  А

В среде ПК МВТУ моделирование гравитационного привода, описываемого уравнениями (3) и (4), целесообразно выполнить на основе динамического звена общего вида и «нового» блока по следующим соображениям. Неоднородное линейное дифференциальное уравнение (3) с помощью интегрального преобразования Лапласа можно достаточно просто представить в виде двух передаточных функций:

$$W_{M_d}(s) = \frac{\omega_1(s)}{M_d(s)} \quad \text{и} \quad W_{M_T}(s) = \frac{\omega_1(s)}{M_T(s)},$$

где  $\omega_1(s)$ ,  $M_d(s)$ ,  $M_T(s)$  – изображения по Лапласу при нулевых начальных условиях угловой скорости  $\omega_1$ , движущего  $M_d$  и тормозного  $M_T$  моментов соответственно.

Это позволит линейную часть системы уравнений (3) и (4) в среде ПК МВТУ моделировать двумя звеньями общего вида, а нелинейную часть – уравнение тормозного момента (4) – посредством «нового» блока.

Для уравнения (3) введём следующие обозначения:  $a_3 = J_1 J_2 / C$ ,  $a_2 = J_1 D / C$ ,  $a_1 = J_1 + J_2$ ,  $b_2 = J_2 / C$ ,  $b_1 = D / C$  и преобразуем его по Лапласу при нулевых начальных условиях:

$$\begin{aligned} a_3 s^3 \omega_1(s) + a_2 s^2 \omega_1(s) + a_1 s \omega_1(s) + D \omega_1(s) = \\ = M_d - b_2 s^2 M_T(s) - b_1 s M_T(s) - M_T(s). \end{aligned} \quad (5)$$

На основе уравнения (5), используя принцип суперпозиции, запишем передаточные функции:

$$W_{M_d}(s) = \frac{\omega_1(s)}{M_d(s)} = \frac{1}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + D}; \quad (6)$$

$$W_{M_T}(s) = \frac{\omega_1(s)}{M_T(s)} = \frac{-(b_2 s^2 + b_1 s + 1)}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + D}. \quad (7)$$

С учётом передаточных функций (6) и (7) дифференциальное уравнение (3) можно представить в виде структурной схемы, показанной на рис. 3.

Нелинейное уравнение тормозного момента (4), отображающее функциональную зависимость двух переменных  $M_T = f(I_{\text{п}}, \omega_1)$  – тока подмагничивания  $I_{\text{п}}$  и угловой скорости  $\omega_1$ , можно интер-

претировать в виде одного звена с одним выходным параметром  $M_T$  и двумя входными –  $I_{\text{п}}$ ,  $\omega_1$  (рис. 4).

В результате объединения этих схем структурная схема системы уравнений (3) и (4) примет вид, представленный на рис. 5.

Структурная схема моделирования привода подачи ЦПО в среде ПК МВТУ представлена на рис. 6.

Результаты моделирования привода для параметров структурной схемы  $a_0 = D = 0,029$ ,  $a_1 = 0,0163$ ,  $a_2 = 0,00975$ ,  $a_3 = 0,00183$ ,  $b_0 = 1$ ,  $b_1 = 0,617$ ,  $b_2 = 0,1157$ ,  $A = 26,9$ ,  $B = 5,15$  приведены на рис. 7.

Анализ графиков показывает, что с увеличением тока подмагничивания скорость однозначно уменьшается. Это подтверждает физический принцип работы регулируемого гравитационного привода подачи ЦПО. Апериодический характер графиков свидетельствует о высоком демпфирующем действии силосного монолита на колебательные свойства гравитационного привода, который без нагрузки является консервативной системой, о чём свидетельствуют результаты её моделирования при  $D = 0$  (в передаточных функциях (6) – (7)  $a_0 = 0$ ,  $a_2 = 0$ ,  $b_1 = 0$ ) (рис. 8).

#### Список литературы

1. **Инструкция** пользования программным комплексом «Моделирование в технических устройствах» (ПК МВТУ, версия 3.5) / О.С. Козлов, Д.Е. Кондаков, Л.М. Сворцов и др. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.
2. **Математическое** моделирование систем автоматического регулирования. Практикум по автоматике / Б.А. Карташов, А.Б. Карташов, О.С. Козлов, Г.С. Пархоменко, С.Г. Пархоменко. М.: КолосС, 2004.
3. **Карташов Б.А., Шабаетв Е.А.** Анализ и синтез систем автоматического регулирования с использованием программного комплекса МВТУ. *Автоматизация и современные технологии*. 2006. № 4.
4. **Карташов А.Б.** Исследование и разработка регулируемого электропривода подачи рабочего органа выгрузчика консервированных кормов. *Фундаментальные и прикладные проблемы современной техники*. Ростов н/Д: СКНЦ ВШ, 1997.
5. **Белов В.П., Сечкин В.С.** Результаты исследования пыльно-сгребющего рабочего органа к погрузчику силоса из траншей: Сб. научн. тр. ВНИПТИМЭСХ Северо-Запада. 1975. Вып. 19-1.
6. **Чиликин М.Г.** Основы автоматизированного электропривода. М.: Энергия, 1974.



## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ МАЛЫМ КОММЕРЧЕСКИМ ПРЕДПРИЯТИЕМ КАК ОТКРЫТОЙ СИСТЕМОЙ

*И. Ю. Шполянская*

*Рассмотрены принципы создания информационной системы малого предприятия как открытой системы, способной адекватно реагировать на изменения во внешней среде. В качестве моделей активного взаимодействия системы и среды предложено использовать процедуры адаптации с элементами самообучения, а для координации потоков ресурсов в системе – имитационную модель.*

**Введение.** Эффективность функционирования малого предприятия в значительной мере определяется его способностью адаптироваться к требованиям постоянно изменяющейся рыночной среды, учитывать все факторы внешнего окружения и рационально использовать свои потенциальные возможности. Методы организации и управления внутренними бизнес-процессами предприятия при всей их важности отходят на второй план, а одним из главных критериев эффективности информационной системы становится способность оперативного реагирования на различные действия объектов своего окружения (конкурентов, поставщиков, клиентов, кредитных организаций, налоговой службы и др.). В соответствии с этим в качестве основной функции в модели управления малым предприятием рассматривается задача анализа закономерностей происходящих в среде процессов и использование полученных знаний для выработки своевременных реакций с целью минимизации неблагоприятного воздействия случайных факторов или использования потенциальных возможностей в каждой конкретной ситуации.

**Проблема взаимодействия малого предприятия с внешней средой: адаптивный подход.** Малое предприятие вынуждено функционировать в тесном взаимодействии с внешней средой, которая характеризуется высокой степенью неопределённости. Внешние факторы, оказывающие непосредственное влияние на эффективность деятельности предприятия (изменение спроса на реализуемые товары в количественном отношении и в отношении ассортимента, изменение уровня ры-

ночных цен на приобретаемые фирмой товары, отклонения по срокам, объёму и качеству выполнения договорных обязательств по поставкам, дебиторская задолженность, уровень инфляции, изменение валютного курса, налоговая политика государства и т. д.), связаны с конкретными объектами: клиентами, поставщиками, партнёрами, конкурентами, банком, государственными организациями.

В подходах к созданию информационных систем объекты внешней среды обычно не включались в контур системы управления предприятием, а компенсация их неблагоприятного воздействия осуществлялась либо в процессе регулирования по результатам отдельных его проявлений, либо сбором статистики и разработкой прогнозов на последующий период. В обоих случаях игнорируются целенаправленные свойства среды, в которой осуществляется управление. Однако каждый клиент фирмы согласно предпочтениям имеет свою модель целесообразного поведения, а целенаправленные действия партнеров, конкурентов и поставщиков подчиняются некоторой стратегии. Если не учитывать эти обстоятельства, то клиент, поставщик или конкурент для руководства фирмы становятся непредсказуемыми, а управление – хаотичным.

Альтернативным способом решения проблемы может быть подход, позволяющий рассматривать предприятие как открытую систему и связанный с построением адекватных моделей объектов внешней среды. В процессе функционирования при соответствующих условиях открытая система достигает состояния подвижного равновесия, в котором её структура остаётся постоянной, но это постоянство сохраняется в процессе непрерывного обмена информацией и ресурсами с внешней средой [1]. В соответствии с принципом эквифинальности, такое состояние равновесия открытых систем не зависит от исходных условий и определяется исключительно методами управления.

Поэтому информационная система как модель управления предприятием, адекватно отражающая все его процессы, также должна строиться как открытая система. Информационная система должна обеспечивать динамическое равновесие между всеми её элементами в процессе взаимодействия предприятия с внешней средой. Это равновесие достигается за счёт определения оптимального режима обмена ресурсами между предприятием и элементами его окружения для достижения главной цели деятельности предприятия – получения прибыли. Реализация главной цели осуществляется совокупностью взаимосвязанных внутренних бизнес-процессов. В результате синтеза модели открытой и целенаправленной систем получается модель гибкого управления малым предприятием.



Для реализации модели взаимодействия малого предприятия с внешней средой целесообразно использовать адаптивный подход вследствие невозможности реализовать стандартные методы поиска оптимальных управленческих стратегий из-за действия множества случайных факторов, которые со временем могут существенно измениться. Адаптивный подход предполагает создание такой системы, которая в процессе функционирования изменяет свою структуру (цели, функции и методы управления) в условиях начальной неопределённости путём анализа текущей информации, с тем чтобы в течение продолжительного времени обеспечить устойчивость в реализации главной цели предприятия – получения прибыли.

Для реализации моделей адаптации использовались алгоритмы самоорганизации, основанные на обучении с подкреплением (самообучении) [2]. Изменение эффективности функционирования системы описывается в виде уточнения вероятностей выбора стратегии в каждой ситуации. Наилучшая стратегия может быть получена в результате увеличения вероятностей выбора управлений, улучшающих значение показателя эффективности, и уменьшения вероятностей выбора нежелательных стратегий. Значения вероятностей используются до тех пор, пока система находится в ситуации  $a$ . При переходе системы в ситуацию  $b$  стратегия выбирается в соответствии с вероятностями, накопленными в результате прошлых попаданий системы в ситуацию  $b$ . Выбору правильной стратегии система обучается перестройкой вероятностей на основе локального критерия эффективности. В качестве локального критерия эффективности рассматривается математическое ожидание прибыли предприятия в ситуации  $b$ :

$$M \sum_t P_t (X_t, \Phi_t) = M \sum_{b=1}^B \sum_{k \in K(b)} P_k^b (X_k^b, \Phi_b),$$

$$\Phi_t \subset \Phi, \quad \Phi = \bigcup_b \Phi_b,$$

где  $\Phi_t$  – производственная ситуация, в которой находится фирма в период  $t$  (описывается множеством фактических значений параметров, характеризующих состояние фирмы и определяемых вектором внешних воздействий);  $\Phi$  – множество всех возможных ситуаций;  $X_k^b$  – управляющая стратегия в ситуации  $b$  в период  $k$ ;  $P_k^b$  – величина прибыли, полученной в  $k$ -й период, когда фирма находилась в ситуации  $b$ ;  $K(b)$  – множество периодов, в течение которых фирма находилась в ситуации  $\Phi_b$ .

**Адаптивная модель взаимодействия системы с объектом внешней среды: взаимоотношения фирмы с клиентами.** Основой системы управления малым предприятием является модель взаимодействия

фирмы с клиентами. Такое взаимодействие предусматривает увеличение объёма продаж за счёт максимального удовлетворения потребностей каждого покупателя для обеспечения максимальной прибыли предприятия. Это может быть достигнуто:

установлением цены на уровне, привлекательном для покупателя и обеспечивающем предприятию достаточный уровень рентабельности;

подбором рациональной структуры ассортимента продукции, обеспечивающего удовлетворение рыночного спроса;

определением уровня товарных запасов, соответственно своевременных поставок материала, с одной стороны, достаточных для удовлетворения потребностей клиента в любой момент времени, а с другой – не приводящих к замораживанию денежных средств.

На уровень устанавливаемой цены влияют следующие факторы: модель поведения конкретного клиента (группы однородных клиентов), наличие товара в данный момент на рынке у конкурентов и уровень рыночных цен, уровень затрат по данному товару.

Клиенты фирмы с однотипным поведением объединяются в группы, с тем чтобы впоследствии к каждой группе можно было применить одинаковую ценовую стратегию. Как правило, модель поведения клиента не меняется в зависимости от вида товара. Клиента интересует в основном отклонение цены реализации от известной ему рыночной цены. Этот факт даёт возможность объединить различные виды товаров в одну группу, что позволяет увеличить объём выборки анализируемых данных в каждой ситуации.

Ценовая стратегия для одной и той же группы товаров может отличаться в зависимости от текущей рыночной ситуации: наличия товара у конкурентов и рыночной цены (последняя определяется текущим спросом). Условно все рыночные ситуации можно разбить на группы, определяемые пересечением двух множеств: множества состояний  $T$  («товар имеется в наличии на рынке»; «товар имеется в избытке на рынке»; «товар отсутствует на рынке»; «ожидается дефицит товара в ближайшее время»; «ожидается избыток товара») и множества  $C$  («рыночная цена равна стоимости товара»; «рыночная цена ниже стоимости»; «рыночная цена выше стоимости»).

Задача оптимального взаимодействия фирмы с клиентами формулируется следующим образом. В каждой выделенной рыночной ситуации для каждой группы клиентов необходимо найти наиболее эффективную ценовую стратегию, обеспечивающую фирме в данной производственной ситуации (при данном уровне товарных запасов) максимальный объём продаж и желаемый уровень рентабельности.

Процесс нахождения равновесной цены, которая устраивала бы и фирму, и клиента, можно рассматривать как процесс переговоров. Каждый клиент оценивает выгодность предстоящей сделки по отклонению предлагаемой ему цены от рыночной и в зависимости от наличия товара на рынке. Если клиента устраивает цена, то он совершает покупку в соответствии с потребностями. Иначе клиент может уменьшить объём покупки или отказаться от неё. В итоге будет уменьшено общее число продаж фирмы. Изменяя цену реализации, система управления может вынудить клиента выбрать действие, максимизирующее объём продаж и прибыли.

Адаптивное управление на каждом шаге позволяет выбрать наиболее эффективную для данной информационной ситуации ценовую стратегию, обеспечивая фирме максимальный объём покупок клиента. В таком случае текущая ценовая стратегия выступает в роли параметра адаптации системы управления. Целью адаптации является достижение максимума среднего уровня чистой прибыли в течение всего времени функционирования предприятия. В этом смысле цель адаптации совпадает с целью деятельности фирмы.

Вектор ценовых стратегий определим следующим образом. Разобьём диапазон возможных значений цены реализации на  $M$  равных отрезков. Интервалам отрезка будет соответствовать вектор

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_M) | x_i = 0,1; \sum_i^M x_i = 1.$$

Тогда в качестве текущей будет выбрана стратегия  $x_j$ , если  $x_j = 1$ . Пусть для ситуации  $\Phi_a$  в  $k$ -м периоде управления для фирмы определена эффективная стратегия  $x_i^a$ . На следующем шаге управления фирма может оказаться в ситуации  $\Phi_b$ , для которой данная стратегия уже будет неэффективной и потребуются применение стратегии  $x_j^b$ . Но так как распределение вероятностей перехода системы в последующую ситуацию неизвестно, то неопределённо и распределение вероятностей величины  $P_k^b$ , на основе которого можно было бы найти необходимое значение  $x_j^b$ . В таком случае оценку показателя эффективности  $V_k^b$  можно получить с помощью алгоритма стохастической аппроксимации [3]:

$$V_{k+1}(x_i^b) = V_k(x_i^b) + \gamma_{k+1} [P_{k+1}(x_i^b) - V_k(x_i^b)], \quad V_0(x_i^b) = 0,$$

где  $P_{k+1}(x_i^b)$  – фактическое значение показателя эффективности для стратегии  $I$  в ситуации  $b$  на шаге  $(k+1)$  управления;  $\gamma_{k+1}$  – шаг адаптации.

Выбор наилучшей стратегии  $x_\lambda^b$  в ситуации  $\Phi_b$  на очередном шаге определяется в соответствии с предпочтениями, основанными на вероятности обеспечения данной стратегией наилучшего значения показателя эффективности, из соотношения

$$pr_{k+1}(x_\lambda^b) = \max_{i \in I} pr_k(x_i^b).$$

Данные оценки вероятностей также уточняются на каждом шаге на основе другого алгоритма стохастической аппроксимации. Значение шага адаптации в алгоритмах можно положить равным последовательности чисел  $1/k$ , где  $k$  – номер периода адаптации.

С помощью данных алгоритмов на основе коррекции набора вероятностных предпочтений информационная система обучается нахождению в каждой рыночной ситуации наилучшей ценовой стратегии для каждой группы клиентов фирмы. Подходящая стратегия выбирается в соответствии с максимальной вероятностью того, что она, с учётом данной ситуации, обеспечит в дальнейшем наибольший объём покупок каждым клиентом и наибольший объём прибыли. Фактическое значение показателя эффективности в текущей ситуации определяется программно по данным оперативного учёта за отчётный период.

**Алгоритм выбора адаптивных стратегий.** Адаптивный механизм определения текущей стратегии состоит в следующем [4]:

для текущей экономической ситуации  $\Phi_b$  на  $k$ -м шаге управления определяется значение вектора ценовой стратегии в соответствии с максимальной вероятностью обеспечения данной стратегией наилучшего значения показателя эффективности в предположении, что ситуация сохранится в дальнейшем;

из ситуации  $\Phi_b$  на  $(k+1)$ -м шаге система фактически переходит в состояние  $\bar{\Phi}_b$ . Подсчитывается фактическое значение объёма прибыли  $P_k^b$  для данной ценовой стратегии  $x_i^b$  при переходе из состояния  $\Phi_b$  в состояние  $\bar{\Phi}_b$ ;

оценивается среднее значение объёма продаж  $V_{k+1}(x_i^b)$  в соответствии с выбранной ценовой стратегией;

уточняются вероятности выбора стратегии  $x_i^b$  для ситуации  $\Phi_b$  на основе полученных оценок прибыли. Предпочтение (вероятность) выбора варианта, приведшего к увеличению среднего значения показателя эффективности, повышается, а вероятность выбора варианта, приведшего к снижению среднего значения, уменьшается;

процесс повторяется для ситуации  $\overline{\Phi}_b$ . Работа алгоритма завершается, как только предпочтения выбора одной и той же стратегии на очередном шаге управления будут отличаться от предпочтений текущего шага не более чем на заранее заданную малую величину  $\varepsilon$ .

**Другие модели объектов внешней среды.** Наиболее выгодным для фирмы ассортиментом является такая структура товарной продукции, которая в данный момент в наибольшей степени отвечает предпочтениям покупателей. Структура ассортимента в каждый последующий момент времени определяется с помощью адаптивных процедур за счёт уточнения предпочтений выбора того или иного варианта по результатам фактической его реализации относительно показателя эффективности – среднего объёма прибыли за весь анализируемый период. Модель целесообразно использовать, когда у лица, принимающего решение, нет достаточных знаний о будущих предпочтениях своих клиентов, с тем чтобы эту информацию можно было получить и оценить непосредственно в процессе их взаимодействия.

В тесной взаимосвязи с выбором структуры ассортимента решается задача определения рациональных объёмов товарных (а также материальных) запасов. Товарные (материальные) запасы должны быть достаточными чтобы обеспечить своевременное выполнение заказов клиентов согласно их предпочтениям. Однако чрезмерный рост запасов приводит к связыванию оборотных средств фирмы, т. е. к снижению размера получаемой прибыли. Статистические данные об объёмах продаж и заказах описывают спрос на данный вид товара. Для поддержания запасов на заданном уровне фирма закупает товары у поставщиков, вступая с ними в определённые взаимоотношения. Момент и размер очередной партии закупки определяются фактическим состоянием запасов, текущим спросом клиентов, состоянием рынка, а также предложением поставщика.

Поставщик также является элементом внешней среды, с которым система управления фирмой вынуждена взаимодействовать с учётом модели его поведения. Взаимоотношения с поставщиками являются зеркальным отображением взаимоотношений фирмы с клиентами. Если в модели взаимоотношений с клиентами в качестве регулирующего параметра являлась цена, с помощью которой фирма могла стимулировать клиента к совершению покупок в максимальных объёмах, то в модели взаимоотноше-

ний с поставщиком регулирующим параметром выступает объём закупок, а оценочным показателем эффективности выбранной стратегии является цена закупки. Снижение объёмов закупок фирмы в течение определённого интервала времени является для поставщика информацией о том, что его клиент (в данном случае – фирма) знает действительную рыночную ситуацию. Это приводит его к необходимости снизить закупочную цену.

Модель адаптации определяет стратегии закупок товаров у разных поставщиков. Предпочтения совершения закупок требуемого размера у того или иного поставщика корректируются в зависимости от договорной цены, которая с течением времени должна для фирмы снижаться. Набор предпочтений выбора каждой из возможных стратегий закупки меняется в зависимости от текущей рыночной ситуации. Последняя определяется текущим предложением данного поставщика и фактическим наличием товара на рынке (товар имеется в наличии; избыток товара; дефицит товара; ожидается дефицит товара; ожидается избыток товара). В результате процессов адаптации со временем в отношениях между фирмой и поставщиком устанавливается некоторое компромиссное равновесие, благодаря соблюдению интересов обеих сторон.

**Реализация метода.** Представленные модели и алгоритмы реализованы на языке Visual Basic. Программа обеспечивает возможность настройки на конкретный режим взаимодействия с внешней средой: с клиентом, поставщиком, рынком (в виде ассортимента, товарных и материальных запасов). Имеется возможность настройки и на другие элементы внешнего окружения: банк, налоговая, инфляция инспекция, курс доллара.

Программа адаптации может работать как с реальными данными, так и с данными, полученными с помощью динамической имитационной модели работы предприятия. В свою очередь, имитационная модель реализована в среде Excel с использованием макросов VBA [5]. На каждом шаге адаптации в приложении Visual Basic в соответствии с текущей рыночной ситуацией генерируется управляющая стратегия, которая передаётся в связанный OLE-объект – имитационную модель в Excel. Имитационная модель оценивает эффективность стратегии (прогнозируемый размер прибыли). Полученные оценки передаются в исходное приложение, где корректируется набор предпочтений выбора стратегий для следующего периода.

**Заключение.** Получены единая модель, метод и алгоритм реализации гибкого взаимодействия фирмы со своим окружением на основе адаптивного подхода с учётом целесообразного поведения каждого объекта внешней среды. Благодаря тому, что имитационная модель связывает в единое целое все потоки материальных и финансовых ресурсов, обеспечивается координация различных моделей адаптации и баланс между всеми элементами системы.

Имея в своём распоряжении модель поведения внешней среды, можно правильно оценить текущую экономическую ситуацию и эффективно распределить ресурсы системы. Следовательно, предприятие будет способно своевременно менять свою тактику, адаптируясь к непрерывно изменяющимся внешним условиям своего функционирования.

### Список литературы

1. **Бергаланфи Л.** Общая теория систем – обзор проблем и результатов. Системные исследования: Ежегодник. М.: Наука, 1969.
2. **Саридис Дж.** Самоорганизующиеся стохастические системы управления. М.: Наука, 1980.
3. **Nicolic Z.J., Fu K.S.** An Algorithm for Learning Without Supervision and It's Application to Learning Control Systems // IEEE Trans. Autom. Control. 1966. Vol. AC – 11. № 3.
4. **Шполянская И.Ю.** Реализация модели гибкого развития малого предприятия с помощью адаптивного механизма принятия стратегических решений. Научный поиск: По страницам докторских диссертаций. Ростов н/Д: РГЭУ РИНХ, 2003.
5. **Шполянская И.Ю.** Имитационное моделирование бизнес-процессов и систем: Научно-практическое пособие. Ростов н/Д: РГЭУ РИНХ, 2005.

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПОДСИСТЕМАМИ ЛОГИСТИКИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

**Ю. А. Мезенцев**

*Рассмотрены две универсальные экономико-математические модели, предназначенные для определения оптимальных стратегий управления подсистемами (компонентами подсистем) логистики предприятий. Пояснён содержательный смысл используемых критериев и ограничений. Представленные модели разработаны в рамках единого подхода, позволяющего реализовывать логические условия любой сложности и формировать соответствующие формальные модели. Разработан приближённый полиномиальный алгоритм решения оптимизационной задачи реальной размерности, обладающей высокой вычислительной сложностью.*

**Введение.** Процессы, определяемые как производственно-экономическая или хозяйственная деятельность (ПЭД) предприятия, чаще всего имеют дискретный характер. Поэтому проблемы управления ПЭД представим в виде оптимизационных задач.

Требуется определить

$$f(x, y) \rightarrow \text{extr}$$

при ограничениях

$$A \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = b, \quad g(x, y) \leq 0,$$

$$x \in R^{n_1}, \quad y \in I^{n_2}, \quad n = n_1 + n_2, \quad (1)$$

где  $A \in R^{m_1 \times n}$ ;  $b \in R^{m_1}$ ;  $g(x, y) \in R^{m_2}$ ;  $f(x, y)$  и  $g(x, y)$  – нелинейные (чаще всего выпуклые) функции относительно задачи, релаксированной по отношению к задаче (1), для которой  $x \in R^{n_1}, y \in R^{n_2}, n = n_1 + n_2$ .

Применение экономико-математических моделей (ЭММ) вида (1) определяется стандартом ERP, в соответствии с которым выделим ряд задач управления ПЭД на уровне предприятий и приведём экспертные оценки наиболее вероятных размерностей и эффективности применения.

Под эффективностью применения ЭММ понимается улучшение показателя эффективности процесса относительно его значения до внедрения ЭММ.

Класс модели определяется наличием в составе ограничений и критериев линейных (лф) и выпуклых (вф) функций.

Для различных предприятий в зависимости от специфики производства актуально применение моделей любых названных групп. Однако практически независимо от той же специфики особую значимость для российских предприятий имеют модели логистики. Если для стран с отлаженными связями и компактной инфраструктурой затраты, связанные с логистикой, составляют в среднем от 40 до 45 % всех совокупных затрат, то в Российской Федерации они, по некоторым оценкам, превышают 55 %, а для торговых предприятий могут достигать 95 %.

### Характеристики задач управления ПЭД

Наименование управляемого процесса (проблема управления)	Назначение ЭММ	Оценка средней эффективности применения, %	Класс модели	Средняя порядковая оценка числа непрерывных переменных	Средняя порядковая оценка числа целочисленных переменных
Снабжение, сбыт, управление запасами	Модели логистики	30–40	лф, вф	$10^4$	$10^2$
	Модели прогнозирования и управления спросом	10–15	вф	$10^2$	$10^2$
Проектирование изделий, технологическая подготовка производства	Модели оптимального проектирования	20–30	лф, вф	$10^2$	$10^5$
Производство	Модели объёмно-календарного планирования	30–40	лф, вф	$10^4$	$10^5$
	Модели календарного планирования	10–15	лф	$10^4$	$10^5$

В качестве примера применения ЭММ для решения задач управления ПЭД рассмотрим две задачи логистики. Данное направление характеризуется высокой эффективностью применения ЭММ и низкой оценкой сложности используемых моделей (см. таблицу). Обе задачи вытекают из повседневных практических нужд большинства хозяйствующих субъектов, вследствие чего их эффективное решение имеет большую актуальность и практическую значимость.

При решении подобного рода задач обычно предлагается выбирать поставщиков, потребителей и качество обслуживания балльным оцениванием, а также последовательно решать задачи логистики (транспортной, финансовой, складской). В общем случае невозможно эффективно решить рассматриваемые ниже задачи, используя классические модели для определения планов перевозок (транспортная задача), выбора поставщиков (задача о назначениях), оптимального управления уровнем запасов (по Уилсону) и т. д.

Под структурной сложностью ЭММ будем понимать отношение количества нелинейных ограничений  $g(x, y) \leq 0$  к их общему числу в совокупности с отношением целочисленных переменных  $y \in I^{n_2}$  к общему числу переменных. Кроме этого, в понятие структурной сложности необходимо включить процент ненулевых коэф-

фициентов в матрице ограничений с учётом матриц Гессе и Якоби. Более детально оценивает ЭММ портрет матриц ограничений. Однако такая оценка может быть применена только для конкретных задач и в данном случае она чрезмерна. Нет смысла определять и совокупную или интегральную оценку сложности в виде некоторой скалярной свёртки. Целесообразно учитывать весь набор перечисленных характеристик. Наконец, наиболее существенными характеристиками сложности являются размерности задачи, т. е. определённые в таблице порядковые оценки числа непрерывных и дискретных переменных, а также порядковые оценки числа линейных и нелинейных ограничений.

**Многопродуктовая динамическая модель управления поставками и сбытом продукции.** Объектом управления является предприятие, в качестве основной деятельности которого рассматривается оптово-розничная торговля. Собственное производство также может иметь место, однако производственные подразделения являются подчиненными по отношению к сбытовым. Управляющие воздействия: выбор поставщиков товаров, определение объёмов закупок по всему ассортиментному списку, транспортирование, хранение и сбыт.

Учитываемые особенности ПЭД: высокая цена единицы продукта по всему ассортименту (примером могут служить электронные микросхемы, семена растений, ювелирные изделия), данное условие существенно не влияет на структуру формальной модели; относительно небольшие объёмы поставок в натуральном выражении; собственное производство учитывается в общей схеме как внутренние поставки. Транспортные издержки можно считать несущественными. От отдалённости поставщиков зависит только время доставки груза, которое компенсируется необходимым уровнем запасов на складе. Существенными можно считать условия поставок, характеризующиеся наличием оптовых скидок, зависимость которых от объёмов поставок в стоимостном выражении изображена на рис. 1.

Здесь и далее волнистыми пунктирными линиями показаны разрывы графиков.

График зависимостей цен у поставщиков от объёмов продаж представлен на рис. 2.

Важнейшим фактором модели является спрос. В худшем случае необходимо иметь среднюю оценку прогноза спроса, в лучшем – предполагается наличие прогноза функции спроса по всему ассортиментному списку. Функция спроса по каждой ассортиментной позиции может выглядеть так, как представлено на рис. 3.

Еще одна особенность – наличие нескольких групп потребителей (оптовые, розничные покупатели, льготники, обладатели дисконтных карт).

С учётом перечисленных обстоятельств задачу управления можно сформулировать следующим образом. Необходимо обеспечить стратегию закупок (выбор поставщиков, объём поставок с учётом скидок), а также ценовую политику продаж по группам потребителей, которые максимизируют критериальный показатель (чистый доход или размер оборотных средств на конец планового периода) с учётом ограничений на оборотные средства на начало периода и вместимости склада. Под термином «стратегия закупок» понимается совокупность планируемых объёмов закупок товаров по всему ассортименту, выбираемым ценам и скидкам от всех потенциальных поставщиков, определяемая для каждого выделяемого временного интервала планового периода. Под термином «стратегия продаж» будем понимать совокупность планируемых объёмов продаж товаров по всему ассортименту для всех групп потребителей, определяемую на основе спроса для каждого выделяемого временного интервала планового периода.

Ограничениями задачи являются логические условия, учитывающие возможные скидки при закупках и продаже товаров, а также спрос, вме-

стимость склада и финансовые возможности фирмы в динамике.

Используем следующие обозначения:  $t$  – номер временного интервала, с дискретностью до которого определено модельное время (далее – месяца);  $j$  – номер поставщика ( $j = \overline{1, J}$ ),  $i$  – номер продукта в ассортименте поставок ( $i = \overline{1, I}$ ),  $l$  – индекс типа потребителя ( $l = \overline{1, L}$ ),  $k$  – номер интервала шкал объёмов скидок ( $k = \overline{1, K}$ ) и спроса ( $k = \overline{1, K'}$ );  $y_{ij}(t)$  – объём закупок в натуральном выражении продукта  $i$  у поставщика  $j$  в месяце  $t$ ;  $O_i(t)$  – остаток на складе продукта  $i$  в начале месяца  $t$ ;  $C_{ij}(t)$  – базовая оптовая цена продукта  $i$  у поставщика  $j$  в месяце  $t$ ;  $d_j(t)$  – объём закупок в стоимостном выражении у поставщика  $j$  в месяце  $t$  по базовой цене (без учёта скидок);  $h_{jk}(t)$  – значение правой границы интервала  $k$  шкалы объёмов скидок у поставщика  $j$  в месяце  $t$ ;  $g_{jk}(t)$  – скидка у поставщика  $j$  в месяце  $t$  на интервале  $k$  соответствующей шкалы (в процентах);  $w_{jk}(t)$  – индикатор попадания объёма закупок в интервал  $k$  шкалы скидок у поставщика  $j$  в месяце  $t$ ;  $x_{ilk}(t)$  – объём продаж в натуральном выражении продукта  $i$  потребителю типа  $l$  в месяце  $t$  на интервале  $k$  шкалы функции спроса;  $p_{ilk}(t)$  – цена продажи единицы продукта  $i$  для потребителя типа  $l$  в месяце  $t$  на интервале  $k$  функции спроса;  $Q(t)$  – размер оборотного капитала в месяце  $t$ ;  $N(t)$  – заработная плата и накладные расходы в месяце  $t$ ;  $s_{ilk}(t)$  – значение правой границы интервала  $k$  шкалы функции спроса на товар  $i$  у потребителя типа  $l$  в месяце  $t$ .

ЭММ оптимального управления поставками и сбытом неоднородной продукции предприятия будет выглядеть следующим образом:

$$\sum_{i=1}^I C_{ij}(t) y_{ij}(t) = d_j(t), \quad j = \overline{1, J}, \quad t = \overline{1, T}; \quad (2)$$

$$d_j(t) - h_{jk}(t) w_{jk}(t) \geq 0, \quad j = \overline{1, J}, \quad t = \overline{1, T}; \quad (3)$$

$$0 \leq w_{jk}(t) \leq 1; \quad w_{jk}(t) - \text{целые}, \quad y_{ij}(t) \geq 0, \\ i = \overline{1, I}, \quad j = \overline{1, J}, \quad t = \overline{1, T}, \quad k = \overline{1, K}; \quad (4)$$

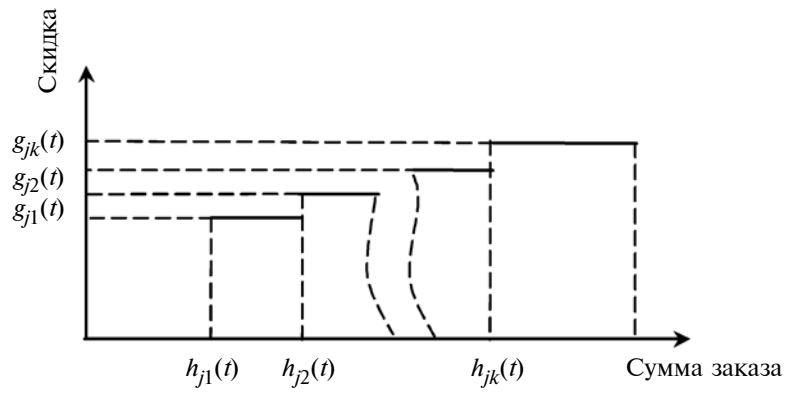


Рис. 1. Условия поставок продукции

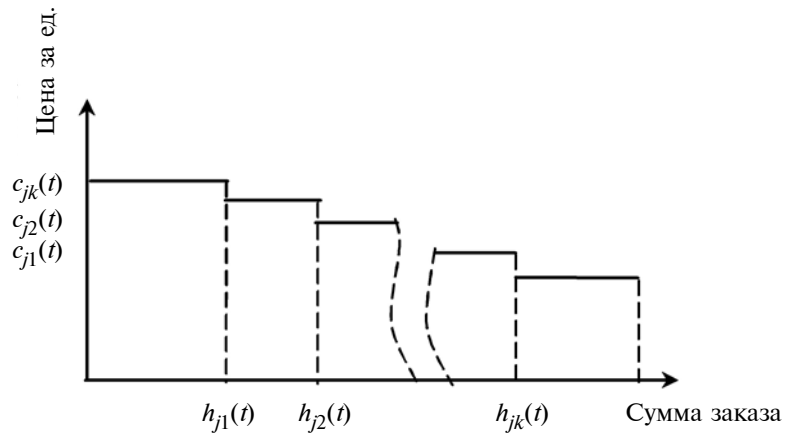


Рис. 2. Зависимость цены от суммы заказа

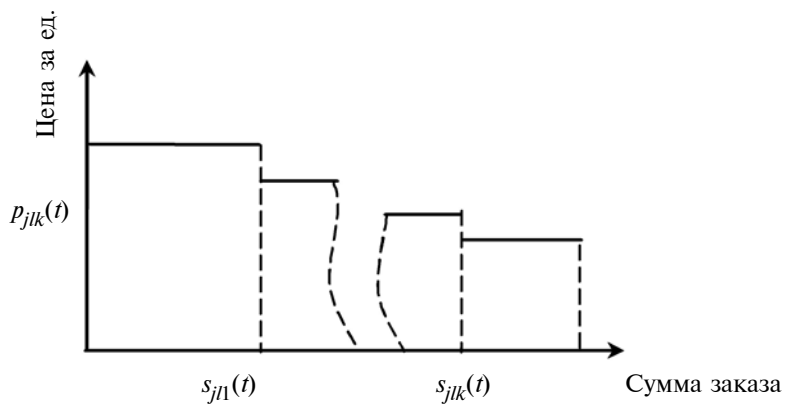


Рис. 3. Условия сбыта продукции

$$\sum_{j=1}^J [d_j(t) - d_j(t) \sum_{k=1}^K g_{jk}(t) w_{jk}(t)] \leq Q(t),$$

$$t = \overline{1, T}, \tag{5}$$

где  $g_{jk}(t) = \begin{cases} g_{j1}(t), & \text{если } d_j(t) \leq h_{j1}(t), \\ g_{j2}(t), & \text{если } h_{j1}(t) < d_j(t) \leq h_{j2}(t), \\ j = \overline{1, J}, t = \overline{1, T}, \\ \dots \\ g_{jK}(t), & \text{если } d_j(t) > h_{jK}(t), \end{cases}$

$$x_{il1}(t) \leq s_{il1}(t), \quad i = \overline{1, I}, l = \overline{1, L}, t = \overline{1, T}; \tag{6}$$

$$x_{ilk}(t) \leq s_{ilk}(t) - \sum_{k'=1}^{k-1} x_{ilk'}(t), \quad i = \overline{1, I}, l = \overline{1, L},$$

$$k = \overline{1, K}, t = \overline{1, T}; \tag{7}$$

$$\sum_{j=1}^J y_{ij}(t) + O_i(t-1) \geq \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K x_{ilk}(t),$$

$$i = \overline{1, I}, t = \overline{1, T}; \tag{8}$$

$$O_i(t) = \sum_{j=1}^J y_{ij}(t) + O_i(t-1) - \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K x_{ilk}(t),$$

$$i = \overline{1, I}, t = \overline{1, T}; \tag{9}$$

$$Q(t+1) = \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K p_{ilk}(t) x_{ilk}(t) - N(t) -$$

$$- \sum_{j=1}^J [d_j(t) - d_j(t) \sum_{k=1}^K g_{jk}(t) w_{jk}(t)], \quad t = \overline{1, T}; \tag{10}$$

$$\sum_{t=2}^T \alpha(t) Q(t) \rightarrow \max$$

при условиях  $0 \leq \alpha(t) \leq 1, \sum_{t=2}^T \alpha(t) = 1; \tag{11}$

$$Q(T) \rightarrow \max. \tag{12}$$

С помощью выражений (2) заданы объёмы закупок в стоимостном выражении без учёта скидок в месяце  $t$  у поставщика  $j$ ; выражений (3) и (4) – логические ограничения на наличие скидок и их размеры; (5) – ограничения на объёмы закупок в стоимостном выражении с учётом скидок в месяце  $t$  по всем поставщикам; (6) и (7) – ограничения по спросу на каждый товар для всех типов потребителей в месяце  $t$ . Выражения (8) являются логическими ограничениями: суммарные объёмы закупок и остатков на складе по каждой ассортиментной позиции в каждом месяце не должны быть меньше, чем соответствующие объёмы продаж. Выражения (9) задают динамику остатков на складе по всему ассортименту; (10) – динамику чистого дохода; (11) – критериальный показатель эффективности, имеющий смысл средневзвешенного по времени чистого дохода; (12) – частный случай – значение чистого дохода на конец планового периода.

*Оценка сложности модели.* Пусть  $a_{ij} \in A, \forall i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}$  – элемент конечного множества  $A$ . Обозначим через  $M(a_{ij}) = I \times J$  количество элементов множества  $A$ , через  $M_{\text{непр}}$  – количество непрерывных переменных,  $M_{\text{цел}}$  – количество целочисленных переменных,  $M_{\text{огр}}$  – количество ограничений модели.

Рассмотрим типичный пример применения модели (2) – (12) с параметрами:

$I = 2000$  – ассортимент товаров,  $J = 10$  – число потенциальных поставщиков,  $T = 3$  – плановый период,  $K = 3$  – число интервалов шкалы объёмов скидок,  $L = 2$  – число типов потребителей.

Тогда без учёта ограничений на непрерывные переменные

$$M(y_{ij}(t)) = 60\,000; \quad M(x_{ilk}(t)) = 36\,000;$$

$$M(w_{jk}(t)) = 90;$$

$$M_{\text{непр}} = M(y_{ij}(t)) + M(x_{ilk}(t)) = 96\,000;$$

$$M_{\text{цел}} = M(w_{jk}(t)) = 90;$$

$$M_{\text{огр}} = 10 \cdot 3 + 10 \cdot 3 + 10 \cdot 3 \cdot 2 + 3 + 2000 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3 +$$

$$+ 2 \cdot 2000 \cdot 3 + 3 = 48\,126,$$

где  $M(y_{ij}(t))$  – максимально возможная оценка. При отсутствии полного пересечения по ассортименту у поставщиков она уменьшится.



Таким образом, отсюда следует порядковая оценка сложности задачи управления: непрерывных переменных  $10^4$  и целочисленных переменных  $10^2$ . Кроме того, модель содержит нелинейные ограничения (5), (10) и нелинейные целевые функции (11) и (12).

Представленная модель охватывает несколько подобластей логистики. Главными являются закупочная и сбытовая составляющие, присутствуют складская и финансовая компоненты. Транспортная логистика в явном виде не присутствует, учитываются только временные задержки, связанные с поставками. Такой подход оправдан, если транспортные затраты незначительны по сравнению с затратами на закупку.

**Модель управления поставками сырья.** Объектом управления является подразделение промышленного предприятия, основная деятельность которого — организация эффективного снабжения основных производственных подразделений. Таким образом, выделяется локальная подсистема по отношению к общей системе управления ПЭД предприятия. Основные операции рассматриваемых бизнес-процессов: выбор поставщиков товаров, определение объёмов закупок и расписания поставок по всему ассортиментному списку, обусловливаемых потребностями производства, транспортирование и хранение запасов.

Учитываемые особенности ПЭД: относительно низкие цены за единицу покупаемого сырья каждого вида; большие объёмы поставок и наличие нескольких поставщиков в различных регионах. В связи с этим существенными факторами являются: транспортная схема, условия доставки и хранения сырья. Оптовые скидки не учитываются, так как при больших объёмах поставок сырьё закупается по самым низким ценам для каждого из поставщиков.

**Транспортная схема.** Существует набор поставщиков сырья и комплектующих, которые находятся в разных регионах. Грузы могут доставляться по железной дороге и автотранспортом. Возможны различные варианты автомобильных и железнодорожных перевозок (вагонами, контейнерами различной вместимости и грузоподъёмности). Условия транспортирования и оплаты грузов для разных поставщиков различаются. Цены материалов и комплектующих одинакового качества у разных поставщиков также различны.

**Условия хранения.** Полагаем, что все грузы поступают на склад, вместимость которого в общем случае может меняться из месяца в месяц или не является лимитирующим ограничением. Кроме того, чтобы избежать сверхнормативных запасов, введём понятие штрафа за хранение, начисляемого один

раз в конце каждого месяца. Размер штрафа может превышать величину складских издержек.

Кроме параметров, относящихся к перечисленным выше условиям (тарифы, таможенные платежи, нормативы затрат на хранение и др.), в качестве входной информации используется план производства (с разбивкой по месяцам) и нормы расхода материалов и комплектующих на единицу готового изделия каждого вида. Ограничения по финансам учитываются косвенно через план производства. Кроме того, будем полагать известными все производственные издержки по месяцам, включая заработную плату.

На основе перечисленных исходных данных можно сформулировать задачу управления транспортированием и хранением запасов сырьевых ресурсов в виде целей и ограничивающих условий.

Основной целью решения рассматриваемой задачи можно считать минимизацию суммарных издержек на транспортирование, хранение материалов и комплектующих для обеспечения выполнения плана производства готовых изделий. Подчинёнными целями являются выбор поставщиков, определение объёмов перевозок материалов и комплектующих каждого вида, объёмов их хранения в каждом месяце, а также выбор способов транспортирования от каждого из выбранных поставщиков.

В дополнение можно поставить цель максимизировать уровень качества сырья и комплектующих.

Ограничивающими являются условия, определяемые транспортной схемой, условия хранения и производства.

Используем обозначения:  $t$  — номер месяца в плановом периоде  $T$ ;  $l$  — индекс вида транспортного средства,  $l \in L$ ;  $i$  — индекс поставщика,  $i \in I$ ;  $j$  — индекс используемых материалов,  $j \in J$ ;  $x_{ij}(t)$  — объём поставок  $j$ -го материала от  $i$ -го поставщика в месяце  $t$ ;  $c_{ij}$  — отпускная цена  $j$ -го материала у  $i$ -го поставщика;  $q_{ij}$  — оценка качества  $i$ -го материала у  $i$ -го поставщика;  $s_{il}$  — цена за единицу транспорта  $l$ -го вида при перевозке груза от  $i$ -го поставщика;  $y_{il}(t)$  — количество единиц транспортных средств  $l$ -го вида, используемых для вывоза материалов в  $t$ -м месяце от  $i$ -го поставщика;  $e_{ij}$  — вместимость единицы транспортного средства  $l$ -го вида при перевозке  $j$ -го материала;  $P_j(t)$  — потребность в  $j$ -м материале в месяце  $t$  (определяется на основе производственной программы);  $a_j$  — норматив затрат складских помещений на единицу  $j$ -го материала;  $E(t)$  — вместимость складских помещений в месяце  $t$ ;  $O_j(t)$  — остаток  $j$ -го материала на складе в месяце  $t$ ;  $R_j(t)$  — страховой резерв материала  $j$  в месяце  $t$ ;  $d(t)$  — цена единицы готового изделия в месяце  $t$ ;  $h(t)$  — коэффициент, учитывающий размер штрафа за хранение запаса

сов материалов в месяце  $t$ ;  $N(t)$  – заработная плата и другие издержки подсистемы логистики в месяце  $t$ .

Задачу оптимального управления поставками можно записать в следующем виде:

$$O_j(t-1) + \sum_{i \in I} x_{ij}(t) \geq P_j(t) + R_j(t),$$

$$t = \overline{1, T}, j \in J; \quad (13)$$

$$O_j(t-1) + \sum_{i \in I} x_{ij}(t) - P_j(t) - R_j(t) = O_j(t),$$

$$t = \overline{1, T}, j \in J; \quad (14)$$

$$O_j(t) \geq R_j(t), t = \overline{1, T}, j \in J; \quad (15)$$

$$\sum_{j \in J} a_j O_j(t-1) + \sum_{j \in J} a_j \sum_{i \in I} x_{ij}(t) \leq E(t),$$

$$t = \overline{1, T}; \quad (16)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij}(t) = \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} y_{il}(t) e_{ij}, t = \overline{1, T}, i \in I; \quad (17)$$

$$x_{ij}(t) \geq 0, t = \overline{1, T}, i \in I, j \in J; \quad (18)$$

$$y_{il}(t) \geq 0, \text{ целые}, t = \overline{1, T}, i \in I, l \in L; \quad (19)$$

$$Z = \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij}(t) + \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} s_{il} y_{il}(t) + d(t)h(t) \sum_{j \in J} O_j(t) + N(t) \right\} \rightarrow \min; \quad (20)$$

$$Q = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} q_{ij} x_{ij}(t) \rightarrow \max. \quad (21)$$

Ограничения (13) задают логические условия превышения остатков запасов на складе и суммарного объёма доставляемых от всех поставщиков материалов каждого вида для всех временных интервалов планового периода над потребностью и страховыми запасами. Ограничения (14) опре-

деляют остатки на складе в текущем временном интервале (месяце  $t$ ) на основе ограничений (13). Выражение (15) задаёт уровни страховых запасов на складе в каждом месяце для каждого вида запасов, выражение (16) – ограничения на вместимость склада в каждом месяце, а выражение (17) определяет логические условия эквивалентности объёма перевозок всех грузов от каждого иногороднего поставщика в каждом месяце и количества грузов, перевозимых от этих поставщиков всеми видами транспорта при условии его полной загрузки.

Критерием эффективности является минимум затрат на приобретение, транспортирование и хранение материалов в течение всего планового периода (20). Дополнительно можно использовать выражение (21), оценивающее уровень качества приобретаемого сырья.

*Оценка сложности модели.* Пусть  $I = 10$  – число потенциальных поставщиков;  $J = 5$  – число наименований закупаемого сырья;  $T = 6$  – плановый период из 6 месяцев;  $L = 5$  – число видов транспортных средств. Тогда, используя введённые выше обозначения, без учёта ограничений на переменные получаем

$$M(y_{il}(t)) = 300; M(x_{ij}(t)) = 300;$$

$$M_{\text{непр}} = M(x_{ij}(t)) = 300; M_{\text{цел}} = M(y_{il}(t)) = 300;$$

$$M_{\text{огр}} = 3(5 \cdot 6) + 6 + 10 \cdot 6 = 156.$$

Отсюда следует порядковая оценка сложности задачи управления: непрерывных переменных  $10^2$  и целочисленных переменных  $10^2$ .

Задача (13) – (21), как и задача (2) – (12) опирается на несколько подобластей логистики. Однако в задаче (13) – (21) главные роли отведены закупочной и транспортной составляющим. Как и в модели (2) – (12), присутствуют складская и финансовая компоненты. Наконец, формальная модель (13) – (21) в явном виде учитывает производственную составляющую ПЭД предприятия только через данные о спросе на различные виды сырья.

**Некоторые предварительные оценки.** Несмотря на кажущуюся локальность представленных ЭММ, можно их расширить и распространить в общем случае на все возможные варианты и условия, объединяемые общим понятием логистики. Однако с учётом реальных размерностей могут возникнуть задачи, например вида (1), чрезвычайной вычислительной сложности.

Сравнение оценок сложности и содержательный анализ обоих приведённых выше примеров динамических моделей позволяют сделать предварительные выводы. Формально обе модели принадлежат к одному классу моделей логистики, но имеют больше различий, чем сходства. Во-первых, различны уровни охвата и детализации моделируемых бизнес-процессов. Так, первая модель описывает основной процесс функционирования рассматриваемого объекта. Вторая имеет вспомогательный характер, моделируя одну из подсистем исследуемого объекта, вследствие чего критерием эффективности является минимум затрат, а входными параметрами модели – стратегия функционирования всей системы в целом. Во-вторых, различны оценки сложности моделей. Формально первая модель, задача (2) – (12), относится к классу нелинейных частично целочисленных моделей. Учитывая размерность, можно сделать предварительный вывод о её неразрешимости, по крайней мере, в рамках точных алгоритмов оптимизации. Вторая модель (13) – (21) является задачей линейного частично целочисленного программирования. Учитывая фактическую размерность и класс модели, приходим к выводу о её разрешимости за приемлемое время в рамках точных алгоритмов оптимизации.

Описание других задач управления, перечисленных в таблице, а также оценки их сложности можно найти в работах [1–4].

**Приближённый алгоритм решения задачи оптимального управления поставками и сбытом продукции.** Как отмечалось выше, без учёта специфики условий задача (2) – (12) при заданных параметрах вычислительной сложности является формально неразрешимой точными методами. Для разрешения данной проблемы построим алгоритм, максимально учитывающий эту специфику. Заметим, что все функции скидок  $g_{jk}(t)$  являются неубывающими, а все функции оптовых цен и спроса – невозрастающими. С учётом этих обстоятельств предложим следующий алгоритм поиска оптимального решения задачи (2) – (12).

*Предварительный шаг.* Определим релаксированную задачу к (2) – (12) следующим образом. Выберем любые  $\tilde{g}_j(t) \in \{g_{jk}(t)\}; j = \overline{1, J}; t = \overline{1, T}$  и на основе задачи (2) – (12) образуем линейную подзадачу:

$$\sum_{i=1}^I C_{ij}(t)y_{ij}(t) = d_j(t), \quad j = \overline{1, J}, \quad t = \overline{1, T};$$

$$\sum_{j=1}^J [d_j(t) - d_j(t)\tilde{g}_j(t)] \leq Q(t), \quad t = \overline{1, T} \quad \text{или}$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I C_{ij}(t)y_{ij}(t)[1 - \tilde{g}_j(t)] \leq Q(t), \quad t = \overline{1, T}; \quad (22)$$

$$y_{ij}(t) \geq 0, \quad i = \overline{1, I}, \quad j = \overline{1, J}, \quad t = \overline{1, T}; \quad (23)$$

$$x_{il}(t) \leq s_{il}(t), \quad i = \overline{1, I}, \quad l = \overline{1, L}, \quad t = \overline{1, T}; \quad (24)$$

$$x_{ilk}(t) \leq s_{ilk}(t) - \sum_{k'=1}^{k-1} x_{ilk'}(t), \quad i = \overline{1, I}, \quad l = \overline{1, L},$$

$$k = \overline{1, K}, \quad t = \overline{1, T}; \quad (25)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{ij}(t) + O_i(t-1) \geq \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K x_{ilk}(t), \quad i = \overline{1, I},$$

$$t = \overline{1, T}; \quad (26)$$

$$O_i(t) = \sum_{j=1}^J y_{ij}(t) + O_i(t-1) - \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K x_{ilk}(t),$$

$$i = \overline{1, I}, \quad t = \overline{1, T}; \quad (27)$$

$$Q(t+1) = \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K p_{ilk}(t)x_{ilk}(t) - N(t) -$$

$$- \sum_{i=1}^I C_{ij}(t)y_{ij}(t)[1 - \tilde{g}_j(t)], \quad t = \overline{1, T}; \quad (28)$$

$$z = \sum_{t=2}^T \alpha(t)Q(t) \rightarrow \max, \quad \text{при условиях}$$

$$0 \leq \alpha(t) \leq 1; \quad \sum_{t=2}^T \alpha(t) = 1 \quad \text{или} \quad Q(T) \rightarrow \max. \quad (29)$$

*Шаг первый.* Положим  $\tilde{g}_j(t) = \max_k \{g_{jk}(t)\} = g_{jk}(t), j = \overline{1, J}, t = \overline{1, T}$  и составим релаксированную подзадачу (22) – (29). Её решение обозначим  $Y^0, X^0, z^0$ .  $Y^0 = \|y_{ij}^0(t)\|, X^0 = \|x_{ilk}^0(t)\|, z^0 = z(X^0, Y^0)$ . Определим матричное тождество  $\|\tilde{g}_j(t)\| = G^0$ .

*Шаг n.* На основе решения, полученного на предшествующем шаге,  $Y^{n-1}, X^{n-1}, z^{n-1}$  при  $G^{n-1}$ , определяем новые значения  $\|\tilde{g}_j(t)\|$ :

$$\tilde{g}_j(t) = \begin{cases} g_j^{n-1}(t), & \text{если } y_{ij}^{n-1}(t) = 0, \\ g_{jk}^+(t), & \text{если } y_{ij}^{n-1}(t) > 0, \end{cases}$$

$$\text{где } g_{jk}^+(t) = \begin{cases} g_{j1}(t), & \text{если } d_j(t) \leq h_{j1}(t), \\ g_{j2}(t), & \text{если } h_{j1}(t) < d_j(t) \leq h_{j2}(t), \\ \dots & \\ g_{jk}(t), & \text{если } d_j(t) > h_{jk}(t), \end{cases}$$

$$d_j(t) = \sum_{i=1}^I C_{ij}(t) y_{ij}^{n-1}(t), \quad j = \overline{1, J}, \quad t = \overline{1, T}.$$

Используя барьерный алгоритм [5], решаем задачу (22) – (29), определяем новые значения  $Y^n, X^n, z^n$  и проверяем их на оптимальность. Если  $|z^n - z^{n-1}| \leq \varepsilon$  ( $\varepsilon$  – некоторое малое число, задающее точность вычислений), то на текущем шаге получено оптимальное решение задачи (2) – (12). Если условие не выполняется, то переходим к следующему шагу ( $n+1$ ), определяя новые значения  $\|\tilde{g}_j(t)\|$  на основе  $Y^n$ .

Вполне очевидно, что алгоритм сходится за конечное число шагов, которое не может быть больше величины  $J \times K \times T$ . Это определяется спецификой неубывающих функций скидков  $g_{jk}(t)$ . Для нашего примера  $J \times K \times T = 90$ . Статистическая же оценка числа шагов для этого примера при варьировании исходных данных равна 5.

Таким образом, предложенный алгоритм переводит задачу (2) – (12) в разряд полиномиально разрешимых относительно размерности. При его использовании задача (2) – (12) попадает в другой класс (линейных) моделей с порядковым числом непрерывных переменных  $10^4$  и полным отсутствием целочисленных переменных.

**Характеристики применяемых численных методов оптимизации.** Из всего многообразия численных методов решения линейных задач оптимизации (22) – (29) выделяются две группы алгоритмов, практическое применение которых выявило их наибольшую эффективность в сравнении с остальными. Группа координатных алгоритмов основана на идеях симплекс-метода, давно используется для решения задач как линейных, так и нелинейных [6] и целочисленных задач оптимизации. Вторая группа алгоритмов основана на идеях методов штрафных и барьерных функций [5, 7] и интенсивно развивается последние двадцать лет. В литературе они часто именуются методами внутренних точек.

Доказана их полиномиальная от размерности сходимость при решении непрерывных линейных и выпуклых задач оптимизации. На рис. 4 приведены зависимости средних статистических оценок скорости сходимости к оптимальному решению линейных задач оптимизации от размерности [5]. Шкала размерности задач линейного программирования (ЛП) является логарифмической. Пунктирной линией обозначена зависимость среднего времени решения задач ЛП с помощью прямо-двойственного алгоритма симплекс-мето-

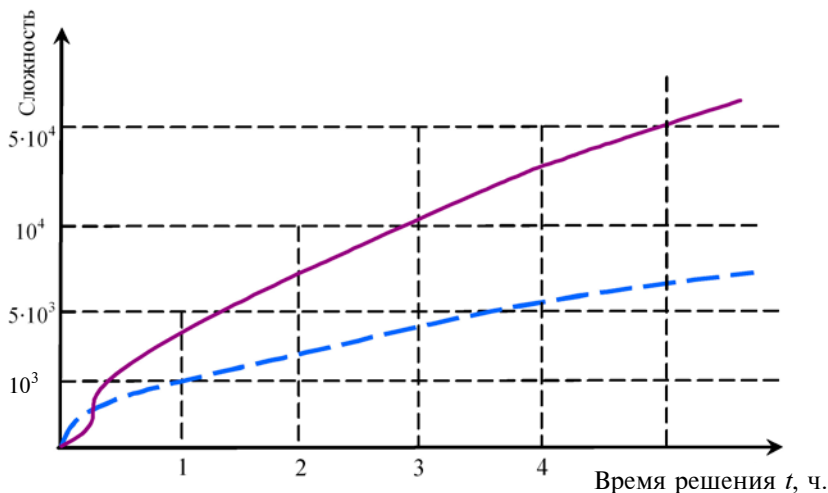


Рис. 4. Оценка быстродействия численных методов решения задач ЛП

да от размерности [6]. Сплошной линией изображена та же зависимость, полученная при решении тех же задач с помощью барьерного прямо-двойственного алгоритма следования центральному пути в недопустимой области [5, 7].

**Заключение.** Представленные ЭММ апробированы на реальных объектах. Экспериментально доказана их высокая эффективность. Применение и анализ алгоритма приближённого решения задачи (2) – (12) экспериментально подтвердили его хорошую сходимость к точному решению. Таким образом, основными результатами исследования явились:

комплексные динамические модели оптимального управления подсистемами логистики на предприятиях, созданные в рамках единого подхода и взаимно дополняющие друг друга;

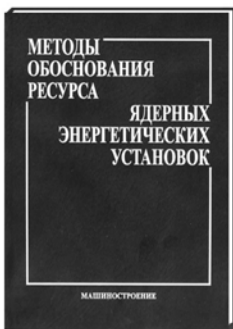
полиномиально разрешимый алгоритм приближённого решения задачи оптимального управления поставками и сбытом неоднородной продукции на предприятии, применимый для задач реальной размерности.

### Список литературы

1. **Мезенцев Ю.А.** Алгоритмы синтеза расписаний многостадийных обслуживающих систем в календарном планировании. *Омский научный вестник*. 2006. № 3(36).
2. **Мезенцев Ю.А.** Декомпозиционный метод решения одного класса задач оптимального проектирования. *Научный вестник НГТУ*. 2006. № 3(24).
3. **Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струевич В.А.** Теория расписаний. Многостадийные системы. М.: Наука, 1989.
4. **Первозванский А.А.** Математические модели в управлении производством. М.: Наука, 1975.
5. **Мезенцев Ю.А.** Практические аспекты эффективности алгоритма следования центральному пути метода внутренних точек. *Научный вестник НГТУ*. 2006. № 4(25).
6. **Муртаф Б.** Современное линейное программирование. М.: Мир, 1984.
7. **С. Roos, Т. Terlaky, J.-Ph. Vial.** Interior-Point Methods for Linear Optimization. Springer Science. 2005.



## ИЗДАТЕЛЬСТВО “МАШИНОСТРОЕНИЕ” представляет



### Методы обоснования ресурса ядерных энергетических установок /

*Митенков Ф.М., Кайдалов В.Б., Коротких Ю.Г. и др.;*

под общ. ред. Ф.М. Митенкова. – М.: Машиностроение, 2007. – 448 с.: ил.

ISBN 978-5-217-03369-0. Цена 363 р. (с НДС)

Рассмотрены теоретические основы, методология и средства контроля выработанного и остаточного ресурсов оборудования и систем эксплуатирующихся корабельных и судовых ядерных энергетических установок (ЯЭУ) с учетом разивающихся деградиационных процессов в условиях нестационарного нагружения. Показаны возможности применения эксплуатационного мониторинга ресурса по условиям прочности для проектируемых транспортных ЯЭУ. Приведены методы математического моделирования процессов деформирования конструкционных материалов, накопления повреждений, зарождения и развития дефектов.

Заявки на книгу направляйте в отдел реализации по факсу: (495) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru; по почте: 107076, Москва, Стромьинский пер., 4, ОАО “Издательство “Машиностроение”.

Справки о наличии книг, выписке счетов и отправке изданий по телефонам: (495) 269-66-00, 269-52-98.



## ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

### «МЕТАЛЛООБРАБОТКА-2008»

В мае 2008 г. в Центральном выставочном комплексе «Экспоцентр» прошла 10-я международная выставка оборудования, приборов и инструмента для металлообрабатывающей промышленности – «Металлообработка-2008», ставшая российским мегапроектом в сфере высоких технологий обработки металла. Выставка проводится с 1984 г. один раз в два года (по чётным годам) и за это время приобрела мировую известность. Её высокий статус подтверждают Знаки Всемирной ассоциации выставочной индустрии (UFI) и Российского Союза выставок и ярмарок (РСВЯ).

Организаторы выставки – ЦВК «Экспоцентр» и Российская Ассоциация производителей станкоинструментальной продукции «Станкоинструмент». В роли её генерального информационного партнёра выступило издательство «ИТО». Выставка проводилась при официальной поддержке Министерства промышленности и торговли РФ, под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ и Правительства Москвы.

Экспозиционная площадь выставки составила около 30 тыс. кв. метров, что на 20 % превысило аналогичный показатель 2006 г. и продемонстрировало не только рост масштабов выставки «Металлообработка», заметное укрупнение экспозиций её участников, но и подъём в самой отрасли. По мнению специалистов, экспозиция «Металлообработка-2008» отразила все наиболее важные мировые тенденции развития отрасли и по своим масштабам и коммерческой результативности вошла в десятку ведущих европейских промышленных смотров.

Российскую часть экспозиции представили около 380 предприятий – лидеров отечественного станко- и машиностроения: ОАО «Ивановский завод тяжелого станкостроения», ОАО «Стерлитамакский станкостроительный завод», ОАО «Рязанский станкостроительный завод», ОАО «Красный пролетарий», ОАО «Саста», ОАО «Савёловский машиностроительный завод», ООО «Дмитровские станки-ДЗФС», ОАО «Московский завод

им. С. Орджоникидзе», Уральская машиностроительная компания «Пумори СИЗ» и др.

В экспозиции «Металлообработка-2008» приняли участие ведущие машиностроительные компании мира – BALLUFF, DMG, EMAG, HURCO, JUNKER, VAN FERROSTAAL, TRUMPF (Германия), COMAU, FAVRETTO MECCANODORA, ROTOMORS (ИТАЛИЯ), ALTA, PRAMET, SKODA, TOSHULIN (ЧЕХИЯ), ALFLETH, BYSTRONIC, GALIKA, REISHAUER (Швейцария), SANDVIK, SECO (ШВЕЦИЯ), AMADA, FANUK, MAZAK (Япония) и др.

На стендах выставки были представлены интеллектуальные станочные системы, высокотехнологичное оборудование нового поколения, передовой металлорежущий инструмент, технологическая оснастка и комплектующие, прогрессивные системы промышленной автоматизации предприятий машиностроительного комплекса, новейшее программное обеспечение и многое другое.

Благодаря высокой технической оснащённости выставочного комплекса представленные в нём энергоёмкие и крупногабаритные экспонаты демонстрировались в режиме реального времени. На сайте выставки «Металлообработка-2008» в режиме on-line работала автоматизированная система назначения деловых встреч MatchMaking, позволявшая задолго до начала выставки ознакомиться со списком зарегистрированных в системе участников, определить своих целевых клиентов, назначить с ними деловые встречи, согласовать условия переговоров и оптимально спланировать время работы на выставке.

Выставка «Металлообработка-2008» дала представление о тенденциях развития металлообрабатывающей отрасли; в её рамках были проведены конференции, семинары и презентации новых технологий в сфере металлообработки.

Учитывая постоянно растущий интерес к выставке «Металлообработка» и заслуженный успех международной выставки «Технофорум», прошедшей в мае 2007 г. в Центральном выставочном комплексе «Экспоцентр», было принято решение об объединении двух выставок в сфере высоких технологий обработки металлов в единый выставочный проект под общим названием «Металлообработка–Технофорум». Начиная с 2009 г. этот мегафорум будет проводиться ежегодно.

В тематических разделах этой выставки будут представлены все направления отрасли, способствующие решению важнейших задач российско-го машиностроительного комплекса.



## ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

**Моделирование высокоскоростной рентгеновской томографической визуализации с использованием метода деформаций.** *Контроль. Диагностика.* 2007. № 12.

В традиционной томографической визуализации промышленных и медицинских объектов значительными проблемами являются требование большого объёма проекционных данных и высокая вычислительная трудоёмкость алгоритмов реконструкции. Показаны возможности новой деформационной технологии, позволяющей реализовать качественную томографическую визуализацию из ограниченных проекционных данных в случае, когда доступно модельное изображение объекта.

Эта технология в настоящее время находит всё более широкое применение в медицинской рентгеновской томографии и весьма перспективна для приложений в области так называемых реверсных инженерных технологий. Описаны основные принципы применения этой техники для промышленной рентгеновской томографии, показаны её основные особенности на примерах виртуальной упругой деформации моделированных входных данных.

**Автоматизированный контроль осаждения тонких плёнок на основе ёмкостного метода.** *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2007. № 12.

Предложены ёмкостный метод контроля толщины покрытий в вакууме и датчик новой конструкции. Описана автоматизированная компьютерная система контроля толщины покрытий, реализованная на основе разработанного ёмкостного датчика и состоящая из указанного датчика, измерителя ёмкости, модуля контроля температуры и персонального компьютера. Разработана программа для персонального компьютера, которая позволяет обрабатывать показания с датчика в режиме реального времени.

**Нанотехнология — путь в будущее или бренд для финансирования?** *Нано- и микросистемная техника.* 2007. № 12.

Проанализированы современные определения нанотехнологии (нанотехнологий), показано, что все они базируются на едином научном основании, а именно — коллоидном (ультрадисперсном) состоянии вещества, открытом в начале

XX в. и изучаемом первоначально коллоидной химией.

Рассмотрены основные типы наночастиц и методы получения коллоидных (ультрадисперсных, наноструктурированных) систем: диспергационные, конденсационные, диспергационно-конденсационные и конденсационно-диспергационные.

Даны рекомендации по комплектам технологического оборудования для получения структур в субнанометровой области и контрольно-измерительного оборудования для исследования таких структур. Показаны основные сферы применения нанотехнологии, перспективы промышленного внедрения и даны рекомендации по стратегии её развития в России.

**Робастное управление линейным динамическим объектом с запаздыванием по состоянию.** *Мехатроника, автоматизация, управление.* 2007. № 12.

Рассмотрен один из возможных подходов к построению робастной системы управления с компенсацией параметрической неопределённости и внешних ограниченных возмущений. Предложена схема формирования сигнала, по которому получается оценка возмущений и формируется сигнал управления, обеспечивающий требуемую динамическую точность.

**Теоретическое обоснование предельных режимов работы ориентирующих устройств.** *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2007. № 12.

Приведено теоретическое обоснование предельных режимов работы стержневого и дискового крючкового ориентирующих устройств, а также ориентирующих устройств ползунового и шибберного типа, при которых будет обеспечена высокая надёжность ориентации деталей при максимальной производительности. Найдено выражение для определения предельной скорости работы устройств в зависимости от физико-механических свойств материала деталей и их массы.

**Анализ результатов процесса проектирования гиперболических фрез.** *Вестник машиностроения.* 2007. № 12.

Дан анализ влияния минимального радиуса производящей поверхности и углов установки гиперболической фрезы относительно головки рельса на конструктивные параметры инструмента и качество формируемого профиля.

**Автоматизация производства сварочных материалов — повышение стабильности качества.** *Сварочное производство.* 2008. № 2.

В ООО «Спецсвязь» разработана система автоматизации и управления технологическими операциями, процессами и производством, основанная на применении современных информацион-

ных технологий, инженерных решений, исполнительных механизмов и средств контроля параметров процесса.

**Автоматизированная система определения пористости и физико-механических свойств материалов деталей перед сборкой.** *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2008. № 1.

Разработана система определения физико-механических свойств материалов по параметрам пористости в зависимости от вида пор в материале контролируемого изделия.

**Синтез и анализ высокоскоростных симметричных криптосистем на основе управляемых операций.** *Информационные технологии.* 2008. № 1.

Описан один из подходов к разработке высокоскоростных симметричных блочных шифров с использованием нового криптографического примитива – управляемых операций. Рассмотрен новый симметричный блочный шифр, обладающий высокими показателями как скорости работы, так и криптографической стойкости к распространённым видам атак. Представлены некоторые способы повышения стойкости шифра к современным видам атак.

**Модель неинформативного преобразования термоЭДС МЭМС-структур тонкоплёночных тензорезисторных датчиков давления при воздействии нестационарных температур.** *Нано- и микросистемная техника.* 2008. № 1.

Предложена модель неинформативного преобразования термоЭДС в выходной сигнал МЭМС-структур тонкоплёночных тензорезисторных датчиков давления при воздействии нестационарных температур. Показана необходимость учёта и компенсации термоЭДС МЭМС-структур при работе тонкоплёночных тензорезисторных датчиков в нестационарном температурном режиме.

**Расчёт и выбор параметров вертикального ленточного конвейера.** *Горное оборудование и электро-механика.* 2008. № 1.

Описаны новая конструкция и принцип действия вертикального ленточного конвейера для транспортирования сыпучих грузов. Показаны преимущества нового конвейера перед существующими и известными конструкциями конвейеров с прижимной лентой. Предложена методика расчёта и выбора основных конструктивных и эксплуатационных параметров вертикального конвейера. Приведены результаты примерного расчёта вертикального ленточного конвейера.

**Алгоритмическое и программное обеспечение системы управления процессом литья с наложением давления.** *Мехатроника, автоматизация, управление.* 2008. № 1.

Рассмотрен сложный объект управления – расплав, кристаллизующийся в условиях наложения

давления. Синтезирован закон управления, гарантирующий формирование требуемого кристаллического строения в слитках диаметром до 100 мм из алюминиевых сплавов. Для коррекции степени переохлаждения расплава разработано необходимое программное обеспечение, в контур управления вводится оператор. Показано, что визуализация процессов теплопередачи и состояния технологического оборудования повышает эффективность управления.

**Ультразвуковая контурная сварка тары из полимерных материалов, наполненной пищевыми продуктами.** *Сварочное производство.* 2008. № 1.

Разработан контурный волновод, позволяющий сваривать изделия большого диаметра (до 108 мм) из различных полимеров толщиной от 0,4 до 1,5 мм. Разработана технология ультразвуковой контурной сварки полиэтиленовых банок большого диаметра, наполненных различными пищевыми продуктами. Обеспечено получение герметичного сварного соединения при сварке по поверхностям, загрязнённым различными агрессивными средами. Разработаны различные формы рабочей поверхности контурных волноводов, а также форма опоры, на которой происходит сварка.

**Модель структуры экрана для повышения защищённости средств электронно-вычислительной техники в условиях деструктивного воздействия электромагнитным импульсом.** *Вестник компьютерных и информационных технологий.* 2008. № 1.

Предложен подход для повышения защищённости средств электронно-вычислительной техники от воздействия электромагнитного импульса, предполагающий применение многослойного экранирования радиопоглощающими полимерными композиционными материалами. Такой подход является инновационной технологией в области обеспечения информационной безопасности для предотвращения электромагнитного терроризма по отношению к телекоммуникационным системам критического использования.

**Микроплазменная резка как современный этап развития термической резки тонколистового металла в заготовительном производстве.** *Заготовительные производства в машиностроении.* 2008. № 1.

Рассмотрены результаты разработки и применения процессов плазменной резки тонколистовых (толщиной до 10 мм) металлов и сплавов применительно к кузовному производству автомобильной промышленности. На основе проведённых исследований разработаны технология и промышленное оборудование. Процесс внедрён в автомобильной и судостроительной промышленности.



**Анализ погрешности подсистемы контроля мгновенной скорости в системе функциональной диагностики и управления магнитоплазменного ускорителя масс.** *Контроль. Диагностика.* 2008. № 1.

Методом вычислительного эксперимента исследован процесс разгона в канале магнитоплазменного электродинамического ускорителя масс с ёмкостным накопителем энергии и предложены пути уменьшения динамической погрешности подсистемы контроля скорости в системе функциональной диагностики и управления ускорителя, основанные на выявленных особенностях закона движения электропроводящей плазмы в канале ускорителя. Предложенные решения позволяют в определённых условиях уменьшить динамическую погрешность измерения мгновенной скорости в системах функциональной диагностики и управления магнитоплазменного ускорителя масс до пренебрежимо малых значений, что особенно актуально для реализации управляемого разгона.

**Нанотрибология: некоторые тенденции развития.** *Трение и смазка в машинах и механизмах.* 2008. № 1.

Дан обзор некоторых исследований в области нанотрибологии – трибологии объектов микро- и наноразмеров. Ускоренное развитие этого направления в последнее десятилетие обусловлено разработками и исследованиями в области микроэлектромеханических и наноэлектромеханических систем, компьютерной техники, медицинской техники и т. д. Основное внимание уделено развитию экспериментальных и теоретических методов в рассматриваемой области.

**Обеспыливание воздуха циклонными аппаратами в пневмотранспортных установках.** *Безопасность жизнедеятельности.* 2008. № 1.

Рассмотрены технические решения, связанные с обеспыливанием воздуха в системах пнев-

мотранспорта с применением циклонных аппаратов. Проанализирована работа пылеуловителей систем пневмотранспорта цемента и гранулированного полиэтилена. Приведены гидродинамические режимы пневмотранспортных систем, а также характеристики дисперсной фазы, влияющие на работу циклонного аппарата. Даны примеры управления потоками, повышающие эффективность обеспыливания воздуха и изменения свойств дисперсной фазы для стабилизации работы циклонов в области высоких эффективностей.

**Информационное сопровождение процессов сборки приборных комплексов.** *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2008. № 1.

Дан обзор возможностей автоматизированной системы управления технологической подготовкой основного производства. Показана актуальность создания и концепция построения автоматизированной системы управления производством, которая специализируется на опытном изготовлении сложных приборных комплексов. Рассмотрены принципы построения и функциональные возможности автоматизированной системы в части информационной поддержки сборки приборных комплексов. Определены задачи и принципы комплексного проведения работ по указанным направлениям.

**Научные и технологические принципы получения механически легированных дисперсно-упрочнённых материалов.** *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2008. № 1.

Показана перспективность применения технологии реакционного механического легирования для получения высокостойких дисперсно-упрочнённых материалов с особыми свойствами на основе металлов. Оптимизированы технологический процесс их получения, состав и свойства.

## ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

Требования к оформлению статей, присылаемых для публикации,  
можно найти на сайте [www.mashin.ru](http://www.mashin.ru)