СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

47

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

MODERN TECHNOLOGIES

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC AKTIVIES

EXHIBITION AND PRESENTATIONS

The Check Point Software Blade architecture for complex flexible and controlled protection 47

SURVEY OF PERIODICALS

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

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

Сдано в набор 30.05.09. Подписано в печать 27.07.09. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Тираж 260 экз. Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 6,85. Заказ 584. Цена свободная

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

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

ООО «Издательство Машиностроение», «Автоматизация и современные технологии», 2009 г.

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 620.1 (675.017)

В.Ф. Абрамов, канд. техн. наук, проф., **А.Г. Бурмистров**, д-р. техн. наук, проф, **А.В. Кочеров**, канд. техн. наук, проф. (Московский государственный университет дизайна и технологии)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЛАКСАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Описана установка, предназначенная для исследования релаксационных свойств вязкоупругих материалов, а также их пакетов путём компьютерного анализа процесса релаксации зажатого по кольцевому контуру образца, что позволяет получать без разрушения материала и с высокой точностью комплекс до пятнадцати показателей упругих, вязких и пластических свойств и спектр времени релаксации материала, контролировать его качество сравнением с эталонным материалом, целенаправленно изменять свойства материалов.

Ключевые слова: вязкоупругие материалы, релаксометр, спектры времени релаксации.

Device for investigation of viscoelastic material relaxation characteristics and their packets by relaxation computer analysis of the specimen clutched on the annular contour are described. This allows receiving without destruction and with high quality up to fifteen indicators of viscous and plastic characteristics and time spectrum of the material relaxation, to control material quality through comparison with reference material, to change purposeful of material characteristics.

Key worlds: viscoelastic material, relaxometer, spectrums of time relaxation.

Материалы, используемые в лёгкой промышленности для изготовления одежды и обуви, существенно отличаются от основных конструкционных материалов, применяемых в машиностроении. Эти отличия выражаются прежде всего в более сложной связи между напряжением и деформацией, зависящей от скорости и времени нагружения.

Основу таких материалов, как кожа, мех, искусственная кожа, ткани, трикотаж, составляют макромолекулы биологических или искусственных полимеров, образующих волокнистую многоуровневую структуру. При нагружении материалов происходит их деформация, развивающаяся не мгновенно, а с запаздыванием, определяемым внутренним трением структурных элементов (явление ползучести). После снятия нагрузки происходит самопроизвольное возвращение макросистемы в равновесное или термодинамически устойчивое состояние (явление релаксации), причём система не приходит в исходное состояние, а проявляет пластичность в виде остаточной деформации.

Таким образом, материалы изделий легкой промышленности проявляют одновременно упругие, вязкие и пластические свойства. Технологические и потребительские свойства материалов (формуемость, формоустойчивость) во многом определяются их релаксационными свойствами, которые не всегда учитываются, так как трудно поддаются оперативному контролю.

Метод оценки деформационных свойств таких материалов, основанный на релаксационной спектрометрии, является самым информативным. Он даёт наиболее ясную интерпретацию связи между структурной подвижностью и релаксационными процессами в материалах. Однако до последнего времени отсутствовали методы экспрессного и автоматизированного получения реологических спектров и всего комплекса показателей вязкоупругих и пластических свойств материалов, применяемых в лёгкой промышленности.

В Московском государственном университете дизайна и технологии (МГУДТ) разработан новый метод оценки деформационных свойств на основе компьютерного анализа процесса релаксации материала – его упругого восстановления после снятия нагрузки[1–3]. Анализ этого процесса позволяет выделить три компонента деформации и рассчитать шесть показателей, наиболее полно описывающих упругие, вязкие и пластические свойства материалов. Эти данные в целом наиболее полно характеризуют деформационное

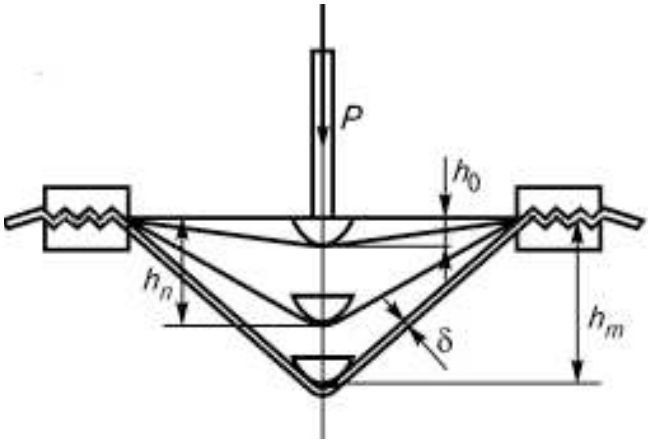


Рис. 1. Схема деформации материала на установке «Relax»:

P – нагрузка на индентор; δ – толщина материала; h_0 – начальное положение индентора; h_m – максимальный ход под нагрузкой; h_n – установившееся положение после разгрузки

поведение материала, отражают подвижность различных элементов его внутренней макро- и микроструктуры.

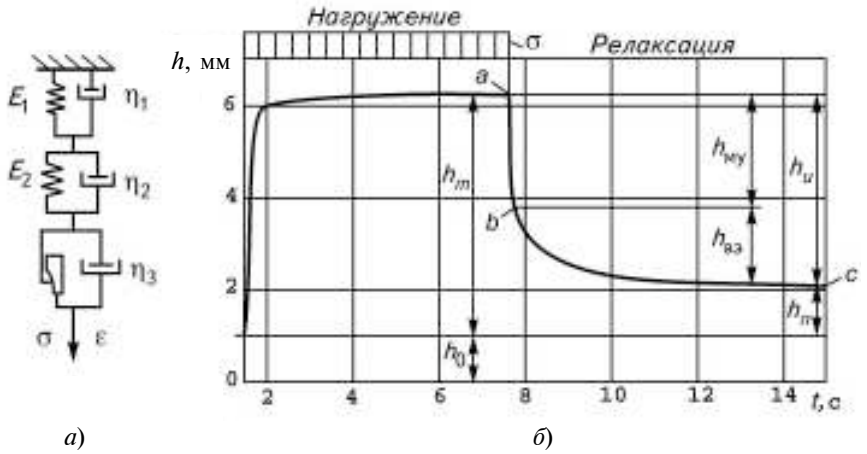
Компьютерная установка «Relax» состоит из персонального компьютера, электромеханического прибора-датчика и электронного блока преобразования сигнала.

Испытываемый материал зажимают по кольцевому контуру и нагружают по центру индентором – лёгким стержнем с наконечником, который может свободно перемещаться в вертикальном направлении (рис. 1). При этом материал подвергается симметричному многоосному растяжению, получая равные деформации по всем образующим конуса. Нагрузка на инденторе будет интегральной от нагрузок по всем направлениям и, следовательно, независимой от ориентации образца относительно прибора. Таким образом, при испытании продавливанием зажатого по кольцевому контуру образца будут получены усреднённые характеристики анизотропного материала независимо от его ориентации.

Деформационная модель кожи и графики её деформации при ступенчатом нагружении показаны на рис. 2. Все три составляющие деформации можно выделить на кривой релаксации после снятия нагрузки, а по ним определить все пять параметров модели. Пятипараметрическая модель весьма точно описывает реальное поведение кожи и подобных материалов при деформировании в определённом диапазоне напряжений и времени нагружения.

Перемещение индентора после мгновенного снятия нагрузки (кривая *abc*) преобразуется в электрический сигнал и в цифровой форме передаётся в компьютер в реальном времени. Далее полученный массив обрабатывается по специальной программе, рассчитывающей основные вязкоупругие и пластические характеристики материала, а также спектр времени релаксации материала, причём без вырезания образцов.

Образец испытываемого материала зажимают между кольцами *1* и *2* прибора (рис. 3). Компьютерная программа фиксирует начальное положение индентора относительно базовой плоскости верхнего кольца для учёта возможного провисания образца. Индентор нагружают грузом массой 1–2 кг и выдерживают образец под нагрузкой в течение 10–30 с с помощью электромагнита, связывающего рычаг и груз с индентором. Затем магнит отключается, нагрузка резко снимается, и на компьютере регистрируется кривая упругого восстановления – релаксации образца в виде файла данных – перемещения индентора во времени $h(t)$.



а) *б*)

Рис. 2. Деформационная модель вязкоупругого материала (*а*) и его реакция на ступенчатое нагружение (*б*)

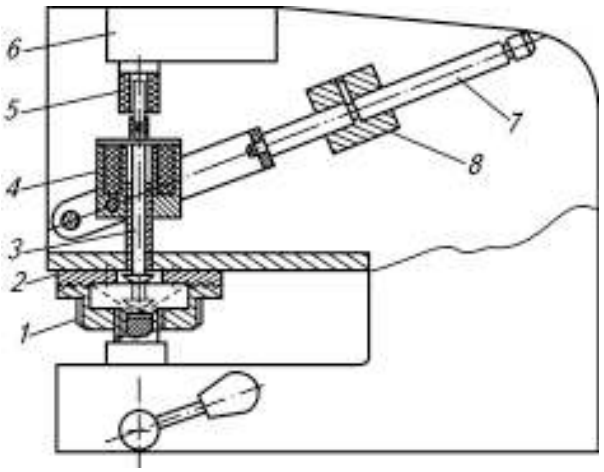


Рис. 3. Схема установки «Relax»:

1 – нижнее зажимное кольцо; *2* – верхнее опорное кольцо; *3* – индентор; *4* – электромагнит; *5* – датчик перемещения; *6* – электронный блок преобразования сигнала; *7* – рычаг нагружения; *8* – груз

По этим данным компьютерная программа фиксирует (см. рис. 1) h_0 – начальное положение индентора с учётом провисания образца, h_m – максимальный ход под нагрузкой, h_n – установившееся положение после разгрузки и рассчитывает соответствующие относительные деформации по формуле

$$\varepsilon = Ah^2,$$

где A – постоянная прибора.

Таким образом получают относительные деформации: ε_o – фиктивную от провисания образца, ε_m – полную, ε_n – пластическую, ε_u – упругую суммарную ($\varepsilon_u = \varepsilon_m - \varepsilon_n$).

Среднее напряжение в образце перед разгрузкой рассчитывают по формуле

$$\sigma = BP/h_m\,\delta,$$

где B – постоянная прибора.

Последующие вычисления требуют двукратного дифференцирования экспериментальной кривой; она должна быть аппроксимирована с максимальной точностью гладкой функцией. Для этого кривую упругого восстановления представляют в виде суммы экспонент (обычно достаточно двух) [4]:

$$h(t) \quad K_1(e^{\frac{1}{T1}}) \quad K_2(e^{\frac{1}{T2}}),\ K_1+K_2=1\ . \qquad (1)$$

По результатам аппроксимации вычисляют постоянные времени T_1 быстрого и T_2 медленного процессов восстановления упругой деформации и коэффициенты K_1 и K_2 экспонент, после чего определяют составляющие упругой деформации: мгновенную упругую $\varepsilon_{му} = K_1\varepsilon_u$, высокоэластическую $\varepsilon_{вэ} = K_2\varepsilon_u$, рассчитывают параметры релаксационной модели (см. рис. 2, *а*): модуль мгновенной упругости $E_1 = \sigma/\varepsilon_{му}$, модуль высокоэластичности $E_2 = \sigma/\varepsilon_{вэ}$, равновесный модуль упругости $E_3 = \sigma/\varepsilon_u$, коэффициенты высокоэластической вязкости $\eta_1 = T_1E_1$ быстрого и $\eta_2 = T_2E_2$ медленного процессов релаксации, коэффициент пластической вязкости $\eta_3 = \Delta t\sigma/\varepsilon_n$, где Δt – время нагружения.

Результаты нескольких испытаний образца материала статистически обрабатываются специальной программой, которая приводит данные к заданному напряжению и составляет протокол испытаний.

Рассматриваемые материалы по своей структуре являются сложными системами, состоящими из ряда подсистем, образованных однотипными кинетическими единицами-релаксаторами. Ввиду структурной неоднородности материала эти единицы находятся в разных условиях, их подвижность не может характеризоваться одним наивероятнейшим временем релаксации, а описывается непрерывным спектром времени.

Спектр времени релаксации вычисляют на основе так называемого второго приближения Шварцля–Стевермена. После двукратного дифференцирования аппроксимирующей кривой (1) рассчитывается функция спектра:

$$L(t) \quad t^2\frac{d^2J(t)}{dt^2},$$

где J – модуль податливости.

На основе этой функции получены расчётные формулы:

$$L_i \quad 2{,}52\frac{t_i^2}{\text{у}} \quad \frac{K_1}{T_1}\text{e}1_i \quad \frac{K_2}{T_2}\text{e}2_i \quad ^2$$

$$K_1\text{e}1_i \quad K_2\text{e}2_i \quad \frac{K_1}{T_1^2}\text{e}1_i \quad \frac{K_2}{T_2^2}\text{e}2_i \quad ;$$

$$\text{e}_{1_i} \quad \exp\ \frac{t_i}{T_1}\ ,\ \text{e}_{2_i} \quad \exp\ \frac{t_i}{T_2}\ ,$$

где i – дискретная переменная; t – текущее время.

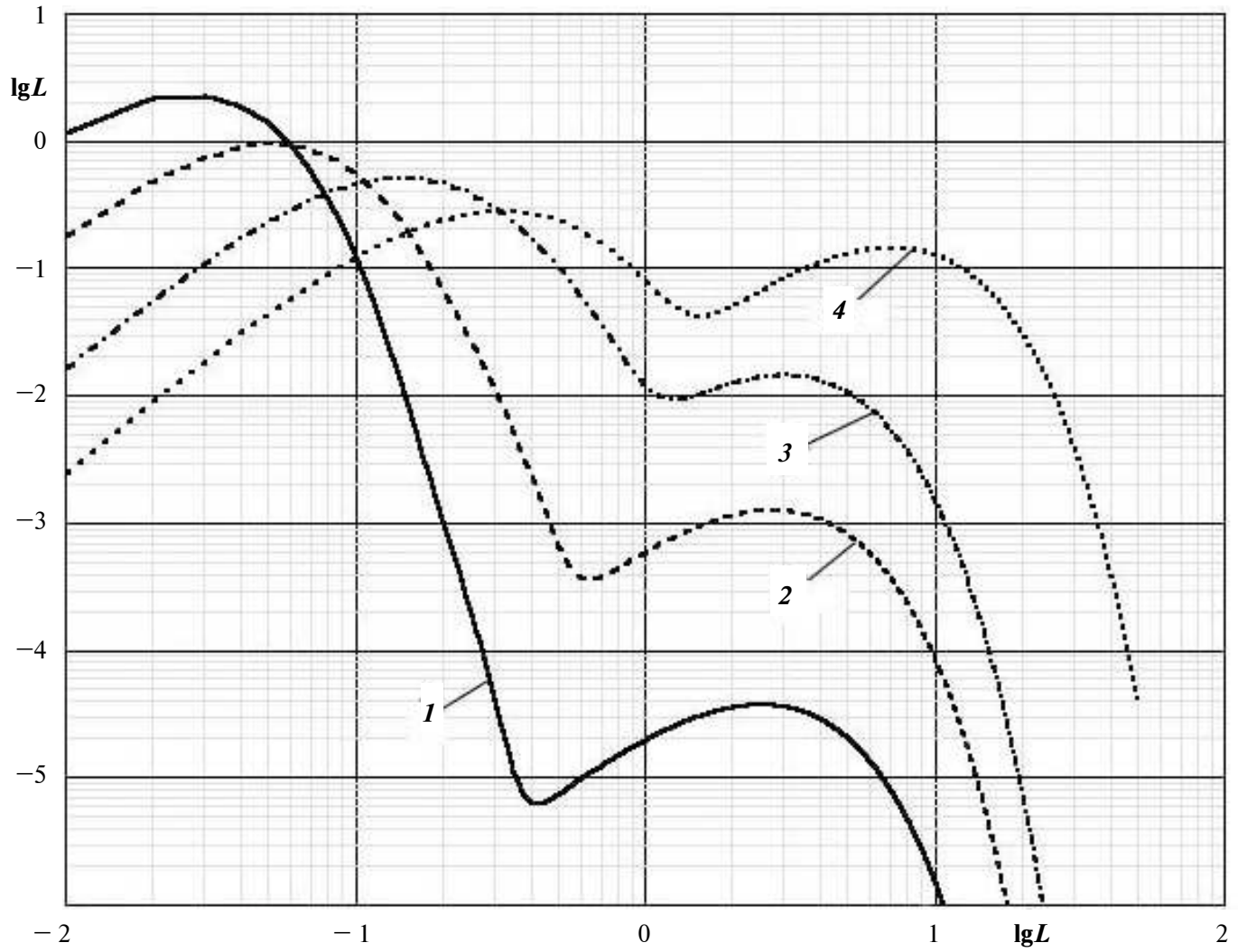


Рис. 4. Характерные релаксационные спектры материалов:
1 – трикотаж; *2* – ткань; *3* – натуральная кожа; *4* – искусственная кожа

На рис. 4 показаны характерные спектры времени релаксации различных материалов в логарифмических координатах, полученные на установке.

Могут быть получены и дополнительные характеристики материала: пластичность П, упругость У**,** компоненты упругости МУ и ВЭ, характер подвижности структуры Х по формулам

$$\text{П}\ \ \frac{e_{п}}{e_{т}}100;\ \ \text{У}\ \ \frac{e_{и}}{e_{т}}100;\ \ \text{МУ}\ \ \frac{e_{\text{му}}}{e_{т}}100;$$

$$\text{ВЭ}\ \ \frac{e_{\text{вэ}}}{e_{т}}100;\ \ \text{Х}\ \ \frac{K_1}{K_2}.$$

При исследовании, например, деформационных свойств одежной кожи получены следующие результаты с размерностями T (с), E (МПа), η (МПа·с), П, У, МУ, ВЭ (%):

T_1	T_2	K_1	K_2	E_1	E_2	E_3	η_1
0,073	5,769	0,894	0,106	13,1	110,5	11,7	0,95
η_2	η_3	П	У	МУ	ВЭ	Х	
110,5	11,7	28,8	71,2	63,6	7,6	8,4	

Полученные показатели могут быть использованы для оценки и сертификации качества материалов сравнением их с эталоном, направленным изменением свойств материалов и их пакетов, а также для контроля и управления параметрами технологических процессов оценкой характеристик полуфабриката на промежуточных этапах и сравнением их с нормированными значениями.

Библиографические ссылки

1. **Пат.** 2210753, Российская Федерация. Устройство для определения релаксационных свойств кожи и подобных ей гибких материалов / А.Г. Бурмистров. № 2001132908; заявл. 06.12.01. Бюл. № 23.

2. **Бурмистров А.Г., Кочеров А.В.** Компьютерный комплекс «Relax» для оценки качества материалов на основе анализа процессов релаксации // Кожевенно-обувная промышленность. 1998. № 1. С. 48−50.

3. **Бурмистров А.Г.** Машины и аппараты производства кожи и меха: учеб. для вузов. М.: КолосС, 2006. 384 с.

4. **Бурмистров А.Г., Кочеров А.В., Гродский Д.М.** О точности аппроксимации функций релаксации на установке «Relax» // Тематический сборник научных трудов МГУДТ. 2007. № 7. С. 23−25.

УДК 681.5.033

В.И. Плющаев, д-р.техн.наук, проф, **А.М. Пахомов**, канд.техн.наук
(Волжская государственная академия водного транспорта)

ДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЁМКОСТИ С ПЕРЕМЕННОЙ МАССОЙ

Рассмотрены динамические особенности системы автоматического регулирования температуры в ёмкости с переменной массой при реализации различных алгоритмов управления. Для анализа динамических процессов предложено использовать сечение фазового пространства «управляющее воздействие» − «ошибка регулирования». Изучено влияние параметров системы регулирования на качество процесса управления.

Ключевые слова: Динамические характеристики, фазовый портрет, нечёткая логика.

Automatic system dynamic features of the temperature adjustment in the capacity with variable mass when different control algorithm realization are considered. It is proposed to use of the phase space section "influence upon control" − "adjustment error" for analysis. Influence of adjustment system parameters on the control process quality is studied.

Key words: Dynamic characteristics, phase picture, careless logic.

На предприятиях пищевой промышленности необходимо поддерживать постоянную температуру в ёмкостях с продуктами переработки. Этому соответствует технологическая схема с прокачкой теплоносителя через теплообменный аппарат, расположенный внутри ёмкости с продуктом.

Для больших ёмкостей (на десятки и сотни тонн продукта) поддержание заданной температуры связано со значительными энергозатратами. Поэтому представляет интерес разработка алгоритма управления теплообменным аппаратом, снижающим энергозатраты при сохранении качественных показателей процесса управления (точности поддержания температуры, времени прогрева и т. п.).

Модель (в безразмерных параметрах) системы стабилизации температуры в ёмкости с переменной массой приведена ниже (Плющаев В.И., Пахомов А.М. Модель системы стабилизации температуры продукта в ёмкости с переменной массой // Автоматизация и современные технологии. 2005. № 6. С. 25−28):

$$C_{\text{п}}(\ )\ \frac{d}{d}\ C_{\text{п}}(\ )_{\text{вх}}(\ _{\text{вх}}\ )$$

$$\frac{1}{r}(\ _{\text{в}})\ C_{\text{т}}\ _{\text{т}}(\ _{\text{т}}\ _{\text{т.вых}})$$

$$C_{\text{п}}\ _{\text{вых}}\ _{\text{пр.вых}};$$

$$\frac{d}{d}\ _{\text{вх}}\ _{\text{вых}};$$

$$\frac{d}{d}\ k_{\text{пр}}u_{\text{ус}};\qquad 1$$

$$_{\text{дт}}\frac{du_{\text{дт}}}{d}\ u_{\text{дт}}\ ;$$

$$k_{\text{т}},\ \text{при}\ 1;$$

$$_{\text{т}}\ k_{\text{т}}\ ,\text{при}\ 0\ 1;$$

$$0,\ \text{при}\ 0;$$

$$u\ f(u_{\text{дт}}),$$

где μ – масса продукта в ёмкости; $\mu_{вх}$ – масса продукта, поступающего в ёмкость; $\mu_{вых}$ – масса продукта, откачиваемого из ёмкости; $\mu_т$ – масса теплоносителя; Θ – температура продукта в ёмкости; $\Theta_{зад}$ – заданная температура в ёмкости; $\Theta_в$ – температура воздуха; $\Theta_{вх}$ – температура продукта, поступающего в ёмкость; $\Theta_{пр.вых}$ – температура продукта, выходящего из ёмкости; $\Theta_т$ – температура теплоносителя; $\Theta_{т.вых}$ – температура теплоносителя на выходе теплообменного аппарата; τ – безразмерное время; $u_{дт}$ – напряжение, снимаемое с датчика температуры; φ – угол поворота клапана; $C_п$ – коэффициент теплоёмкости продукта; $C_т$ – коэффициент теплоёмкости теплоносителя; $k_{пр}$, $k_т$ – коэффициенты пропорциональности; $\tau_{дт}$ – постоянная времени датчика температуры; r – коэффициент теплопередачи стенок (или тепловое сопротивление) ёмкости.

Исследования проводились для системы, имеющей следующие параметры: масса продукта до 120 т; заданная температура продукта в ёмкости 60 – 80 °С; температура теплоносителя 90 °С; температура окружающего воздуха 25 °С; теплоноситель в теплообменный аппарат подаётся либо центробежным насосом на базе асинхронного электропривода с преобразователем частоты, либо через управляемый клапан.

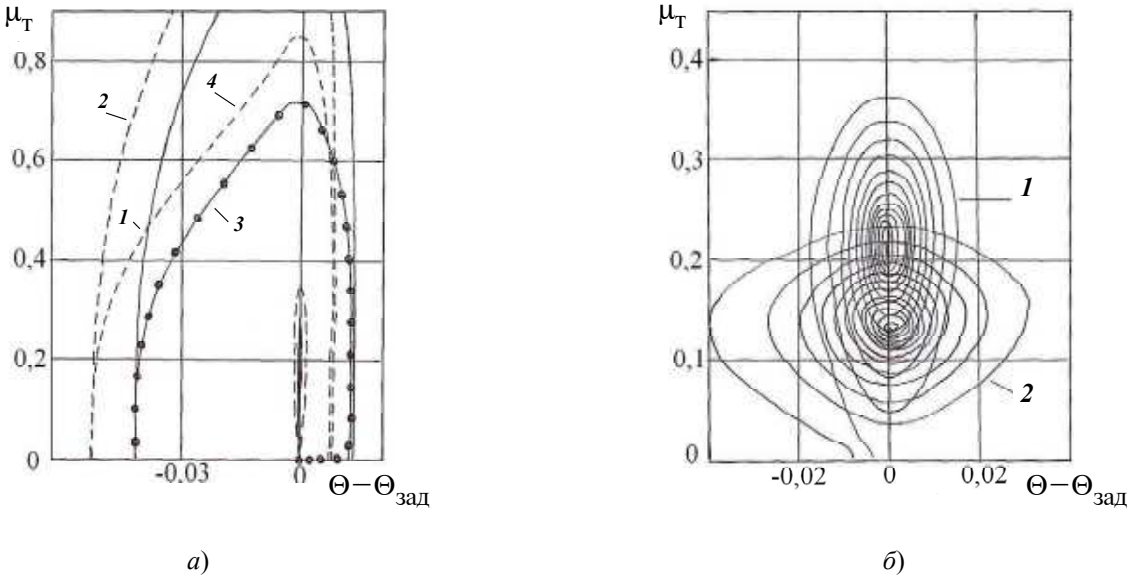
На первом этапе рассмотрим динамические характеристики системы при нагреве продукта (для нескольких фиксированных значений массы) при реализации стандартных алгоритмов управления – пропорционального, пропорционально-интегрального и пропорционально-дифференциального.

Для анализа динамики процесса используем одно из сечений фазового пространства – плоскость координат $\mu_т$, $(\Theta - \Theta_{зад})$. Динамический процесс, отображённый в этом сечении, обладает бóльшей информативностью по сравнению с традиционно принятым в теории автоматического управления портретом на плоскости $x, \dot{x}$. Временные характеристики отображаются в виде точек на траекториях, расположенных через фиксированные моменты времени.

На рис. 1 представлен динамический портрет системы для П-регулятора при различных значениях массы продукта μ и заданной температуры. В данном случае усилитель, формирующий сигнал управления, имеет характеристику с ограничением:

$$u_{ус} \quad \text{при} \begin{cases} 1, \text{при} \quad (u_{дт} \quad u_{зад}) \quad \dfrac{1}{k_{ус}}; \\ k_{ус}(u_{дт} \quad u_{зад}), \\ \left| u_{дт} \quad u_{зад} \right| \quad \dfrac{1}{k_{ус}}; \\ 1, \text{ при} \quad (u_{дт} \quad u_{зад}) \quad \dfrac{1}{k_{ус}}, \end{cases} \qquad 2$$

где $k_{ус}$ – коэффициент усилителя.



а) *б*)

Рис. 1. Динамический портрет системы с П-регулятором (характеристика усилителя (2)):

а) *1* – (μ = 0,1), $\Theta_{зад}$ = 0,8; *2* – (μ = 0,5), $\Theta_{зад}$ = 0,8; *3* – (μ = 0,1), $\Theta_{зад}$ = 0,7; *4* – (μ = 0,5), $\Theta_{зад}$ = 0,7; *б*) – зоны равновесия системы

В системе с П-регулятором увеличение коэффициента усиления приводит к перерегулированию (лишние энергозатраты в контуре подогрева), а его снижение − к неоправданному затягиванию переходного процесса. Время переходного процесса определяется, в основном, массой продукта в ёмкости и параметрами контура подогрева (расходом $\mu_т$ и температурой $\Theta_т$ теплоносителя).

Равновесное состояние системы (установившееся значение расхода массы теплоносителя $\mu_т$) определяется равенством тепловых потоков от теплообменника и через стенки (при неизменной массе продукта). В этом случае $\mu_т$ является функцией ряда параметров (коэффициента теплопередачи стенок *r*, разницы температур продукта и окружающей среды ($\Theta - \Theta_в$) и др.), в том числе $\Theta_{зад}$ (см. рис. 1, *б*). В то же время $\mu_т$ не зависит от массы продукта в ёмкости.

Если усилитель, формирующий сигнал управления, имеет релейную характеристику с зоной нечувствительности

$$u_{ус} \quad \begin{array}{ll} 1, \text{ при } & (u_{дт} \quad u_{зад}) \quad \dfrac{1}{k_{ус}}; \\ 0, \text{ при } & \left|u_{дт} \quad u_{зад}\right| \quad \dfrac{1}{k_{ус}}; \\ 1, \text{ при } & (u_{дт} \quad u_{зад}) \quad \dfrac{1}{k_{ус}}, \end{array} \qquad 3$$

где $u_{зад}$ − заданное значение напряжения регулирующего элемента,

то в системе устанавливаются колебания, амплитуда которых определяется шириной зоны нечувствительности регулятора. По мере приближения к равновесному состоянию скорость перемещения рабочей точки стремится к нулю. Ширина зоны нечувствительности регулятора определяет амплитуду установившихся колебаний. Следует отметить, что при движении рабочей точки вдоль линии переключения в системе может наблюдаться скользящий режим − переключение привода с высокой частотой. Работа в таком режиме приводит к быстрому износу исполнительных механизмов, например управляемых двухпозиционных клапанов.

Проведённые исследования показали, что использование пропорционально-интегрального регулятора (ПИ) существенно не улучшает качественные показатели процесса управления.

На рис. 2 представлен динамический портрет процесса для пропорционально-дифференциального (ПД) регулятора:

$$u_{ус} \quad \begin{array}{ll} 1, \text{ при } & k_{ус} \quad u \quad k_д \dfrac{d \quad u}{dt} \quad 1; \\ k_{ус} \quad u \quad k_д \dfrac{d \quad u}{dt}, & \\ \text{при } & \left|k_{ус} \quad u \quad k_д \dfrac{d \quad u}{dt}\right| \quad 1; \\ 1, \text{ при } & k_{ус} \quad u \quad k_д \dfrac{d \quad u}{dt} \quad 1, \end{array} \qquad (4)$$

где $u \quad u_{дт} \quad u_{дт}$.

С ростом коэффициента $k_д$ наблюдается более быстрый по сравнению с П- и ПИ-регуляторами переход к состоянию равновесия. В результате можно получить апериодический переходный процесс.

Для реализации fuzzy-алгоритма управления введём три лингвистические переменные для входных параметров $\Delta\Theta$, $\mu_т$, μ, каждая из которых имеет по три терма, и одну лингвистическую переменную *S*, имеющую пять термов:

«ОТКЛОНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ» с базовым терм-множеством $T \rightarrow$ {«ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ», «НУЛЕВОЕ», «ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ»} на множестве $\{\Delta\Theta\}$ или $T_{\Delta\Theta} = \{«\Delta\Theta_1», «\Delta\Theta_2», «\Delta\Theta_3»\}$;

«ПОТОК ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ» с базовым терм-множеством $T \rightarrow$ {«МАЛЫЙ», «СРЕДНИЙ», «БОЛЬШОЙ»} на множестве $\{\mu_т\}$ или $T\mu_т = \{«\mu_{т1}», «\mu_{т2}», «\mu_{т3}»\}$;

«МАССА» с базовым терм-множеством $T \rightarrow$ {«МАЛО», «СРЕДНЕ», «МНОГО»} на множестве $\{\mu\}$ или $T_\mu = \{«\mu_1», «\mu_2», «\mu_3»\}$;

«УПРАВЛЕНИЕ» с базовым терм-множеством $T \rightarrow$ {«СИЛЬНО УМЕНЬШИТЬ», «УМЕНЬШИТЬ»,

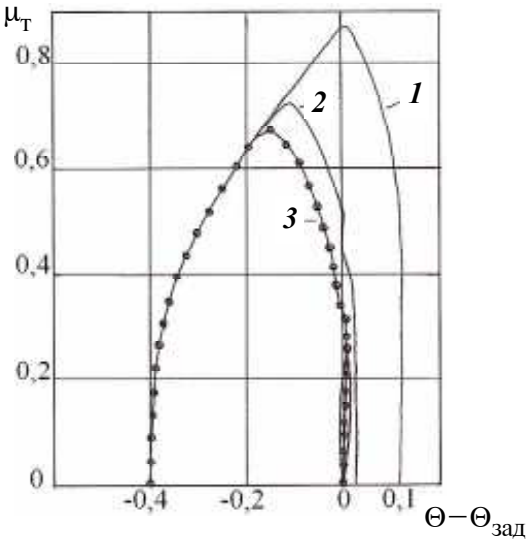


Рис. 2. Динамический портрет системы с ПД-регулятором (характеристика усилителя (4)) при $\mu = 0{,}5$, $\Theta_{зад} = 0{,}7$:
1 − ($k_д = 0$); *2* −($k_д = 0{,}05$); *3* − ($k_д = 0{,}1$)

«НЕ ИЗМЕНЯТЬ», «УВЕЛИЧИТЬ», «СИЛЬНО УВЕЛИЧИТЬ»} на множестве {S} или T_s= {«S_1», «S_2», «S_3», «S_4», «S_5»}.

Функции принадлежности $\lambda_{\Delta\Theta}$, $\lambda_{\mu T}$, λ_{μ}, λ_S выбраны на основании экспертных оценок. Для дефаззификации использовался метод центра тяжести.

Базу правил управления можно представить в виде матрицы 3×3×3:

для μ_1

	μ_{T1}	μ_{T2}	μ_{T3}
$\Delta\Theta_1$	S_4	S_4	S_3
$\Delta\Theta_2$	S_2	S_2	S_1
$\Delta\Theta_3$	S_1	S_1	S_1

для μ_2

	μ_{T1}	μ_{T2}	μ_{T3}
$\Delta\Theta_1$	S_5	S_4	S_3
$\Delta\Theta_2$	S_2	S_2	S_1
$\Delta\Theta_3$	S_1	S_1	S_1

для μ_3

	μ_{T1}	μ_{T2}	μ_{T3}
$\Delta\Theta_1$	S_5	S_4	S_3
$\Delta\Theta_2$	S_2	S_1	S_1
$\Delta\Theta_3$	S_1	S_1	S_1

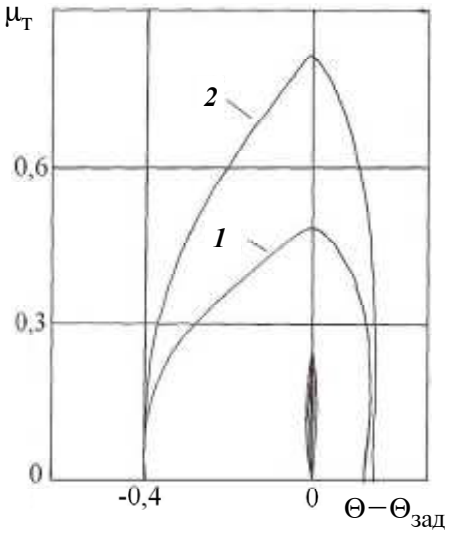


Рис. 3. Динамический портрет системы с fuzzy-алгоритмом при $\Theta_{зад}$ = 0,7 (характеристика усилителя (3)):

1 – (μ = 0,1); 2 – (μ = 0,5)

Динамический портрет системы с fuzzy-алгоритмом управления представлен на рис. 3.

Рис. 4 позволяет сравнить качество переходных процессов для fuzzy-регулятора и релейного регулятора при изменении массы продукта в ёмкости от μ=0,1 до μ=0,9.

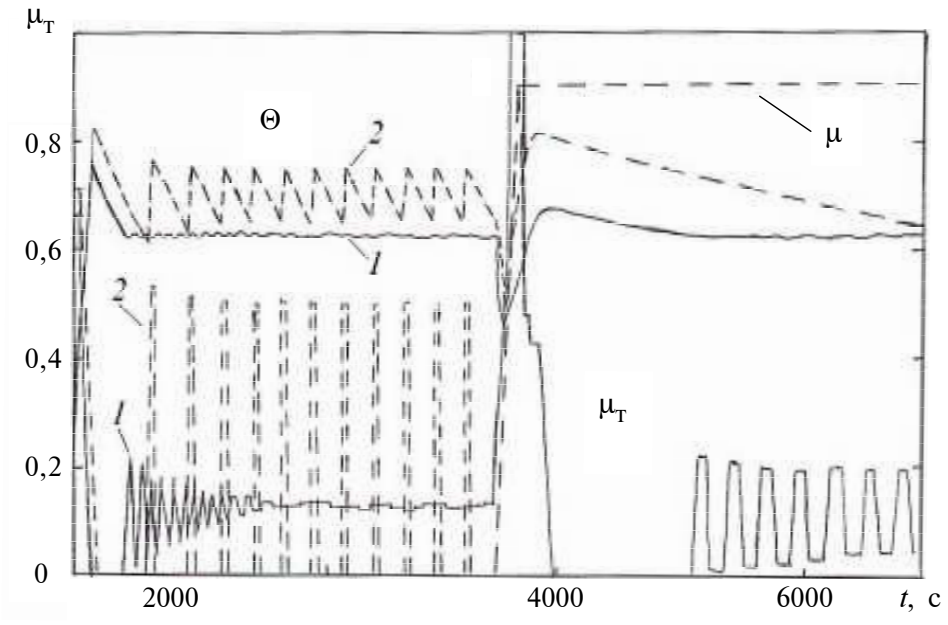


Рис. 4. Переходные процессы в системе при изменении массы продукта:

1 – с fuzzy-регулятором; *2* – с релейным регулятором

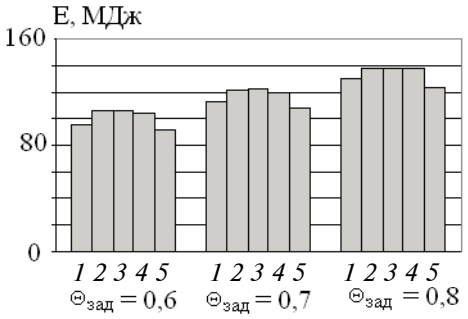


Рис. 5. Энергозатраты при реализации различных алгоритмов (μ = 0,6):

1 – релейный; *2* – пропорциональный; *3* – пропорционально-интегральный; *4* – пропорционально-дифференциальный; *5* – fuzzy-алгоритм

В процессе машинного моделирования проведена оценка энергозатрат при реализации различных законов управления. По этому показателю предпочтение можно отдать регулятору с fuzzy-алгоритмом (рис. 5).

Полученные результаты свидетельствуют об удовлетворительных качественных показателях процесса управления при реализации fuzzy-алгоритма. Как показывает практика, при разработке и внедрении систем управления технологическими процессами у разработчиков, как правило, отсутствуют математические модели автоматизируемых процессов (часто это обусловлено жёсткими финансовыми и временными ограничениями со стороны заказчиков), что не позволяет использовать классические методы теории автоматического управления для обоснованного выбора параметров системы. С другой стороны, богатый опыт эксплуатации технологического оборудования в различных режимах, накопленные техническим персоналом знания позволяют синтезировать эффективные системы управления с использованием аппарата нечёткой логики.

УДК 669.162.263

В.В. Лавров, канд. техн. наук, доц., **А.А. Бурыкин**, **А.И. Перминов**, канд. техн. наук (ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина» (УГТУ–УПИ), г. Екатеринбург), **А.В. Краснобаев** (ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ТЕХНОЛОГА ДОМЕННОГО ЦЕХА*

Приведён опыт разработки программного комплекса автоматизированного рабочего места технолога доменного цеха, основой которого является программный модуль «АРМ технолога доменного цеха – техотчёт». Описаны технологические приёмы и современные средства реализации, использованные при разработке программного обеспечения.

Ключевые слова: автоматизированное рабочее место, программный комплекс, информационные технологии, доменное производство, технология разработки программного обеспечения.

Program complex development experience of the automatic working place for blast-furnace shop technologist from a program modulus «APM of the blast-furnace shop technologist – techotchet (process inspection)» is described. Technological receipts and modern realization means used when software development are described.

Key words: automatic working place, software complex, information technologies, blast-furnace production, software development technology.

На многих металлургических предприятиях технологический персонал для подготовки отчётных данных использует, как правило, программное обеспечение общего назначения, в частности электронные таблицы MS Office Excel. Главными преимуществами электронных таблиц являются простота использования, удобство табличного и графического отображения отчётных показателей, возможность интеграции с другими офисными пакетами, главным образом с текстовым процессором MS Office Word. Однако у такого подхода есть существенные ограничения, основными из которых являются отсутствие встроенных средств автоматизированного сбора и накопления отчётных данных, механизмов обеспечения целостности информационного массива, центра-

* Работа выполнена в соответствии с Государственным контрактом Федерального агентства по науке и инновациям № 02.740.11.0152

лизованного контроля и настройки прав доступа к данным со стороны пользователей. Всё это не позволяет в полной мере использовать возможности современных информационных технологий для оперативной и достоверной обработки производственных данных, выработки на её основе обоснованных управленческих решений.

Необходимость разработки специализированного программного обеспечения –автоматизированного рабочего места (АРМ) технолога доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК») – обусловлена потребностями пользователей в более качественном использовании существующих на предприятии информационных ресурсов для анализа производственных ситуаций в масштабе цеха. АРМ технолога представляет собой модульную систему, основой которой является программный комплекс «АРМ технолога доменного цеха – техотчёт» (см. таблицу). Данный комплекс является компьютерной системой автоматизации функций технологического персонала при формировании отчётных показателей работы доменного цеха ОАО «ММК».

Программный комплекс позволяет:

осуществлять автоматизированный сбор и подготовку необходимых отчётных данных о работе доменного цеха за указанный пользователем период работы (месяц и с начала календарного года);

отображать в удобном структурированном виде показатели работы доменного цеха и отдельных печей, производить выборку и фильтрацию показателей;

производить ручную корректировку и ввод дополнительных отчётных показателей;

осуществлять расчёт комплексных показателей по разделам технического отчёта;

формировать твёрдую копию технического отчёта избирательной настройкой отдельных разделов, предварительным просмотром и экспортом данных в разнообразные форматы выходных документов;

устанавливать и снимать защиту от корректировки (блокировку) показателей сформированного технического отчёта (функция подписания технического отчёта);

регистрировать рабочие станции и пользователей для доступа к таблицам сервера базы данных, обеспечивать возможность работы ответственных лиц с отдельными категориями отчётных показателей.

Архитектура программного комплекса «АРМ технолога доменного цеха – техотчёт» представлена на рис. 1. Исходными данными для программы являются данные Центра АСУ ОАО «ММК», а также твёрдые копии отчётных документов различных служб доменного цеха. Использованная архитектура программного обеспечения имеет ряд преимуществ:

масштабируемость и конфигурируемость приложения, которые позволяют быстро и относительно простыми средствами перенастроить систему при возникновении сбоев;

упрощённая интеграция в существующие корпоративные информационные системы;

повышенная безопасность и надёжность работы системы.

Все сведения, входящие в технический отчёт, сгруппированы по отдельным разделам. Некоторые разделы могут быть автоматически скрыты в зависимости от предоставленных прав поль-

Перечень модулей программного комплекса

Наименование программного модуля	Назначение
Модуль информационного наполнения базы данных	Автоматический сбор данных, обработка и наполнение базы данных сведениями о показателях работы доменного цеха
Модуль отображения и корректировки показателей работы доменного цеха по разделам	Отображение по разделам и корректировка показателей работы всех печей доменного цеха
Модуль формирования технического отчёта за месяц	Расчёт показателей по разделам технического отчёта за месяц и экспортирование в формат выходных документов
Модуль формирования технического отчёта с начала года	Расчёт показателей по разделам технического отчёта с начала года и экспортирование в формат выходных документов
Модуль подписания технического отчёта	Установка защиты от корректировки (блокировка) показателей сформированного технического отчёта
Модуль регистрации и настройки прав пользователей	Регистрация рабочих станций для доступа к серверу базы данных, настройка видимости и возможности работы с разделами технического отчёта

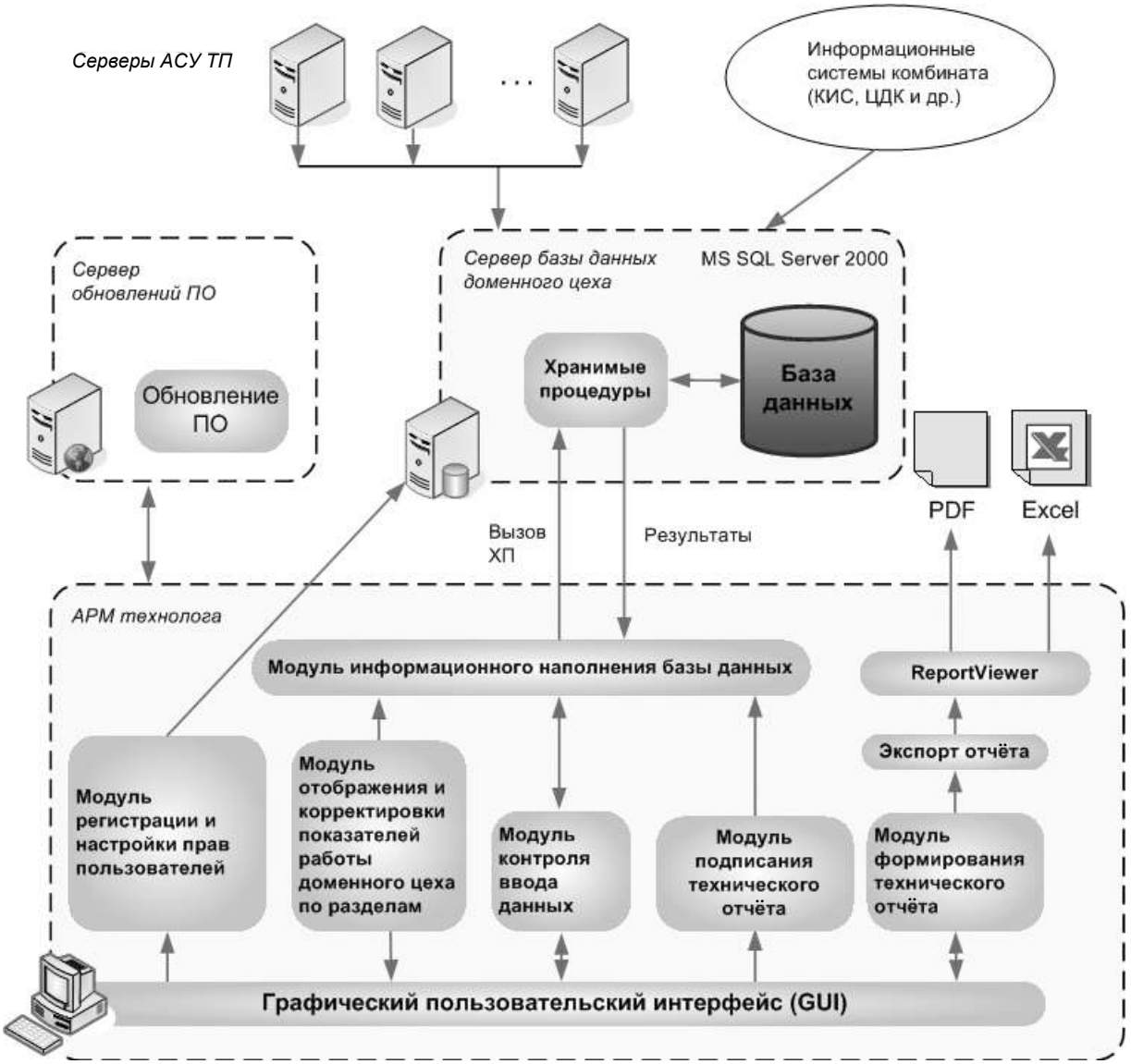


Рис. 1. Архитектура программного комплекса

зователя и результатов регистрации рабочих станций. Пользователь с помощью диалоговых окон заполняет сведения по отдельным разделам и сохраняет все изменения в базе данных. Предусмотрены автоматическое формирование итогового документа (целиком и по отдельным разделам), его распечатка, а также экспорт в форматы MS Office Word и Adobe PDF (рис. 2). Использованный при построении отчёта формат «ReportViewer» предоставляет дополнительные возможности:

печатать отчёт по отдельным листам;

осуществлять предварительный просмотр отчёта с возможностью его масштабирования;

осуществлять поиск фраз в итоговом документе;

направлять печать отчёта на указанный принтер, настраивать параметры принтера;

устанавливать параметры страницы: ориентацию и поля страницы.

Существенную роль в успешном внедрении и использовании автоматизированных информационных систем играет качество разработанного программного обеспечения. Среди наиболее значимых показателей качества современных программных средств выделены функциональность, надёжность, лёгкость применения и сопровождаемость. Указанные показатели были предварительно зафиксированы во внешнем описании программного обеспечения, которое разработано на основе требований заказчиков. Разработка качественного программного обеспечения невозможна без использования современных технологических подходов и компьютерных инструментальных средств.

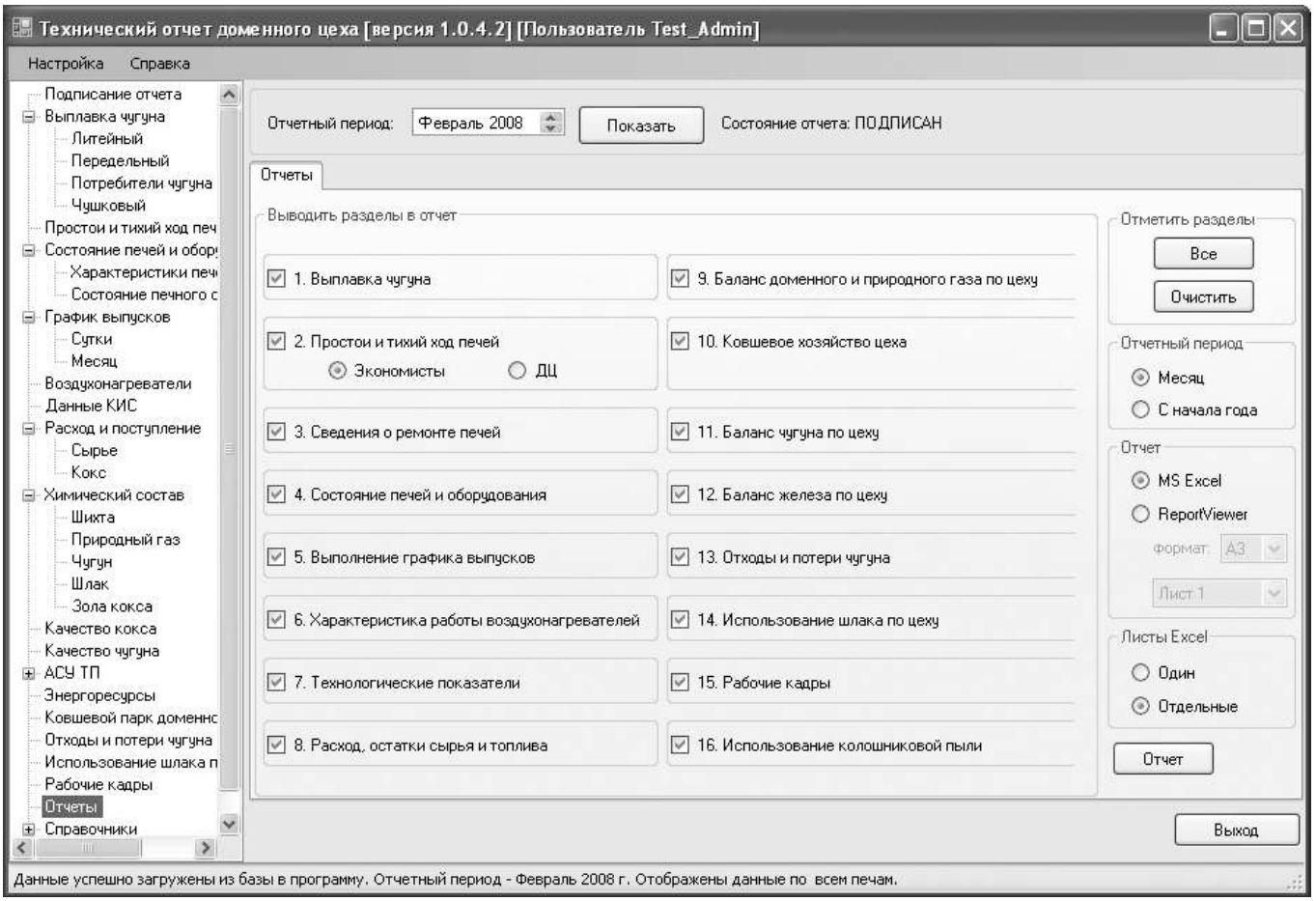


Рис. 2. Окно формирования разделов итогового отчёта

Авторами накоплен практический опыт в ходе разработки программного обеспечения компьютерных информационно-моделирующих систем аглодоменного производства ОАО «ММК». Подробное описание разработанных математических моделей, алгоритмов и компьютерных программ для решения комплекса технологических задач в области доменного производства представлено в работах [1–4]. Большинство программных систем успешно внедрены в промышленную эксплуатацию и используются в автоматизированных рабочих местах инженерно-технологического персонала доменного цеха, решении комплекса стратегических задач при планировании производства, поставок железорудного сырья, топлива, оптимального управления энергоресурсами.

В основу технологического подхода к разработке программного обеспечения положена известная итерационная (спиральная) модель жизненного цикла, приводящая к выпуску внутренней или внешней версии программного продукта, который в дальнейшем последовательно совершенствуется по требованию конечных пользователей, чтобы стать законченной системой. На каждом этапе реализуется только часть заложенных функциональных возможностей конечной системы. Отдельная итерация представляет законченный цикл разработки продукта с присущими ей процессами: анализ требований, проектирование, реализация, тестирование и отладка. Результатом каждой итерации является целостный продукт, который передаётся пользователям для опытно-промышленной эксплуатации. Основными преимуществами итерационного процесса разработки являются:

своевременное внесение изменений в проект по требованию заказчика;

снижение уровня риска невыполнения проекта в установленные сроки;

использование перспективных технологических подходов к программированию.

Каждый из перечисленных процессов разработки характеризуется определёнными задачами и методами их решения, исходными данными и результатами. Отметим основные особенности каждого процесса, которые были использованы при реализации проекта.

Проектирование. При проектировании системы использован объектно-ориентированный подход, который соединяет в себе процесс объектной декомпозиции и приёмы представления логической, физической, статической и динамической моделей проектируемой системы [5, 6]. Данный подход подразумевает представление системы в виде группы взаимодействующих объектов, каждый из которых представляет некую сущность моделируемой предметной области и характеризуется классом, состоянием и поведением. В процессе проектирования для описания системы с различных точек зрения использовано несколько типов моделей: классов, состояний и взаимодействия.

Модель классов описывает статическую структуру объектов системы и их отношения, определяет контекст разработки программы, т. е. предметную область. Цель конструирования классов состоит в том, чтобы охватить те реальные концепции, которые существенны для программного приложения. Модель классов изображается на диаграммах классов.

Модель состояний описывает аспекты объектов, связанные с течением времени и с последовательностью операций, т. е. события, связанные с изменениями состояния, определяющие контекст событий, и упорядочение событий и состояний, а также описывает последовательности операций, происходящих в системе в ответ на внешние воздействия. Эта модель реализуется диаграммами состояний.

Модель взаимодействия описывает кооперацию объектов системы для обеспечения необходимого поведения системы как целого. Построение модели начинается с анализа вариантов использования приложения, которые затем уточняются на диаграммах последовательности и диаграммах деятельности. Вариант использования описывает функциональность системы, т. е. то, что система делает для пользователей. Диаграмма последовательности показывает взаимодействие объектов и его временную последовательность.

Описанные модели связаны между собой составляющими полного описания системы. Для создания и документирования моделей использована нотация UML [7].

Разработка. В процессе реализации проектных решений использована система контроля версий, управления задачами и портал проекта (рис. 3), которые позволили организовать совместную работу группы разработчиков над проектом. Система контроля версий содержит последнюю версию исходных кодов проекта и позволяет одновременно вносить изменения в исходные коды проекта разными разработчиками. В качестве системы

Рис. 3. Процесс разработки программного продукта

контроля версий используется среда «Subversion», основными преимуществами которой являются:

возможность отслеживания рабочей версии не только файлов, но и каталогов;

публикация изменений в нескольких файлах и каталогах в виде единой транзакции;

передача между клиентом и сервером только различий в файлах при любых обновлениях версий;

поддержка копирования, перемещения и переименования файлов с сохранением истории изменений;

возможность задания любому файлу и каталогу произвольного набора свойств, состоящих из названия и значения (свойства тоже находятся под управлением версиями);

возможность эффективной обработки как текстовых, так и двоичных файлов;

свободное распространение системы (лицензия аналогична Apache/BSD).

Портал проекта содержит систему управления задачами и систему ведения документации. Система документации содержит утверждённую ранее проектную документацию. Система ведения документации основана на системе «Вики» (Wiki) – гипертекстовой среде для сбора и структурирования письменных сведений пользователей, которая характеризуется следующими признаками:

множество авторов, права которых настраиваются в системе управления доступом к материалам;

возможность многократно исправлять текст посредством самой вики-среды (веб-сайта) без применения специальных инструментариев редактора;

проявление изменений сразу после их внесения;

разделение информации на отдельные страницы;

особый язык разметки, позволяющий легко и быстро размечать в тексте структурные элементы, форматирование, гиперссылки, списки и т. п.;

учёт изменений (учёт версий) текста и возможность вернуться к ранней версии.

Система управления задачами позволяет планировать процесс разработки программного продукта, учитывать и контролировать ошибки и следить руководителю за процессом устранения этих ошибок. Первоначально в систему управления задачами вносятся задачи, которые нужно решить для реализации программного продукта. По мере разработки продукта в систему управления задачами помещается информация об обнаруженных ошибках. Дополнительно в эту систему помещаются «заявки» от пользователей – как сообщения об ошибках и неудобствах, так и запросы на добавление нового функционала. Главный компонент системы управления задачами – база данных, содержащая сведения о задачах. Эти сведения могут включать в себя дату и время, когда была добавлена задача, важность задачи, описание задачи, текущее состояние задачи, прикреплённый файл, например файл с изображением ошибки, и т. д.

В процессе разработки используется система «Trac», которая совмещает систему ведения документации и систему управления задачами. К основным достоинствам системы «Trac» относятся мощная система управления ошибками, тесная интеграция с системой контроля версий «Subversion», расширяемая архитектура, наличие множества готовых модулей расширений, лицензия – модифицированная BSD-лицензия.

На этапе реализации проекта авторы использовали принцип непрерывной интеграции. Непрерывная интеграция (от англ. *Continuous Integration*) – термин, относящийся к разработке программного обеспечения и обозначающий автоматизированный процесс, выполняющий частые пересборки и тесты приложения. Практически это выглядит как отдельный процесс, запущенный на сервере, который следит за изменениями на файловой системе либо в системе управления версиями и автоматически запускает полную пересборку всех модулей приложения и прогон тестов. К основным преимуществам непрерывной интеграции относятся: выявление и исправление проблем интеграции непрерывно, а не на конечной стадии разработки, раннее предупреждение о несовместимом коде, немедленное модульное тестирование всех изменений, постоянное наличие «текущей» собранной версии – для тестирования, демонстрации и других применений.

В большинстве проектов использована система «CruiseControl.Net», которая представляет собой автоматизированный сервер непрерывной интеграции. К основным преимуществам этой системы относятся: работа с различными системами контроля версий, работа с различными системами сборки проектов, работа с различными системами тестирования, а также наличие web-приложения для отслеживания статуса и детального отчёта о сборке проектов, свободная лицензия по типу Apache/BSD.

Тестирование и отладка. Для автоматизированного тестирования продукта после сборки, как правило, разрабатывается набор юнит-тестов. Юнит-тестирование (от англ. *unit test*) – это процесс, позволяющий проверить на корректность отдельные модули исходного кода программы. Идея состоит в том, чтобы писать тесты для каждой нетривиальной функции или метода. Цель юнит-тестирования – изолировать отдельные части про-

граммы и показать работоспособность отдельных частей приложения. В качестве среды юнит-тестирования используется система «NUnit».

Таким образом, представленные технологические приёмы и средства реализации программного проекта позволили в установленные сроки разработать программный комплекс «АРМ технолога доменного цеха − техотчёт», а промышленная эксплуатация программного комплекса в доменном цехе на ОАО «ММК» − существенно сократить время на подготовку отчётной документации и повысить эффективность принятия управленческих решений инженерно-техническим персоналом цеха.

Библиографические ссылки

1. **Компьютерные** методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спирин, В.Л. Терентьев и др. Под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург: УГТУ−УПИ, 2005. 301 с.

2. **Информационные** системы в металлургии / Н.А. Спирин, Ю.В. Ипатов, В.И. Лобанов и др. Под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург: УГТУ−УПИ, 2001. 617 с.

3. **Теплообмен** и повышение эффективности доменной плавки / Н.А. Спирин, Ю.Н. Овчинников, В.С. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко. Екатеринбург: УГТУ − УПИ, 1995. 243 с.

4. **Оптимизация** и идентификация технологических процессов в металлургии / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, С.И. Паршаков, С.Г. Денисенко. Под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург: УГТУ−УПИ, 2006. 307 с.

5. **Технология** разработки программного обеспечения / Э. Брауде. Пер. с англ. СПб.: Питер, 2004. 665 с.

6. **Приёмы** объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Дж. Влиссидес. Пер. с англ. СПб.: Питер, 2007. 368 с.

7. **UML 2.0.** Объектно-ориентированное моделирование и разработка / Дж. Рамбо, М. Блаха СПб.: Питер, 2006. 544 с.

УДК 519.1

В.Б. Чернобай (Московский государственный институт электроники и математики)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВОБОДНОГО СЕТЕВОГО МАШИННОГО ВРЕМЕНИ

Рассмотрен двудольный граф и определено его совершенное или максимальное частичное паросочетание для использования свободного сетевого машинного времени.

Ключевые слова: двудольные графы, совершенные и частичные паросочетания.

Dicotyledonous graph is considered and its perfect or maximum partial matching graph for utilization of the free network machine time is defined.

Key worlds: dicotyledonous graphs, perfect and partial matching graph.

Персональные компьютеры обычно используются их владельцами не на 100 %, например, многих пользователей интересует только электронная почта. Если компьютеры соединены в сеть, то по согласованию с их владельцами они могут применяться для решения задач других пользователей сети, возможно на возмездной основе. Компьютеры быстро устаревают, и поэтому желательно использовать их как можно более эффективно. Арендная плата за использование машинного времени может быть перечислена на амортизационные отчисления, т. е. на приобретение нового, более мощного и современного компьютера.

Если имеются пользователи сети, располагающие свободным машинным временем, и пользователи, желающие арендовать его, то задачу распределения этого свободного времени можно решить средствами дискретной математики. Например, рассмотрим два временных интервала разной длины: пять рабочих дней недели и два выходных. В рабочие дни многие домашние компьютеры простаивают. Их машинное время может быть использовано на производстве для решения задач, требующих больших машинных временных затрат.

Таким образом, с одной стороны, имеются различные отрезки свободного машинного времени, а с другой − задачи с известным или ограниченным сверху временем их решения. Компьютеры в сети имеют различное быстродействие, поэтому для каждой задачи время её выполнения должно быть указано исходя из быстродействия некоего «эталонного» компьютера.

Длительность всех отрезков свободного машинного времени для этого компьютера также должна быть указана.

Существует класс задач, которые могут быть с небольшими потерями информации прерваны в любое время и далее по возможности продолжены, но с другими исходными данными. Примером могут служить задачи, решаемые методом перебора вариантов, причём каждый следующий вариант может быть автоматически получен из предыдущего. Такие задачи в этой работе не рассматриваются.

Будем считать отрезки свободного машинного времени вершинами в одной из долей вершин двудольного графа, а задачи – вершинами другой доли. Предположим также, что отрезки свободного машинного времени и время решения задач пересчитаны для «эталонного» компьютера. Таким образом, отрезки и времена оказываются сопоставимыми. Рёбра соединяют только те вершины противоположных долей графа, если соответствующая задача может быть решена в данный отрезок свободного машинного времени.

В результате имеет место классическая задача дискретной математики – нахождение максимального паросочетания для заданного двудольного графа [1, 2]. Совершенным паросочетанием двудольного графа называется такой набор пар вершин из разных долей, когда каждая вершина из меньшей доли получает свою пару из большей доли. Пару можно получить только со смежной вершиной противоположной доли. Вершины двудольного графа смежны, если их связывает ребро. Паросочетание – это тоже, в свою очередь, двудольный граф, каждая компонента связности которого имеет ровно две вершины и одно ребро.

Рёбра паросочетания являются подмножеством рёбер исходного двудольного графа, а вершины – подмножеством вершин. Само паросочетание – это подграф исходного двудольного графа. В частичном паросочетании хотя бы одна вершина меньшей доли вершин не имеет пары из большей доли вершин. Среди частичных паросочетаний можно определить максимальное. Максимальное частичное паросочетание содержит максимально возможное число пар, которое меньше числа вершин в доле с меньшим числом вершин. Мощность паросочетания – это число пар (компонент связности) в нём.

Совершенного паросочетания у двудольного графа может не существовать и их может быть несколько. Частичное паросочетание у двудольного графа существует всегда, если у двудольного графа есть хотя бы одно ребро. При распределении свободного сетевого машинного времени можно использовать несколько подходов.

Первый подход заключается в том, чтобы просчитать максимально возможное число задач. В этом случае отыскивают совершенное паросочетание или, если такового нет, то максимальное частичное. Из нескольких подходящих паросочетаний одинаковой мощности можно брать то, которое даёт меньшую разность между полученным суммарным свободным машинным временем, выделенным на решение всех задач из этого паросочетания, и суммарным временем решения всех задач из него (временную разность паросочетания). Рёбра двудольного графа соединяют задачи и отрезки свободного машинного времени, не меньшие времени выполнения соответствующих задач.

Второй подход состоит в том, чтобы минимизировать разность между имеющимся свободным машинным временем и суммарным временем решения всех задач. Частичное паросочетание меньшей мощности может дать меньшую разность, чем совершенное или частичное паросочетание большей мощности. При равных разностях времени целесообразно выбрать паросочетание большей мощности.

Оба подхода ориентируются на мощность паросочетания и его разность времени, только приоритет этих понятий в критериях различен. Критерием, дополняющим описанные выше подходы, может служить требование обязательного решения каких-либо определённых задач. При использовании машинного времени задачи могут иметь различные приоритеты.

Отрезки свободного машинного времени, меньшие, чем минимальное время решения задач, а также задачи, время выполнения которых больше максимального из отрезков времени, не рассматриваются. На результатах работы программы нахождения совершенного или максимального частичного паросочетания это не скажется, просто уменьшится размер матрицы смежности, являющейся исходным данным для программы. Эти отрезки времени и задачи, возможно, будут учитываться в следующем дискретном временном интервале.

Существует много точных и эвристических методов нахождения совершенного или максимального частичного паросочетания. Любой из этих методов подходит для планирования использования свободного сетевого машинного времени. При этом необходимо учитывать, что точные методы выполняются дольше, чем эвристические.

Если не все задачи получили свой отрезок свободного машинного времени, то из отрезков времени, попавших в итоговое паросочетание, вычитается время выполнения соответствующих им задач и составляется новый двудольный граф с меньшим числом задач и с уменьшившимися от-

резками свободного машинного времени. Далее выполняется второй этап распределения машинного времени.

Этапы распределения времени выполняются до тех пор, пока в двудольном графе текущего этапа будет оставаться хотя бы одно ребро. Задачи, не получившие времени для своего решения из отрезков свободного машинного времени, переносятся на следующий дискретный интервал времени. Таким образом, процедура распределения свободного сетевого машинного времени на каждом интервале решения задачи может состоять из нескольких этапов.

Библиографические ссылки

1. **Нефедов В.Н., Осипова В.А.** Курс дискретной математики. М.: Изд-во МАИ, 1992. 264 с.

2. **Андерсон Джеймс А.** Дискретная математика и комбинаторика. Пер. М.М. Беловой. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 960 с.

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

Н.В. Гусаков, Б.В. Кисуленко

2008. – 272 с.: ил. ISBN: 978-5-217-03447-5

Цена 440 р. с НДС

Словарь-справочник содержит более 2000 терминов, большинство из которых применяется при подготовке и выполнении процедур одобрения типа транспортного средства и подтверждения соответствия компонентов транспортных средств требованиям нормативно-технических документов. В ряде случаев для более глубокого понимания этих терминов приводятся определения общетехнических терминов, лежащих в основе специальной терминологии.

Предназначен для специалистов в области оценки соответствия колесных транспортных средств и их компонентов, а также для студентов и аспирантов, обучающихся по специальностям и направлениям автомобилестроения, автомобильного транспорта и смежных с ними областей.

Словарь-справочник может быть полезен сотрудникам органов контроля и надзора за безопасностью дорожного движения, а также работникам органов таможни, по роду своей профессиональной деятельности связанным с продукцией автомобилестроения.

ОСНОВЫ ТРИБОЛОГИИ И ТРИБОТЕХНИКИ:

учебное пособие. **Н.С. Пенкин, А.Н. Пенкин, В.М. Сербин**

2008. – 206 с.: ил. ISBN: 978-5-217-03437-6 **Цена 264 р. с НДС**

В учебном пособии, в соответствии с программой дисциплины «Основы трибологии», разработанной специалистами Ассоциации инженеров-трибологов России, изложены основные положения контактного взаимодействия твердых тел, свойства и топография их поверхностей, природа и виды внешнего трения, влияние различных факторов на трение. Описаны различные виды изнашивания, роль смазки, температуры, фрикционности и антифрикционности материалов для деталей сопряжений, основные способы повышения износостойкости материалов и деталей машин. Приведены расчетные методы оценки интенсивности изнашивания наиболее часто встречающихся трибосопряжений. Рассматриваются основные положения моделирования трибологических процессов, методы испытания на трение и изнашивание, а также роль трибологии в решении социально-экономических проблем, обусловленных трибологическими источниками: потери от недовыпуска продукции, потери всех видов ресурсов, ухудшение экологичности, энергетической эффективности различных видов транспорта и др.

Пособие рассчитано на студентов технических специальностей, изучающих эту дисциплину или ее разделы в других дисциплинах, аспирантов, научных и инженерно-технических специалистов в области трения, износа и смазки в машинах.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК:004.92

Е.В. Минаев, канд. техн. наук («СофтТрейд Лаб», г. Москва)

МЕТОДЫ ИНТЕРАКТИВНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СВЕРХБОЛЬШИХ ОТКРЫТЫХ ПРОСТРАНСТВ

Разработан метод трёхмерной визуализации сверхбольших открытых пространств, основанный на использовании специальных структур данных и неполигонального упрощения. Предложенный метод позволяет существенно повысить временную эффективность системы визуализации, в особенности при отображении большого количества дальних объектов.

Ключевые слова: визуализация, открытые пространства, трёхмерные сцены, сверхбольшие сцены, рендеринг, временная эффективность, структуры данных.

Three-dimensional visualization method of extremely large open spaces based on the special structure of dates utilization and not polygonal simplification is developed. Proposed method allows raising essential of the temporary visualization system efficiency, especially when large quantity remote objects representation.

Key worlds: visualization, open spaces, three-dimensional stages, extremely large stages, rendering, temporary efficiency, structure of dates.

Введение. Круг задач компьютерной графики постоянно расширяется в связи с непрерывным ростом аппаратных возможностей современных компьютеров. По этой причине множество ранее не рассматриваемых проблем визуализации стали актуальными. Вследствие возросших требований к современным системам визуализации разрабатываются новейшие алгоритмы для решения возникающих задач, ориентированные на современное аппаратное обеспечение. Большинство актуальных в настоящее время проблем визуализации связано с необходимостью хранения и отображения огромных объёмов данных за минимальное время. Обычно такие задачи решаются посредством специальных вычислительных комплексов. Однако, разрабатывая новые алгоритмы хранения и отображения информации, представляется возможным перенести часть этих задач на персональные компьютеры.

Интерактивные системы визуализации трёхмерных сцен представляют собой одну из самых широких областей применения компьютерной графики. Основной областью применения являются картографические системы и компьютерные игры. Кроме того, открытые пространства широко используются в программном обеспечении (ПО) для тренажёров техники, средствах проектирования, системах виртуальной реальности (рис. 1). Для развития картографических и других программных систем в настоящее время актуально использование больших пространств с большим количеством объектов, которые необходимо отображать в реальном времени.

В системах такого рода важнейшей характеристикой качества является временная эффективность процесса отображения информации в зависимости от объёма визуализируемых данных. Отображаемая информация обычно представляет собой трёхмерную сцену, состоящую из множества различных объектов. В целях повышения качества этого типа ПО разработчики идут на нетривиальные способы улучшения временной эффективности алгоритмов визуализации применительно к конкретным отображаемым данным. Эти алгоритмы базируются на методах компьютерной геометрии и машинной графики [1]. Их задачами являются отсечение невидимых частей и отображение нужных объектов оптимальным образом. Для выполнения этих операций используются специальные структуры данных для представления трёхмерных сцен в памяти компьютера. Многообразие практических ситуаций, возникающих при визуализации различного рода сцен, обусловливает необходимость разработки дополнительных алгоритмических решений и новых структур данных для обеспечения возможности использования этих сцен, а также улучшения временных показателей визуализации.

Открытые пространства являются одним из наиболее часто встречающихся типов трёхмерных сцен в интерактивных программных системах. В связи с этим структуры данных и алгоритмы для

Геоинформационные системы (картографические программы, мониторинг местности)

Симуляторы техники (авиа- и автотренажёры)

Средства проектирования (например, ландшафтный дизайн)

Игровые программы для разных аппаратных платформ

Системы виртуальной реальности (например, среда SecondLife или браузеры VRML)

Рис. 1. Области применения интерактивных систем визуализации трёхмерных сцен

данного типа сцен требуют к себе особого внимания. Для отображения ландшафтов в открытых пространствах в основном используется технология уровней детализации [2], позволяющая обеспечить различные вариации между временной эффективностью и качеством получаемого изображения и возможность отсечения невидимых частей. Однако для представления всего многообразия типов объектов трёхмерной сцены не существует абсолютно универсальных структур данных и алгоритмов, обеспечивающих максимальную эффективность. Общая производительность системы визуализации, как правило, складывается из совокупности алгоритмов отсечения невидимых частей и оптимизации конечной модели выводимых объектов для окончательной визуализации. Таким образом, разработка дополнительных методов увеличения временной эффективности процесса визуализации открытых пространств, базирующихся на специальных структурах данных, является актуальной проблемой.

Основные понятия и ограничения. В статье рассматриваются структуры данных и алгоритмы трёхмерной интерактивной визуализации открытых пространств, основой которых являются объекты полигонального типа. Под *интерактивностью* подразумевается возможность визуализации сцены в режиме реального времени, причём частота выводимых кадров (FPS) итогового двумерного изображения сцены должна быть не меньше частоты кадровой развёртки монитора. При сохранении такого уровня временной эффективности должен обеспечиваться оптимальный уровень качества картинки. Кроме того, структура данных сцены должна занимать объём памяти не больше определённого размера, чтобы обеспечить возможность визуализации этой сцены на персональном компьютере.

Открытое пространство представляет собой трёхмерную сцену, где количество видимых объектов в среднем случае значительно больше количества перекрытых объектов (рис. 2). Объекты становятся перекрытыми, когда их закрывают от наблюдателя другие объекты. Элементы пространства – ландшафт и множество объектов над ним. Исходными данными ландшафта является регулярная карта высот. Все объекты сцены полигональны и состоят из наборов вершин и треугольных граней. На ландшафт и объекты накладываются текстуры с 24-битной глубиной цвета.

Пространство можно считать *сверхбольшим*, если данные для его визуализации не помещаются в оперативную память компьютера. Так же справедливо утверждение о том, что данные в этом объёме невозможно визуализировать в реальном времени.

Постановка задачи. Предложенный метод позволяет решить задачу интерактивной визуализации сверхбольших открытых пространств. Задача сводится к улучшению временной эффективности методов визуализации сверхбольших открытых пространств с высокой детализацией объектов в условиях реального времени и большой дальности обзора.

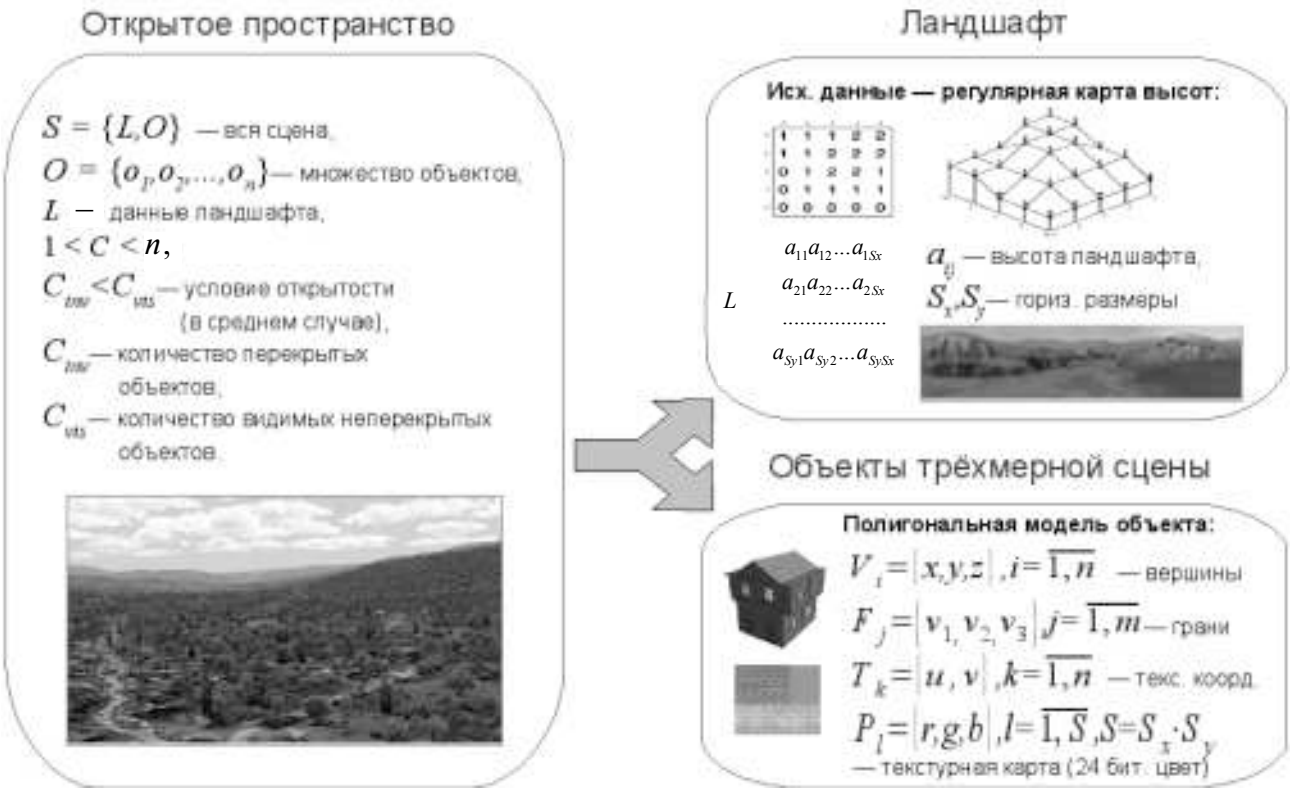


Рис. 2. Элементы открытого пространства

Для решения поставленной задачи были разработаны специальная структура данных и алгоритм визуализации открытых пространств. Структура данных объединяет в себе полигональную структуру ландшафта и объектов, что позволяет, в частности, использовать очень большие сцены и улучшить временную эффективность задачи отсечения невидимых частей. Данные организованы таким образом, чтобы динамическая подгрузка новых частей сцены происходила максимально эффективно. Для визуализации дальних объектов в работе использован неполигональный метод их отображения, на основе замены синтезированными двумерными изображениями, именованными «активными декорациями».

Суть предлагаемого подхода к визуализации. В основе предлагаемого решения лежат следующие методы повышения скорости визуализации:

отсечение всех возможных невидимых частей сцены;

использование многомасштабности (LOD) для ландшафта;

использование LOD для полигональных объектов;

использование динамической подгрузки для очень больших сцен;

рендеринг объектов в удобном для графического API порядке;

эффективное использование декораций и систем частиц;

ускорение средствами графического API.

Разработанная структура данных (рис. 3) базируется на квадродереве узлов ландшафта [3], которое физически размещается в оперативной памяти. К узлам дерева привязаны (сопоставлены) объекты. Эта структура поддерживает динамическую подгрузку новых частей сцены из файла или другого внешнего хранилища. С помощью единого квадродерева можно эффективно отсекать невидимые блоки ландшафта и объекты, сокращая количество проверок на видимость в отличие от раздельных квадродеревьев. Листовым узлам дерева соответствуют наборы объектов, находящиеся в пределах этих узлов. Они организованы в виде двунаправленных списков, а информация разделена таким образом, чтобы сократить объём используемой памяти. Разработанная структура основана на схеме, которая использовалась в алгоритме ChunkedLOD [4]. Она также поддерживает работу с бесконечными ландшафтами и была расширена таким образом, что позволяет осуществлять динамическую подгрузку объектов при перемещении камеры. При подгрузке новых данных строятся списки объектов для новых узлов, а данные о невидимых дальних узлах удаляются.

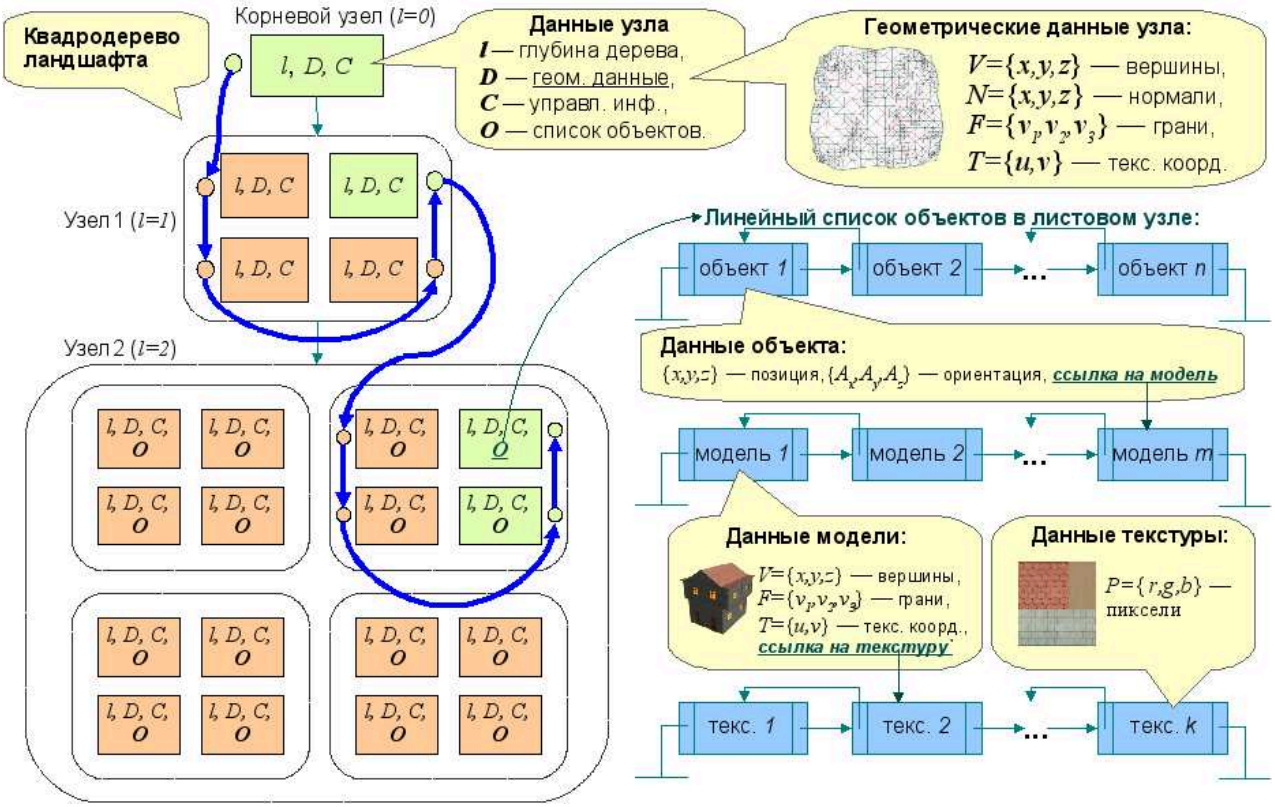


Рис. 3. Разработанная структура данных

В отличие от других подобных алгоритмов в предлагаемом решении используется такая структура, которая объединяет и ландшафт, и объекты в едином квадродереве. Это дерево используется для отсечения невидимых частей ландшафта и объектов, причём отсечение происходит за один проход, что позволяет увеличить временную эффективность. Такое улучшение алгоритма ChunkedLOD позволяет подгружать в параллельном потоке данные не только о ландшафте, но и об объектах над ним. Эта особенность даёт возможность визуализировать сверхбольшие сцены с ландшафтом и объектами, общий объём данных которых не помещается в оперативной памяти. Если в сцене имеется множество объектов с одинаковой геометрией, т. е. уникальных объектов не так много, то динамическая подгрузка происходит практически без потери производительности для системы визуализации.

Другой важной особенностью является использование «активных декораций» для отображения дальних полигональных объектов. Суть метода активных декораций заключается в следующем. В сцене есть большое количество объектов, которые находятся далеко от наблюдателя и поэтому видны только с одной стороны, даже при перемещениях камеры. Эти полигональные модели могут быть заменены аналогичными двумерными изображениями (декорациями).

Такой подход использовался и ранее. Главная особенность разработанного метода в том, что эти изображения синтезируются в реальном времени при помощи рендеринга тех же самых полигональных моделей в текстурные буферы. Далее такая текстура накладывается на специальный полигон, ориентированный к камере, который заменяет модель объекта в сцене (рис. 4).

Метод позволяет осуществить точную автоматическую подстройку изображения объекта под текущее положение и взгляд наблюдателя. Благодаря использованию ограниченного количества текстурных буферов, рендеринг объектов на текстуру происходит оптимально быстро для используемого аппаратного обеспечения (видеоадаптера). Основными трудностями реализации данного принципа является необходимость обновления текстур и корректировки ориентаций декораций при перемещении камеры.

Разработанный алгоритм можно использовать для решения следующих проблем:

рендеринг больших (out of core) открытых пространств в реальном времени;

поддержка дальнего взгляда наблюдателя вдоль линии горизонта;

отображение большого количества сложных дальних объектов;

неограниченные возможности масштабирова-

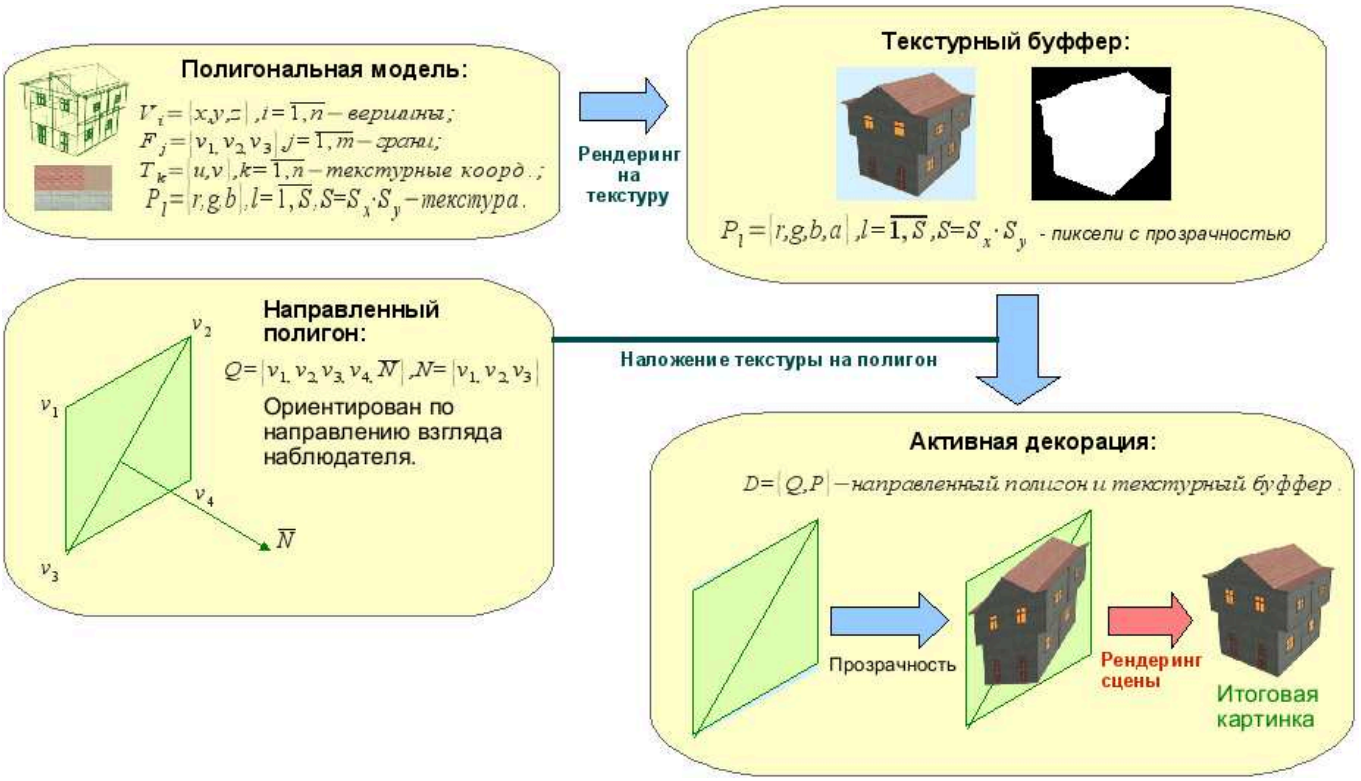


Рис. 4. Принцип метода «активных декораций»

ния сцены с помощью перемещений камеры (достигается с помощью LOD);

плавные переходы с различными уровнями детализации;

устранение разрывов между разными частями ландшафта;

текстурирование ландшафта с использованием LOD технологии;

использование аппаратного ускорения видеоадаптера средствами графического API в ключевых частях алгоритма.

Следует отметить, что предложенный метод «активных декораций» имеет возможности расширения. В силу того что множество выводимых биллбоардов, привязанных к разным объектам, представляют собой фактически систему частиц, существует вероятность их эффективной группировки. Более того, если такая группировка возможна, то её можно использовать для автоматического создания более грубых уровней детализации при перемещении камеры вверх от ландшафта. Таким образом, может работать, например, псевдотрёхмерная картографическая система реального времени или программа автоматизированного проектирования.

Ресурсная эффективность предлагаемого алгоритма. В качестве базы сравнения был определён базовый алгоритм на основе требований к современной системе визуализации открытых пространств реального времени. Алгоритм состоит из набора составных частей, решающих различные задачи. Этот базовый алгоритм использует следующие ключевые методы:

1. Отсечение ландшафта: Quadtree с равномерным разбиением.

2. Отсечение объектов над ландшафтом: Quadtree с разбиением пространства по количеству объектов.

3. Сортировка выводимых объектов: используется группировка видимых объектов в списки с сортировкой во время добавления.

4. LOD для ландшафта: используется Chunked-LOD.

5. LOD для объектов: используется статический LOD (предварительно заготовленные полигональные сетки).

6. Отображение дальних объектов: используются низкие уровни детализации геометрии объектов.

При анализе ресурсной эффективности использовался подход, базирующийся на работах М.В. Ульянова [5]. Для оценки используются функции трудоёмкости и объёма памяти. Обе функции зависят от нескольких параметров, которые определяются входами алгоритмов. Для вычисления функции трудоёмкости используется в основном пооперационный анализ алгоритма. Однако в некоторых случаях невозможно оценить фрагмент программы с помощью по-

операционного анализа. Это связано с наличием ветвлений, использующих положение камеры в пространстве. По этой причине анализ алгоритмов основывается на определённом положении камеры.

В проведённой теоретической оценке не использовалось понятие элементарной операции по описанным причинам. Вместо этого применялось понятие времени выполнения операции алгоритма. Если время операции является постоянной величиной, то эта операция получает символическое обозначение. Таким образом, для функций трудоёмкости и объёма памяти можно получить аналитические выражения. Затем полученные функции можно оценить табличным и графическим способом, зная примерное отношение используемых временных и ёмкостных констант. Использование приблизительной временной оценки определённых фрагментов (вычисляемое экспериментально) является единственным возможным способом получения качественной функции трудоёмкости. Аналогичное замечание относится к функции объёма памяти алгоритма.

В ходе теоретического анализа были получены следующие основные результаты. Функции трудоёмкости базового (*A1*) и разработанного (*A2*) алгоритмов имеют вид:

$$t_{A1}(n,w,v,n_c) = d + c + 0{,}5\log_2 n\,(2c+3d) + cn_c +$$

$$+0{,}6nw(c+0{,}9t_{pol}+0{,}1t_{ps}) + v(0{,}9r_{pol}+0{,}1r_{ps}),$$

$$t_{A2}(n,w,v,n_c) = d + c + 0{,}5\log_2 n\,(2c+3d) +$$

$$+c(n_c - 1 - \log_2 n) + 0{,}6nw(c+0{,}216t_u+0{,}8t_{ad}+$$

$$+0{,}18t_{pol}+0{,}1t_{ps}) + v(0{,}18r_{pol}+0{,}8r_{ad}+0{,}02r_{ps}),$$

где n — количество листовых узлов ландшафта; w — среднее количество объектов в секторе; v — количество видимых объектов, вычисленное в алгоритме; n_c — количество проверок на видимость узлов объектного дерева, произведённые в базовом алгоритме. Другими символами обозначено фиксированное время выполнения различных блоков алгоритма.

Эффективность временных улучшений в предлагаемом алгоритме по сравнению с базовым составляет

$$t_{A1} - t_{A2} = t_{A1-A2}(n, N_{obj}, N_{pol}) =$$

$$= 343(1+\log_2 n) + N_{obj}(0{,}15N_{pol} - 31),$$

$$n = 2^k,\ k > 1,\ N_{obj} > 0,\ N_{pol} > 0.$$

Графическое представление функции изображено на рис. 5. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. При среднем количестве полигонов на объект, превышающем 200 предлагаемый алгоритм работает быстрее базового при любом количестве объектов в сцене, причём, чем больше объектов в сцене, тем больше эффективность улучшений. Если среднее ко-

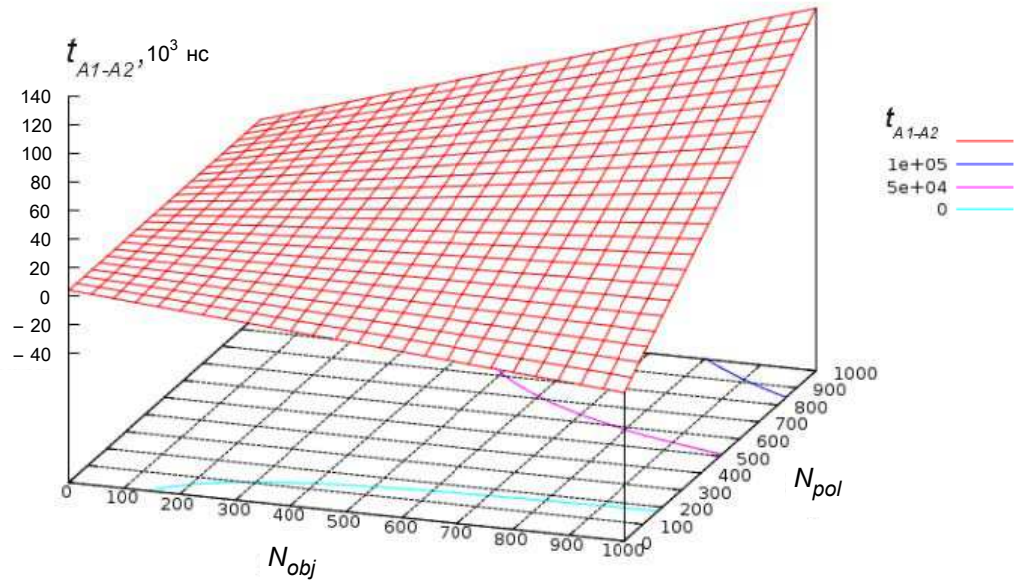


Рис. 5. График функции $t_{A1-A2}(n, N_{obj}, N_{pol})$, при $n = 4096$

личество полигонов в объектах меньше 200, то базовый алгоритм работает быстрее, если количество объектов в сцене не слишком велико. При малом количестве объектов предлагаемый алгоритм работает быстрее при любой детализации.

Функции объёмов памяти для базового и разработанного алгоритма соответственно составили:

$$V_{A1} = N_{mod} M_1 + N_{obj} O_1 + N_{lan} L_1 + N_{lan} S_1 +$$

$$+ vR + nwR + V_{oth},$$

$$V_{A2} = N_{mod} M_1 + N_{obj}(O_1 + O_{bil}) + N_{lan} L_1 +$$

$$+ nwR + V_{tex}(v) + vR + R(1 + 1{,}5\log_2 n) + V_{oth},$$

где N_{lan}, S_1, N_{obj}, O_1, O_{bil}, V_{tex}, R — постоянные величины, обозначающие количество или объём памяти различных программных объектов.

Разность объёмов памяти у алгоритмов можно записать следующем образом:

$$V_{A1} - V_{A2} = V_{A1-A2}(n, N_{obj}) = 58 N_{lan} - 25020 N_{obj} -$$

$$- 6\log_2 n + 4 .$$

Все значения функции $V_{A1-A2}(n, N_{obj})$ отрицательны. Это означает, что разработанный алгоритм $A2$ использует больше памяти, чем алгоритм $A1$. За счёт использования этой памяти в разработанном алгоритме обеспечивается улучшение временной эффективности.

Особенности программной реализации. При реализации разработанного алгоритма возникло множество проблем технического характера. К ним относятся рендеринг частей сцены в текстуру и выбор технологии эффективного вывода полигонов на финальном этапе визуализации. Реализация рендеринга в разработанных программных средствах происходит посредством OpenGL, поэтому все примеры в данной работе связаны именно с этим API. Для всех ключевых проблем найдены соответствующие решения.

Рендеринг трёхмерной модели в текстуру эффективно реализуется в основном посредством расширения GL_EXT_framebuffer_object. Для оценки практической эффективности способов вывода геометрии была написана отдельная тестирующая система [6], давшая ответы на поставленные вопросы. Все объекты над ландшафтом и сами блоки ландшафта в разработанной программной реализации выводятся через glDrawElements (...) в режиме GL_TRIANGLE_STRIP. Преобразование полигональных сеток в последовательности полос треугольников сделано с помощью библиотеки NvTriStrip Library на этапе предварительной обработки.

Экспериментальное исследование. Для практической оценки ресурсной эффективности алгоритма был проведён ряд экспериментов. Для экспериментов использовалась сцена со следующими параметрами. Ландшафт задан картой высот размерностью 2048×2048 с текстурой размером 2048×2048 пикселей. На поверхности равномерно расположено 600 объектов. Положение задано случайным образом. Каждый объект представляет собой LOD-модель, представленную 10 уровнями детализации. Все модели одинаковы, но для каждого из 600 объектов существует собственная загруженная в память модель со всеми LOD-уровнями. Это сделано для имитации мак-

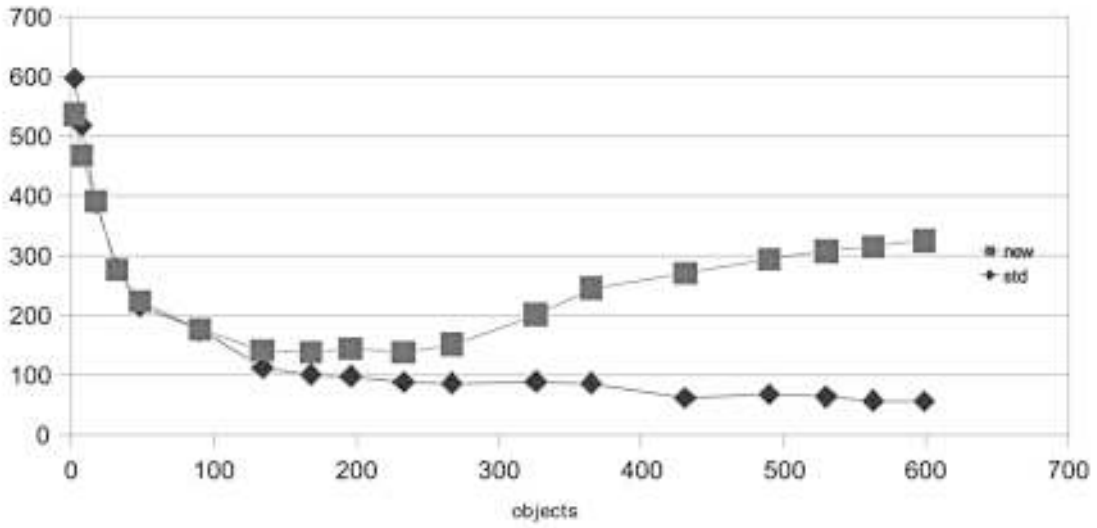


Рис. 6. Зависимость частоты кадров (FPS) от количества видимых объектов (objects)

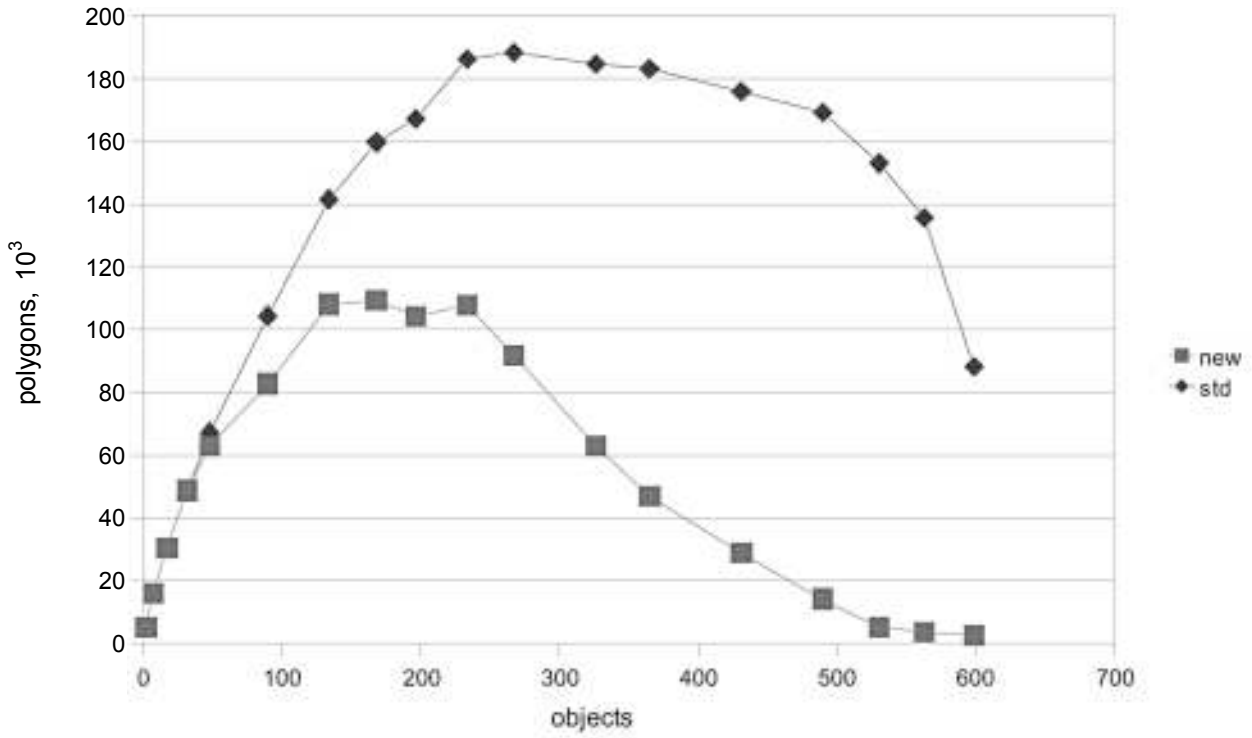


Рис. 7. Зависимость количества видимых полигонов (polygons) от количества видимых объектов (objects)

симального количества уникальных моделей. Полноде-тализированная полигональная сетка (LOD = 0) модели содержит 17 362 полигона.

В процессе эксперимента виртуальная камера двигалась из одного конца сцены в противоположный. При таком движении камеры постоянно увеличивалось количество видимых объектов, общее же число объектов в сцене оставалось постоянным. В контрольных точках фиксировались измеренные характеристики.

На рис. 6 показана зависимость частоты кадров (FPS) от количества видимых объектов (objects). Ромбами обозначен базовый алгоритм (std), а квадратами— предлагаемый (new).

Реализация предлагаемого алгоритма позволяет в среднем увеличить быстродействие в 1,5 раза по сравнению с базовым, когда имеются и ближние и дальние объекты. При дальнем просмотре множества объектов временная эффективность улучшений достигает 6 раз.

При малом количестве видимых объектов базовый алгоритм показывает лучшие результаты, поскольку аппаратное обеспечение прекрасно справляется с малым объёмом данных, а в предлагаемом алгоритме производятся дополнительные вычисления для поиска дальних объектов, которых не существует. С ростом количества объектов производительность обоих алгоритмов падает и разрыв сокращается. Приблизительно при 40 видимых объектах оба алгоритма обеспечивают одинаковый FPS. При дальнейшем увеличении числа объектов разработанный алгоритм показывает уже лучшие результаты и на уровне 140 объектов уже заметно обгоняет базовый. В пределах от 140 до 300 обозреваемых объектов дистанция становится уже достаточно большой и предлагаемый алгоритм использует «активные декорации» для всех дальних объектов, что позволяет ему сохранять стабильный FPS. Частота кадров базового алгоритма непрерывно падает в этом промежутке и далее, так как в этом случае постоянно растёт общее количество выводимых полигонов. После достижения 300 объектов камера выходит за пределы ландшафта и все видимые объекты начинают одинаково удаляться. В базовом алгоритме ничего особенного не происходит — идёт такое же увеличение выводимых полигонов и падение частоты кадров. В разработанном алгоритме всё больше и больше объектов начинают заменяться декорациями, поэтому общее количество выводимых полигонов начинает сокращаться и FPS начинает расти! В итоге все видимые объекты будут заменены «активными декорациями».

На рис. 7 представлена зависимость количества видимых полигонов (polygons) от количества видимых объектов (objects). График наиболее ярко показывает эффективность улучшений, а точнее насколько оптимальной получается итоговая полигональная сетка всей сцены.

При использовании метода «активных декораций» программа выводит в 1,6–8 раз меньше по-

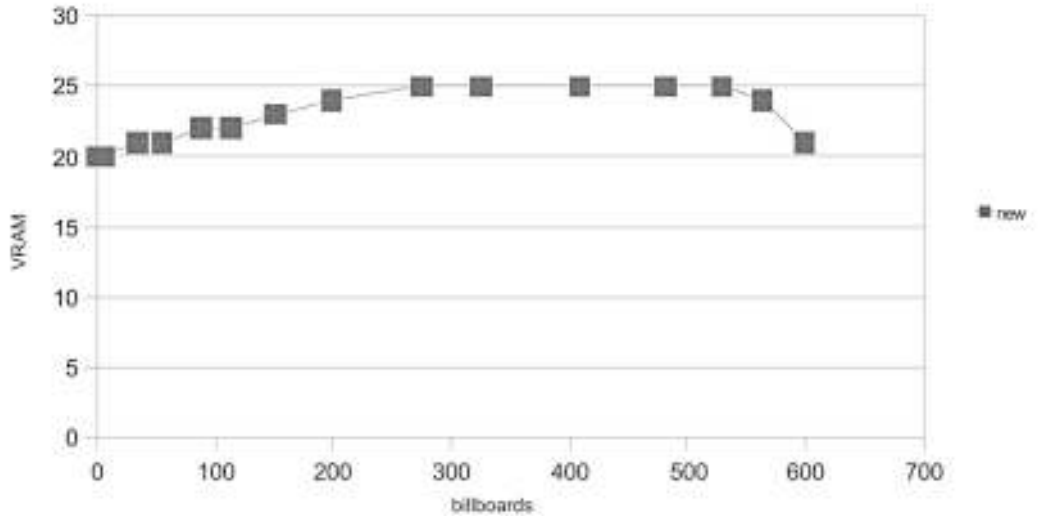


Рис. 8. Зависимость занятой видеопамяти (VRAM) от количества декораций

лигонов. В описанных условиях предлагаемый алгоритм требует всего на 5 Мб больше видеопамяти (рис. 8).

Для современных видеоадаптеров 5 Мб видеопамяти — весьма небольшой объём, что делает требования к аппаратному обеспечению вполне приемлемыми.

Разработанная система визуализации используется в программном продукте Electromap для отображения географических карт в реальном времени. Electromap представляет собой интерактивную поисковую систему для ориентации по географическим картам определённых регионов. Программная система Electromap применяется для наблюдения за состоянием объектов в соответствии с их географическим положением. Другой областью применения этой программы является поиск определённых мест, маршрутов и просто ориентация на местности. Обзор карт происходит в трёхмерном интерактивном режиме, причём размеры используемой карты не оказывают влияния на производительность (FPS).

Заключение. Отличие разработанной структуры данных от существующих аналогов состоит в поддержке динамической подгрузки объектов при перемещении камеры по трёхмерной сцене сверхбольшого объёма. В разработанном алгоритме используется новый подход для отображения дальних объектов на основе замены их двумерными изображениями. Его принципиальное отличие от используемых ранее подходов заключается в том, что эти изображения генерируются системой в реальном времени при помощи рендеринга полигональных моделей в текстурные буферы.

Совокупность полученных результатов является решением важной задачи в области интерактивной визуализации трёхмерных сцен, обеспечивающим улучшение ресурсной эффективности при отображении открытых пространств большого объёма в режиме реального времени.

Полученные результаты можно использовать:

в геоинформационных системах с применением подсистем интерактивной визуализации для картографических программ;

в программном обеспечении различных тренажёров техники для реализации реалистичного трёхмерного окружения;

в игровых программах для различных аппаратных платформ, использующих открытые пространства;

в системах виртуальной реальности.

Библиографические ссылки

1. **Никулин Е.А.** Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. С. 405–539.

2. **Милтри Д.** Треугольная сетка с множественной детализацией. URL: http://blender3d.org.ua/cgi-bin/def.pl?nt/192 (дата обращения: 30.04.2009).

3. **Соловьёв С.А., Марков Н.Г.** Сравнительный анализ алгоритмов разбиения трёхмерных сцен на деревья графических примитивов. URL: http://cgm.computer.graphics.ru/content/view/68 (дата обращения: 30.04.2009).

4. **Ulrich T.** Chunked LOD: Rendering Massive Terrains using Chunked Level of Detail Control. URL: http://tulrich.com/geekstuff/chunklod.html (дата обращения: 30.04.2009).

5. **Ульянов М.В.** Ресурсная эффективность вычислительных алгоритмов: теория и применение. Дис. ... д-ра техн.наук. М., 2005.

6. **Минаев Е.В.** Сравнение способов реализации рендеринга полигональной модели в OpenGL на примере регулярной карты высот ландшафта // Вестник МГУП. 2007. № 3. С. 79–83.

УДК 004.89:004.4:681.5

Г.А. Самигулина, канд.техн.наук, доц.
(Институт проблем информатики и управления МОН РК, г.Алматы)

ТЕХНОЛОГИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ИММУННЫХ СИСТЕМ – ОСНОВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Рассмотрена проблема создания новых информационных технологий на основе подхода искусственных иммунных систем. В настоящее время с ростом сложных систем автоматического управления известные крупные аварии в энергетике и промышленности показывают необходимость разработки новых подходов при проектировании систем для обеспечения эффективного управления в условиях неполноты информации.

Ключевые слова: искусственные иммунные системы, обработка многомерных данных, интеллектуальные экспертные системы.

Creation problem of the new information technologies from an artificial immune systems approach is considered. In present time known large-scale accidents in power engineering and industry along with increase of the complex automatic control systems show development necessity of the new methods that provide the efficient control in the matter of information incompleteness.

Key worlds: artificial immune systems, multidimensional dates processing, intellectual authority systems.

В связи с большими потоками обрабатываемой информации особую значимость имеет разработка новых информационных технологий с использованием различных нетрадиционных методов. Применение данных технологий в автоматизации сложных нелинейных технологических объектов приобретает всё большее значение для повышения интеллекта в сложных системах управления.

Исследования в области искусственного интеллекта (ИИ) позволяют создать новые информационные технологии при планировании (в автоматизированных системах управления), автоматизации проектирования, оперативном управлении, автоматизации научных исследований и защите информации.

Ключевой задачей ИИ является моделирование биологических принципов обработки информации. Процессы, происходящие в естественных системах, и принципы их функционирования эффективны, экономичны и быстродейственны. Стремительно развиваются такие науки как биоинформатика, биоматематика. Естественные биологические системы способны решать многомерные задачи огромной вычислительной сложности в реальном времени. Высокопараллельные механизмы функционирования позволяют биологическим системам справляться с задачами, которые невозможно решить с помощью последовательных ЭВМ. Решение четырёхмерных задач в реальном времени, не говоря уже о многомерных нелинейных динамических задачах, неподвластно современным последовательным машинам.

Особый интерес представляют искусственные иммунные системы (ИИС), математические основы которых представлены в работе [1]. Базовым элементом математических моделей обработки информации является пептид (белок). Биологическим прототипом информационных моделей выступает иммунная система человека и обработка информации молекулами белков на основе результатов самосборки. Иммунная система человека в настоящее время изучена значительно лучше, чем мозг, и обладает всеми свойствами ИИ – памятью, способностью к обучению и принятию решений в незнакомой ситуации. В основе ИИС лежит взаимодействие между белками иммунной системы человека и чужеродными антигенами, т. е. произвольное связывание (молекулярное узнавание) путём определения минимальной энергии связи между формальными пептидами.

Белки – это высокомолекулярные соединения или полимеры, которые состоят из аминокислот, последовательно соединённых друг с другом пептидными связями и образующих полипептидный остов. Наиболее важными при обработке информации молекулами белка являются пространственная конфигурация белков, принципы самосборки их комплексов и сетей. Процесс самосборки функциональной пространственной формы определяется слабыми (невалентными) взаимодействиями. Эти силы определяют нативные (функциональные) свойства белка, при которых возможен процесс узнавания «чужого».

Разработка высокоэффективных ИИС находится на начальном этапе, поэтому они недоста-

точно распространены, но имеют большие перспективы развития.

Большие надежды с ИИС связаны в области организации защиты от компьютерных вирусов, так как на сегодняшний день традиционные методы защиты не обеспечивают желаемые результаты. Способность иммунной системы человека безошибочно распознавать чужеродный вирус может дать ключ к созданию высокоэффективных систем защиты.

В настоящее время ведутся работы по созданию антивирусных технологий. Основная проблема заключается в создании алгоритмов безошибочного распознавания вирусов, так как ошибки энергетических оценок ИИС не позволяют добиться 100%-го распознавания. Так же как и в искусственных нейронных сетях существует проблема создания эффективных и простых методик обучения ИИС. Для этого необходимо выделять из множества факторов самые главные, которые наиболее влияют на процесс. Затем необходимо анализировать информативные признаки, обучать ИИС и оценивать процесс обучения. Проблема усложняется с ростом размерности системы и увеличением времени её обучения [2].

Обработка многомерной совокупности данных с помощью ИИС приводит к серьёзным проблемам, которые влияют на достоверность прогноза. Определение минимальной энергии связи затруднено из-за погрешностей энергетических оценок ИИС, возникающих из-за неполноты данных, их корреляции и ошибок измерения. Оценка энергетической погрешности возможна на основе гомологов [3].

Определение 1. Под гомологичными белками будем понимать белки, имеющие одинаковое происхождение и обладающие примерно одинаковыми пространственными структурами, несмотря на многочисленные мутации в аминокислотной последовательности.

Необходимо отметить, что гомология возможна при наличии 25 % одинаковых аминокислотных остатков в одинаковых позициях цепи, которые обеспечивают одинаковые пространственные структуры [2].

Определение 2. Под конформацией будем понимать наиболее энергетически выгодные и стабильные пространственные структуры белка с его уникальной последовательностью аминокислот.

Белки, являясь динамическими структурами, в процессе своего биологического функционирования могут претерпевать конформационные изменения, от которых зависят специфические биологические функции белков. Нарушение определённых конформационных состояний ведёт к потере биологической активности белка.

Определение 3. Под нативной структурой белка будем понимать естественное состояние белка, находящегося в нормальной конформации. Данная конформация обусловливает специфические биологические функции белка и соответствует минимуму энергии связи.

Основной чертой белковых аминокислотных последовательностей, определяющей их физические свойства, является повышенная стабильность нативной структуры, т. е. существование большой щели между энергией нативной структуры и минимальной энергией неверно свернутых структур. Нативную (функциональную) укладку цепи N можно определить в процессе сворачивания цепи, где потенциал каждого взаимодействия усреднён по гомологам.

Примером использования подхода ИИС может служить разработанная интеллектуальная информационная технология биометрического контроля доступа на основе аутентификации рукописной подписи [4]. Под аутентификацией понимается установление подлинности информации на основе внутренней структуры самой информации. В данном случае подразумевается аутентификация подлинности личного ключа по рукописной подписи. Известно, что рукописная подпись является отражением биометрических характеристик каждого человека и может быть использована в качестве идентификатора отдельной личности. Биометрические особенности организма, выраженные через моторные реакции человека, отражаются в индивидуальных характеристиках рукописной подписи. Проектирование надёжных биометрических систем контроля доступа является одним из приоритетных направлений информационной безопасности. Признаки, отражающие динамические свойства письменно (двигательного навыка), являются идентификаторами личности и могут быть использованы для определения подлинных и поддельных подписей. Высокая информативность признаков (нажим, скорость, ритмическая структура по контуру подписи) объясняется тем, что они являются отражением биометрических особенностей человека. Эти характеристики обычно не осознаются и не подлежат корректировке. Поэтому они практически не могут воспроизводиться другим лицом для подделки подписи. В качестве основных динамических характеристик используются нажим и темп получения подписи, которые выражаются шириной штриха и распределением плотности красителя в подписи.

Другой сферой применения ИИС являются Internet-технологии. Появились современные технологии дистанционного обучения в среде Internet, которые направлены на интенсифика-

цию процессов обучения, развитие логического мышления студентов и навыков творческой работы. Технология ИИС [5, 6] позволяет создать механизм быстрого анализа текущей ситуации в процессе получения знаний каждым студентом. Контроль и оперативное управление процессом получения знаний в среде Internet требуют анализа большого количества информативных признаков, характеризующих каждую личность. Это необходимо для учёта индивидуальных особенностей студентов и оперативной корректировки предлагаемого материала в зависимости от темпов обучения. Достаточно большой набор индивидуальных характеристик позволяет более точно отразить интеллектуальный потенциал каждого студента, с учётом которого строится программа обучения, и т. д.

Следующим примером применения ИИС может служить разработка интеллектуальных стохастических квазирасщеплённых систем управления [7]. Со стремительным ростом сложных нелинейных динамических систем управления высокой размерности (когда объекты управления функционируют в условиях неполноты информации и переменные, характеризующие систему, задаются приближённо в рамках некоторого диапазона) актуальной является проблема разработки новых нетрадиционных информационных технологий для создания высокоэффективных и качественных систем автоматического управления объектами.

Данный метод [8] позволяет декомпозировать исходную сложную систему управления на взаимосвязанные подсистемы меньшей размерности, но эквивалентные по динамическим свойствам исходной сложной системе. С помощью алгебраических проекторов исходное линейное векторное вещественное пространство представляется прямой суммой подпространств. В результате математическая модель рассматриваемой системы управления представляется в соответствующих подпространствах системой линейных дифференциальных уравнений размерности $(n - 1)$ и одного нелинейного дифференциального уравнения. При некоторых условиях взаимосвязями между подсистемами можно пренебречь. Тогда исследование свойств исходной системы может быть сведено к анализу более простых по структуре подсистем.

Развитию метода квазирасщепления на класс стохастических систем управления посвящена работа [9]. Разработанная интеллектуальная технология [10] на основе ИИС позволяет достоверно прогнозировать поведение стохастической системы, выбирать предпочтительное управление и корректировать текущее управление.

Рассмотрим управляемый объект, на входе которого действуют возмущения типа белого шума, и математическая модель которого представлена в векторно-матричной форме Ланжевена:

$$\dot{X}(t) \quad A(t)X(t) \quad B(t)U(t) \quad D(X)Z(t),$$

$$t \quad I(t_0), \qquad (1)$$

где множество $I(t_0)$ $[0, \ )$; t – текущее время; $X(t)$ $(X_1(t),\ldots, X_n(t))^T$ R^n – вектор состояний управляемого объекта; индекс T – символ транспонирования; $A(t)$ $[a_{ij}(t)]$ – функциональная матрица размерности $n\times n$; $B(t)$ $(b_1(t),\ldots,b_n(t)^T$ – функциональный вектор размерности $n\times n$. Матрица $A(t)$ и вектор $B(t)$ удовлетворяют соотношениям

$$A \quad A(t) \quad A \ , \ B \quad B(t) \quad B \ , \qquad (2)$$

где $A \ , A \ , B \ , B$ – известные константные матрицы и векторы соответствующих размерностей (неравенства (2) понимаются в покомпонентном смысле); $U(t)$ R^1 – скалярное управление; $Z(t)$ R^n – аддитивное векторное возмущение типа белого шума, которое действует на входе объекта управления: $Z(t) = (Z_1(t),\ldots, Z_n(t))^T$; $D(X)$ – матрица шумов, размерности $n\times n$, зависящая от переменных состояний объекта управления:

$$D(X) \begin{matrix} 0 & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & 0 & \ldots & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ X_1 & X_2 & \ldots & X_n \end{matrix} . \qquad (3)$$

Управление $U(t)$ выбирается так, чтобы обеспечить желаемую динамику в замкнутой системе:

$$U(t) \quad U(X(t),t). \qquad (4)$$

Желаемая динамика замкнутой системы управления задается в виде

$$(t) \quad C^T X \quad 0, \qquad (5)$$

где C R^n const; $C^T = [C_1,\ldots, C_n]$, $C_n = 1$.

Выражения (1)–(5) определяют математическую модель, далее называемую *S*-системой [9].

Задача исследования формулируется следующим образом: разработать процедуру исследования асимптотической устойчивости стохастической системы управления (*S*-системы) на основе метода квазирасщепления и биологического подхода ИИС.

Недостатком математических моделей в форме Ланжевена является наличие возмущения типа белого шума, что ведёт к разрывности траекторий движения. Более удобной формой представления математических моделей являются стохастические квазирасщеплённые дифференциальные уравнения типа Ито [9]. После применения процедуры квазирасщепления получаем две подсистемы: $\overline{S_1}$ и $\overline{S_2}$, записанные относительно функций $x'(t)$ и $\sigma(t)$ в виде стохастических дифференциальных уравнений типа Ито. При этом сохраняется кинематическое подобие исходной *S*-системе.

Пусть управление $U(t)$ будет таким [8], что для момента времени $t_1 \geq t_0$ для подсистем $\overline{S_1}$ и $\overline{S_2}$ решения $x'(t)$, $\sigma(t)$ удовлетворяют следующему неравенству:

$$\| \quad (t)\| \qquad \|x'(t)\| \quad , \tag{6}$$

где δ, η – const, $\delta \geq 0$, $\eta \geq 0$.

В данном случае асимптотика решений *S*-системы определяется асимптотикой решений $\overline{S_1}$-подсистемы.

Когда выполняется обратное неравенство

$$\| \quad (t)\| \qquad \|x'(t)\| \quad , \text{ где } t \quad I(t_1) \ , \tag{7}$$

то асимптотика решений определяется подсистемой $\overline{S_2}$.

В пространстве состояний выделим множества конусного типа следующего вида:

$$G_{,} \qquad \{x \quad R^n : \| \quad (x)\| \qquad \|x'(x)\| + \eta\}, \tag{8}$$

при $\eta = 0$,

$$\overline{G_{,}} \qquad \{x \quad R^n : \| \quad (x)\| \qquad \|x'(x)\| + \eta\}, \tag{9}$$

при $\eta = 0$.

Таким образом, заданные множества порождают в пространстве R^n два класса решений: $\{x(t)\}_1$, $\{x(t)\}_2$ для $t \quad I(t_0)$. Первый класс решений относится к области $G_{\delta,\eta}$ (подсистема $\overline{S_1}$), второй – к области $\overline{G}$ (подсистема $\overline{S_2}$). Исследование динамических свойств исходной *S*-системы сводится к исследованию подсистемы либо $\overline{S_1}$, либо $\overline{S_2}$.

Так как при квазирасщеплении [8] считается, что пространство R^n представляется прямой суммой подпространств L_1 и L_2 ($L_1 \quad R^n$, $L_2 \quad R^n$), то область G^1 будет дополнением множества $G_{\delta,\eta}$ до подпространства L_1, а область $\overline{G^2}$ дополнением множества $\overline{G}$ до подпространства L_2. Область G^1 относится к третьему классу решений, а область $\overline{G^2}$ к четвёртому.

Данная классификация решений необходима для исследования асимптотической устойчивости квазирасщеплённых подсистем на основе перспективного биологического подхода ИИ.

Согласно идеологии ИИС формируются эталонные матрицы управления $U_1, U_2, \overline{U_1}, \overline{U_2}$ для каждого из четырёх классов, которые выделяются экспертами в зависимости от областей функционирования и определяются технологическими процессами, параметрами квазирасщеплённых подсистем $\overline{S_1}$, $\overline{S_2}$. Для улучшения специфичности узнавания каждая эталонная матрица сворачивается в квадратную матрицу. После сингулярного разложения получаем правые и левые сингулярные векторы $\{x_1, y_1\}$, $\{x_2, y_2\}$ эталонных матриц и т. д.

Формируются также матрицы управления, рассматриваемые как образы: $u_1, \ldots, u_n$. Согласно ИИС энергия связи между формальными пептидами может быть представлена в виде

$$W_1 \quad x_1^T u y_1 \ , \ W_2 \quad x_2^T u y_2 \ , \ W_3 \quad x_3^T u y_3 \ ,$$

$$W_4 \quad x_4^T u y_4 \ . \tag{10}$$

Известно, что нативная (функциональная) укладка белковой цепи соответствует минимуму энергии связи, поэтому минимальное значение энергии связи определяет класс, к которому принадлежит данный образ:

$$k : W_k \quad \min\{W_1, W_2, W_3, W_4\} \ . \tag{11}$$

С использованием сингулярного разложения матриц разработаны процедуры обучения с учителем, классификации исходной информации и распознавания образов для исследования асимптотической устойчивости стохастических квазирасщеплённых подсистем для качественного прогноза поведения интеллектуальной системы, выбора предпочтительных управлений и корректировки текущего управления.

Ниже приведен алгоритм, который состоит из 12 шагов.

Шаг 1. Получение выражений операторов проектирования P_1 и P_2 для стохастической системы уп-

равления (*S*-системы) в форме дифференциальных уравнений Ланжевена [9].

Шаг 2. Получение квазирасщеплённых подсистем $S_1^{'}$ и $S_2^{'}$ на основе операторов проектирования P_1 и P_2 в форме Ланжевена.

Шаг 3. Получение стохастических квазирасщеплённых подсистем $\overline{S_1}$ и $\overline{S_2}$ в форме дифференциальных уравнений типа Ито.

Шаг 4. Классификация областей решений квазирасщеплённых подсистем $\overline{S_1}$ и $\overline{S_2}$ [7].

Шаг 5. Нормировка входных признаков [2] таким образом, чтобы математическое ожидание было равно нулю, а дисперсия единице. Обычно признаки, характеризующие состояние прогнозируемой системы, измеряются в разных единицах, поэтому результат может существенно зависеть от выбора масштабов измерения.

Шаг 6. Выделение информативных признаков на основе методов факторного анализа [11], снижение размерности анализируемого пространства признаков и построение оптимальной структуры иммунной сети.

Шаг 7. Создание экспертами матриц управления (эталонов) для каждого класса, сворачивание их в квадратные матрицы для улучшения специфичности узнавания [2], сингулярное разложение данных матриц и определение правых и левых сингулярных векторов. Матрицы эталонов рассматриваются как антигены.

Шаг 8. Процедуры обучения ИИ с учителем.

Шаг 9. Создание матриц управления (образов), сворачивание их в квадратные матрицы для улучшения специфичности узнавания. Матрицы образов рассматриваются как антитела.

Шаг 10. Определение минимальной энергии связи между формальными пептидами (антителами и антигенами) и решение задачи распознавания образов. Минимальное значение энергии связи указывает на класс, к которому принадлежит данный образ.

Шаг 11. Оценка энергетических ошибок ИИ на основе свойств гомологичных белков [3].

Шаг 12. Определение асимптотической устойчивости стохастической системы управления (*S*-системы) по квазирасщеплённым подсистемам $\overline{S_1}$ или $\overline{S_2}$ [7].

Использование биологического подхода ИИС для исследования асимптотической устойчивости стохастических квазирасщеплённых систем управления позволяет прогнозировать поведение сложной стохастической системы по квазирасщеплённым подсистемам, осуществлять предпочтительное управление и корректировать текущее управление.

Перечисленные выше примеры показывают лишь некоторые области применения технологии ИИС [12]. Несомненно, что разработка и внедрение новых информационных технологий на основе ИИС имеют большие перспективы развития.

Библиографические ссылки

1. **Тараканов А.О.** Математические модели биомолекулярной обработки информации: формальный пептид вместо формального нейрона // Проблемы информатизации. 1998. № 1. С. 46–51.

2. **Самигулина Г.А.** Разработка интеллектуальных экспертных систем управления на основе технологии искусственных иммунных систем. Алматы: ИПИУ МОН РК, 2008. 137 с.

3. **Samigulina G.A., Chebeiko S.V.** Technology of elimination errors the energy estimations of Artificial Immune Systems of the forecasting plague // Proceedings on the sixth international conference on Computational Intelligence and Natural Computation (CINC 2003). USA, Cary, North Carolina, 2003. P. 1936–1696.

4. **Самигулина Г.А.** Биомертическая система контроля доступа по рукописной подписи на основе искусственных иммунных систем // Вестник КазНТУ. 2005. № 5. С. 142–149.

5. **Самигулина Г.А.** Интеллектуальная экспертная система дистанционного обучения на основе искусственных иммунных систем // Информационные технологии моделирования и управления. 2007. № 9(43). С. 1019–1024.

6. **Самигулина Г.А.** Разработка дистанционной образовательной технологии на основе искусственных иммунных систем // Открытое образование. 2008. № 6.

7. **Самигулина Г.А.** Интеллектуальная система прогнозирования асимптотической устойчивости в среднем квадратическом стохастической системы управления // Тр. IX Междунар. конф. «Интеллектуальные системы и компьютерные науки». М.: МГУ им. Ломоносова, 2006. Т. II. Ч. 2. С. 265–269.

8. **Емельянов С.В., Коровин С.К.** Дискретные бинарные системы автоматического управления // Итоги науки и техники. Техн. кибернетика. М.:ВИНИТИ, 1984. № 17. С. 70–160.

9. **Самигулина Г.А.** Автоматизированное построение бинарных стохастических систем управления на основе метода квазирасщепления. Алматы: ИПИУ МОН РК, 2001. 67 с.

10. **Самигулина Г.А.** Разработка систем поддержки принятия решений на основе интеллектуальной технологии искусственных иммунных систем // Системы управления и информационные технологии. 2008. № 2.3 (32). С. 382–386.

11. **Иберла К.** Факторный анализ. М.: Статистика, 1980. 235 с.

12. **Самигулина Г.А., Самигулина З.И.** Разработка пакета прикладных программ для обработки, анализа и прогноза данных искусственными иммунными сетями // Вестник Национальной инженерной академии РК. 2008. № 1(27). С. 39–44.

УДК 66.0:681

Е.П. Решетняк, д-р техн.наук, проф., **И.В. Харина** (Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова), **А.В. Комиссаров,** канд.техн.наук, доц. (Саратовский военный институт биологической и химической безопасности)

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКИМ РЕАКТОРОМ

Рассмотрены линеаризованные уравнения движения, полученные на основе нелинейных уравнений биохимического реактора. Показано, что свойства реактора как объекта управления существенно зависят от условий его работы, а оптимальная система автоматического управления должна быть адаптивной. Предложен алгоритм адаптации системы автоматического управления реактором с оцениванием сигналов модального управления. Численные исследования предложенного алгоритма показали его высокую эффективность.

Ключевые слова: биохимический реактор, математическая модель, система автоматического управления, оценивание сигналов и управлений, адаптивное модальное управление.

Linearize movement equalizations are considered received from non-linear equalizations for biochemical reactor. It is shown that reactor characteristics as object of control depend on its work conditions but optimum automation control system must be adaptive. Adaptation algorithm for automatic control system with modal control signals estimation is proposed. Numerical investigation of the offered algorithm proved its high efficiency.

Key worlds: biochemical reactor, simulator, automation control system, control signals estimation, adaptive modal control.

Введение. Современное состояние методологии исследования и создания систем управления биотехнологическими процессами (СУБТП) в значительной мере характеризуется использованием не только сложных экспериментальных методов, но и современных подходов к расчёту, оптимизации и проектированию этих систем. В качестве объекта управления (ОУ) в этой методологии обычно рассматривается основной аппарат биотехнологической системы – биохимический реактор (БХР). Основным методом анализа и синтеза СУБТП является метод математического моделирования.

Математические модели (ММ) процессов ферментации и их параметры чаще всего могут быть определены только из эксперимента с использованием физических моделей (лабораторная установка для определения кинетических параметров ферментации, стенд для определения коэффициентов массопередачи и т. д.). Это вызвано следующими особенностями протекания биохимических процессов [1]: автокаталитическим характером биохимических превращений; сложностью и неопределённостью механизмов биохимического превращения и химического состава реакционных систем (питательная среда и т. д.); низкими концентрациями субстратов и продуктов, низкими скоростями превращений; существенным изменением свойств ОУ в ходе процесса. Таким образом, обязательным требованием к СУБТП должно стать требование адаптивности.

В настоящее время для синтеза систем управления широко применяются методы коррекции систем [2], аналитического конструирования регуляторов [3] и модального управления (МУ) [4]. Следует отметить, что многие задачи синтеза СУБТП по своему физическому содержанию являются задачами МУ, поэтому ниже исследуются алгоритмы адаптивного МУ [5].

Исследование свойств биохимического реактора как объекта управления. При решении задач анализа и синтеза систем автоматического управления процесс ферментации рассматривается как динамическая система, представленная ММ в виде дифференциальных уравнений с известными входными и выходными переменными. В данной работе на примере известной ММ БХР – ферментера непрерывного действия – даётся ответ на вопрос, как изменяются свойства этой системы при изменении условий функционирования.

На рис. 1 представлена схема проточного ёмкостного БХР с мешалкой, в котором осуществляется процесс культивирования (выращивания) биомассы анаэробных микроорганизмов [1]. Субстрат поступает в аппарат с потоком питательной среды, культуральная жидкость с находящимися в ней микроорганизмами непрерывно отводится из ферментера. Протекание процесса культивирования определяется текущими значениями концентрации биомассы и субстрата в рабочем объёме культиватора и в выходном потоке.

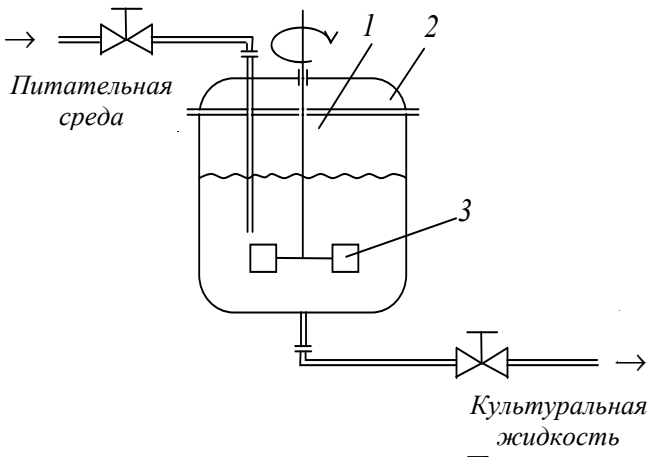


Рис. 1. Схема ферментера непрерывного действия:

1 – корпус реактора; *2* – крышка; *3* – мешалка

При выводе рассматриваемой ММ БХР приняты следующие допущения: процесс описывается моделью идеального перемешивания, в ферментере выращиваются микроорганизмы одной популяции, процесс протекает в изотермических условиях, концентрация биомассы во входном потоке равна нулю, кинетика процесса протекает в соответствии с зависимостью Моно.

ММ динамического режима БХР в безразмерных переменных имеет вид [1]

$$\begin{aligned} \frac{dx}{d} &= f\,x - \frac{s}{1+s}x; \\ \frac{ds}{d} &= f\,s_0 - f\,s - \frac{s}{1+s}x, \end{aligned} \qquad (1)$$

где x – текущая концентрация биомассы в рабочем объёме культиватора; s и s_0 – концентрации субстрата в культиваторе и в питательном потоке соответственно; f – расход жидкой фазы через реактор.

Как видно, ММ БХР (1) нелинейная. Её исследование сопряжено с большими трудностями, поэтому для изучения поведения ОУ при небольших отклонениях его состояния от опорного, как правило, желаемого, стационарного, ММ ОУ линеаризуют. После линеаризации система дифференциальных уравнений БХР примет вид

$$\begin{matrix} x_1 & 0 & a_{12} & x_1 & b_{11} & 0 \\ x_1 & a_{21} & a_{22} & x_2 & b_{21} & b_{22} & y_0 \end{matrix}, \qquad (2)$$

где δ, y_0, x_1, x_2 – приращения расхода жидкой фазы через реактор, концентрации субстрата во входном потоке, текущих значений концентрации биомассы и субстрата в рабочем объёме культиватора и в выходном потоке соответственно.

При линеаризации в соответствии с рекомендациями [1] приняты следующие координаты опорного движения s_0° 10, f° 0,1; 0,2;...; 0,9. Результаты расчёта матриц состояния и входа линеаризованной модели для трёх режимов работы БХР представлены в таблице, графики соответствующих переходных функций – на рис. 2; траектории корней p_i характеристического уравнения – на рис. 3.

Как видно, коэффициенты линеаризованной ММ БХР, его переходные функции, корни характеристического уравнения (характеристические числа, моды) существенно изменяются при изменении расхода жидкой фазы через БХР: $f^{\circ} = 0{,}1$; 0,2;…; 0,9. Таким образом, оптимальная система автоматического управления БХР должна быть адаптивной, т. е. изменять свои структуру и параметры в соответствии с изменением свойств ОУ в процессе функционирования.

Алгоритм модального управления. Смысл термина «модальное управление» заключается в том, что синтезируемое управление должно обеспечить в замкнутой системе заданное желаемое расположение нулей и полюсов передаточной функции. Многие задачи синтеза СУБТП по своему физическому содержанию являются задачами МУ, однако при проектировании СУБТП эти методы не получили пока должного признания.

Желаемое распределение нулей и полюсов в замкнутой СУБТП зададим в виде эталонной модели (ЭМ). Тогда задачу МУ можно сформулировать следующим образом. Пусть уравнение ОУ и ЭМ имеет вид

$$x = Ax + Bu + Df, \qquad (3)$$

Численные значения параметров математической модели биохимического реактора

Режим	f^0	s_0^0	a_{12}	a_{21}	a_{22}	b_{11}	b_{21}	b_{22}
1	0,2	10	6,24	0,2	6,44	9,75	9,75	0,2
2	0,7	10	0,69	0,7	1,39	7,67	7,67	0,7
3	0,8	10	0,24	0,8	1,04	6	6	0,8

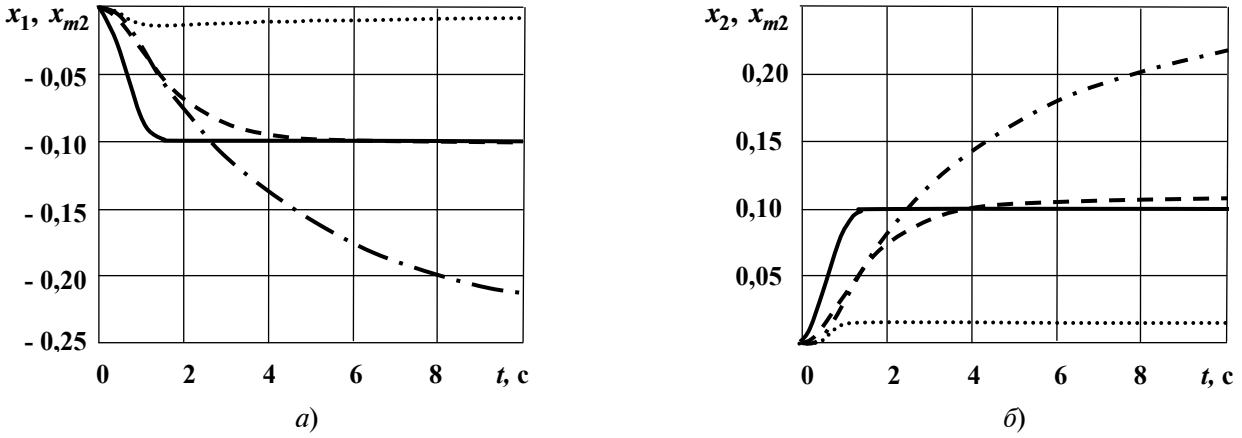


Рис. 2. Кривые переходных процессов неуправляемого движения биохимического реактора для трёх режимов работы и эталонной модели:

а – x_1, x_{m1}; *б* – x_2, x_{m2};
····· – режим № 1; - - - - – режим № 2; –·–·–·– – режим № 3; ——— – эталонная модель

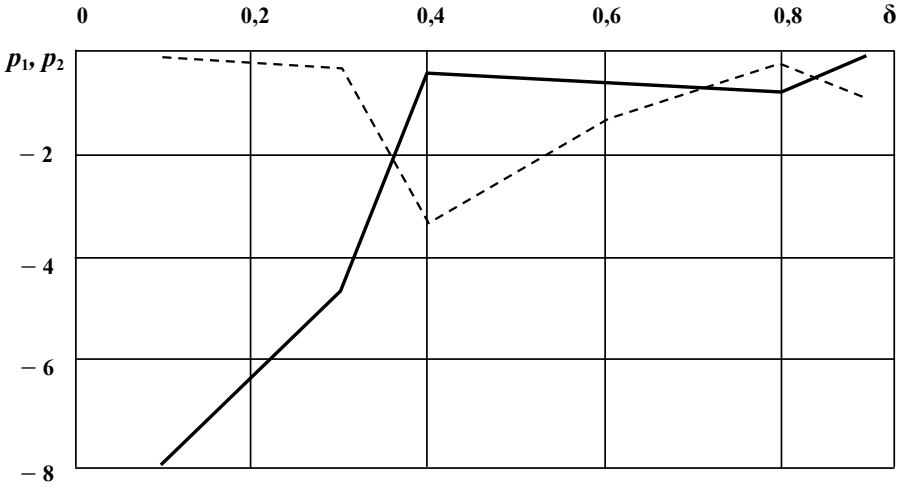


Рис. 3. Траектории действительных корней характеристического уравнения линеаризованной модели ферментера при изменении расхода жидкой фазы:
——— – корень № 1; - - - - – корень № 2

$$x_m \quad A_m x_m \quad B_m u_z, \quad x(0) \quad x_m(0),$$

где $x, x_m \quad R^n$, $u, u_z \quad R^m$, $f \quad R^v$ – векторы; A, B, D, A_m, B_m – матрицы соответствующей размерности, для которых выполняются условия «полного соответствия модели»

$$rank[B] \quad rank[B, \ A] \quad rank[B, B_m]$$

$$rank[B, D] \quad m. \qquad (4)$$

Тогда управление

$$u_{opt} \quad B \ (\ Ax \quad B_m u_z \quad Df) \qquad (5)$$

является решением задачи синтеза МУ, обеспечивающего выполнение условия

$$e \quad x_m \quad x \quad 0, \qquad (6)$$

где $\Delta A = A_m - A$; B^+ – псевдообратная матрица матрицы B.

Запишем следующие системы уравнений с неизвестными матрицами A_1, A_2, A_3:

$$\Delta A = BA_1, B_m = BA_2, D = BA_3 . \qquad (7)$$

Как известно, система алгебраических уравнений имеет решение тогда и только тогда, когда ранг матрицы системы равен рангу расширенной системы. Поэтому при выполнении условий (4)

матричные уравнения (7) имеют решения, а управление (5) можно записать так:

$$u_{opt} = B^{+}(B A_1 x + B A_2 u_z - B A_3 f) =$$

$$= A_1 x + A_2 u_z - A_3 f;$$

$$\Delta A = BA_1;\ B_m = BA_2;\ D = BA_3$$

и

$$u_{opt} = A_1 x + A_2 u_z - A_3 f.$$

В этом случае уравнение замкнутой системы (3) и (5) примет вид

$$x \quad Ax \quad B(A_1 x \quad A_2 u_z \quad A_3 f) \quad Df$$

$$Ax \quad Ax \quad B_m u_z \quad Df \quad Df \quad A_m x \quad B_m u_z$$

Нетрудно убедиться, что при $x(0) = x_m(0)$ условие (6) выполняется, что и требовалось доказать.

Следует отметить, что для определения коэффициентов закона управления (ЗУ) (5) необходимо знать параметры матриц A, B, D ММ ОУ (3). В адаптивной системе их оценки A, B, D могут быть получены в результате текущей идентификации. Ниже предлагается синтезировать адаптивную систему на основе оценивания непосредственно сигналов МУ (5), а не его коэффициентов.

Алгоритм адаптации с оцениванием сигналов модального управления. Алгоритм адаптации на основе оценивания непосредственно сигналов МУ впервые предложен для непрерывных систем управлений с одной степенью свободы и одним входом в работе [6]. Это позволяет существенно упростить алгоритм адаптивного управления, а, следовательно, и его реализацию. Здесь этот принцип управления рассматривается для многомерных непрерывных систем. Используем фильтр

$$W_f(p) \quad \frac{U_{opt}}{U_{opt}} \quad \frac{1}{T_f p \quad 1} \quad \frac{k_f}{p \quad k_f},$$

$$U_{opt}(0) \quad 0, \qquad (8)$$

где U_{opt} – оценка оптимального управления (5).

Тогда можно записать

$$U opt \quad k_f(U_{opt} \quad U_{opt}) \quad k_f[B(Ax \quad B_m u_z$$

$$Df) \quad U_{opt}] \quad k_f B(Ax \quad A_m x \quad B_m u_z \quad Df$$

$$BU_{opt}) \quad k_f B(x \quad A_m x \quad B_m u_z). \qquad (9)$$

Проинтегрировав выражение (9), окончательно получим

$$U_{opt} \quad k_f B\left(x \quad A_m \int_0^t x d \quad B_m \int_0^t u_z d\right). \quad (10)$$

Данный закон управления можно считать адаптивным, если известна матрица B, параметры которой можно определить в результате текущей идентификации [7]. Как показывают численные исследования, во многих случаях достаточно задать правильно только структуру матрицы B и знаки её коэффициентов. Это объясняется тем, что коэффициент k_f фильтра (8) задаётся достаточно большим. Так как в адаптивный ЗУ (10) входит интеграл от x, обязательным является исследование влияния на эффективность замкнутой системы постоянных ошибок датчиков.

Исследование адаптивной системы модального управления БХР. Эффективность предложенной методики рассмотрим на примере синтеза адаптивной системы управления проточным ёмкостным БХР с мешалкой, ММ которого исследована выше. Задача обоснованного выбора ММ для ЭМ требует отдельного решения. Здесь примем, что она имеет вид

$$\begin{matrix} x_{m1} \\ x_{m2} \end{matrix} \quad \begin{matrix} 5 & 0 \\ 0 & 5 \end{matrix} \quad \begin{matrix} x_{m1} \\ x_{m2} \end{matrix} \quad \begin{matrix} 50 & 0 \\ 0 & 50 \end{matrix} \quad \begin{matrix} z \\ y_{0z} \end{matrix},$$

где x_{m1}, x_{m2} – желаемое движение выходных переменных модели (2), δ_z, y_{0z} – заданные значения её входных сигналов.

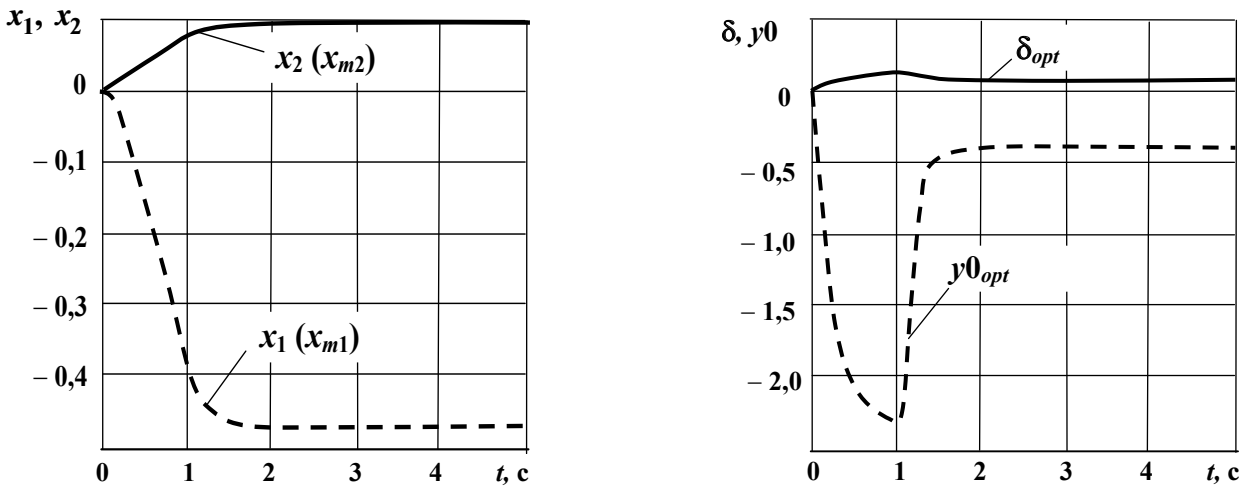
При синтезе адаптивного ЗУ (10) выберем параметр фильтра оценивания (8) $k_f = 10$, матрицу входа B зададим приближённо со структурой и знаками коэффициентов из таблицы:

$$B \quad \begin{matrix} 1 & 0 \\ 1 & 0{,}1 \end{matrix}.$$

В процессе моделирования коэффициенты этой матрицы остовались постоянными при изменении режимов работы БХР. Нетрудно убедиться, что при таком подходе коэффициенты ЗУ (10) также не зависят от свойств ОУ.

При исследовании эффективности адаптивной системы управления БХР сделаны следующие допущения: приводы управляющих входов δ и y_0 – безынерционые; возмущения равны нулю; задающие воздействия имеют вид

$$\delta_z = A_{z\delta}\, U_h(t),\ \ y_{0z} = A_{zy}\, U_h(t),$$



а) *б*)

Рис. 4. Кривые переходных процессов адаптивной системы управления биохимическим реактором в режиме № 1:

а – выходов БХР и ЭМ; *б* – управляющих воздействий

$$U_h(t) \quad \begin{matrix} 0, & t & 0; \\ t, & 0 & t & 1; \\ 1, & t & 1; \end{matrix}$$

$A_{z\delta} = 0{,}05, \quad A_{zy} = 0{,}01.$

Результаты численного исследования замкнутой системы (2) и (10) для режима № 1 представлены на рис. 4. Как видно, переходные процессы адаптивной системы БХР и ЭМ практически совпадают. Аналогичные результаты получены и для режимов № 2 и 3. Это свидетельствует о высокой эффективности предложеного алгоритма адаптации.

Заключение. В работе проведено исследование проточного БХР с мешалкой как объекта автоматического управления на основе известной математической модели. Эта модель является нелинейной, а поскольку наиболее эффективные методы синтеза систем автоматического управления разработаны для линейных моделей, проведено исследование влияния изменения условий технологического процесса на характеристики и параметры линеаризованной модели БХР.

Параметры линеаризованных уравнений, а, следовательно, и свойства БХР в процессе функционирования изменяются в широких пределах. В частности, характеристические числа матрицы состояния изменяются так:

$$p1 = -8{,}01 \div -0{,}01; \quad p2 = -0{,}1 \div -0{,}9.$$

Оптимальная система автоматического управления БХР должна быть адаптивной, т. е. изменять свои свойства в соответствии с изменением свойств объекта управления в процессе функционирования.

В качестве алгоритма адаптивного управления БХР предложено использовать алгоритм с оцениванием сигналов МУ. Численные исследования адаптивной системы управления БХР на основе линеаризованной ММ для трёх режимов работы показали достаточно высокую её эффективность.

Направления дальнейших исследований: определение динамических характеристик и ошибок датчиков и оценка их влияния на эффективность предложенной адаптивной системы; её исследование с использованием нелинейной модели БХР.

Библиографические ссылки

1. **Лапшенков Г.И., Одинцов К.Ю., Победимский Д.Г. и др.** Инженерные основы биотехнологии. М.: МАТХТ им. М.В. Ломоносова, 2005. 380 с.

2. **Красовский А.А. и др**. Основы автоматики и технической кибернетики. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1967. 723 с.

3. **Справочник** по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. М.: Наука, 1987. 713 с.

4. **Кузовков Н.Г.** Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: Машиностроение, 1976. 184 с.

5. **Решетняк Е.П.** Адаптивное модальное управление летательными аппаратами. Саратов: СВВКИУ РВ им. А.И. Лизюкова, 1998. 112 с.

6. **Крутько П.Д.** Обратные задачи динамики управляемых систем: Нелинейные системы. М.: Наука, 1988. 328 с.

7. **Буков В.Н.** Адаптивные прогнозирующие системы управления полётом. М.: Наука, 1987. 232 с.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 65.9

А.П. Иванов, д-р. экон. наук**,** проф. (Московский государственный университет путей сообщения**), А. Валлис** (Кошалинский политехнический университет, Польша)

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА РЫНКАХ ЕВРОСОЮЗА

Рассмотрены критерии отнесения предприятий к малому предпринимательству в Российской Федерации и странах Евросоюза, раскрыты роль и содержание факторов конкурентоспособности малых предприятий в условиях единого рынка ЕС (на примере Польши).

Ключевые слова: малый бизнес, добавленная стоимость, конкурентоспособность.

Small business criterion in Russian Federation and EU countries is considered Significance and content of small business competitiveness factors in condition of the united EU market are revealed (after the example of Poland).

Key words: small business, addition cost, competitiveness.

В странах с рыночной экономикой значительное внимание уделяется развитию малого бизнеса. Этот сектор экономики характеризуется возрастающими объёмами выпуска продукции, восприимчивостью к инновациям и требованиям потребителей. Во всех промышленно развитых странах существуют сходные проблемы развития малого предпринимательства, начиная от проблем финансирования и заканчивая конкурентоспособностью. Представляют интерес сравнение критериев отнесения предприятий различных организационно-правовых форм к малому бизнесу для стран ЕС и Российской Федерации, а также конкурентоспособность субъектов малого предпринимательства.

В соответствии с федеральным законом № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в РФ», вступившим в силу с 1 января 2008 г., к субъектам малого и среднего предпринимательства относятся внесённые в Единый реестр юридических лиц потребительские кооперативы и коммерческие организации (за исключением государственных и муниципальных унитарных предприятий), а также физические лица, внесённые в Единый государственный реестр индивидуальных предпринимателей и осуществляющие предпринимательскую деятельность без образования юридического лица, крестьянские (фермерские) хозяйства, соответствующие следующим условиям:

для юридических лиц – суммарная доля участия Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, иностранных юридических лиц или граждан, общественных и религиозных организаций (объединений), благотворительных и иных фондов в уставном (складочном) капитале (паевом фонде) указанных юридических лиц не должна превышать 25 % (за исключением активов акционерных инвестиционных фондов и закрытых паевых инвестиционных фондов), доля участия, принадлежащая одному или нескольким юридическим лицам, не являющимся субъектами малого и среднего предпринимательства, не должна превышать 25 %;

средняя численность работников за предшествующий календарный год не должна превышать для средних предприятий 101–250 человек включительно, для малых предприятий до 100 человек включительно, среди малых предприятий выделяются микропредприятия (до 15 человек).

выручка от реализации товаров (работ, услуг) без учёта НДС или балансовая стоимость активов (остаточная стоимость основных средств и нематериальных активов) за предшествующий календарный год не должна превышать предельные значения, установленные Правительством Российской Федерации для каждой категории субъектов малого и среднего предпринимательства.

Вновь созданные организации или зарегистрированные индивидуальные предприниматели и крестьянские (фермерские) хозяйства в течение того года, в котором они зарегистрированы, могут быть отнесены к субъектам малого и среднего предпринимательства, если их показатели средней численности работников, выручки от реали-

зации товаров (работ, услуг) или балансовой стоимости активов (остаточной стоимости (ОС) и нематериальных активов) за период, прошедший со дня их государственной регистрации, не превышают названные выше предельные значения.

Аналогичные критерии разработаны и для стран ЕС. Так, Европейская комиссия разработала рекомендации об отнесении хозяйствующих субъектов к малому бизнесу, в соответствии с которыми выделяются следующие типы предприятий [1]:

средние предприятия характеризуются численностью не более 250 человек, годовой оборот не превышает 50 млн евро (годовой баланс не выше 43 млн евро);

малые предприятия имеют численность не более 50 человек, годовой оборот не превышает 10 млн евро (годовой баланс менее 10 млн евро);

микропредприятия обеспечивают занятость менее 10 человек, годовой оборот не превышает 2 млн евро (годовой баланс не более 2 млн евро).

Почти 99 % фирм, действующих в ЕС, относятся к категории малых и средних предприятий (МСП), используют 2/3 рабочей силы ЕС и производят около 60 % валового внутреннего продукта (ВВП). Учитывая, какой процент МСП занимают в общем числе предприятий, их конкурентоспособность в значительной мере определяет общую конкурентоспособность отдельных стран и позиции на международном рынке.

О значении сектора МСП в Польше свидетельствуют следующие показатели: доля этих предприятий в общем числе предприятий; доля произведённого продукта в общем объёме ВВП; число лиц, работающих в этом секторе; участие сектора в доходах, инвестициях, импорте, экспорте. Так, в 2005 г. в государственном реестре Польши было зарегистрировано более 3,7 млн хозяйствующих субъектов, из которых 99,81 % малые, средние и микропредприятия. Примерно 95 % из общего их числа − микрофирмы, около 4 % − малые предприятия и 0,81 % − средние фирмы. В 2005 г. каждый десятый человек в Польше имел зарегистрированное на себя предприятие. Однако число зарегистрированных предпринимателей не отражает реальное состояние сектора МСП. В 2005 г. из числа зарегистрированных в системе государственной статистики только 45 % предприятий работали активно, а почти половина фирм не занималась никакой деятельностью. Структура активных предприятий сходна со структурой зарегистрированных предприятий. В 2005 г. 96,32 % активных предприятий составляли микропредприятия, малые − 2,66, средние − 0,85, а большие − 0,17 %.

В 2005 г. в Польше продукция МСП в объёме ВВП составляла 47 % (участие всех предприятий в образовании ВВП составляло 69,6 %), доля микропредприятий − 30,7, малых − 7,5, средних − 9,5, а больших − 21,9 % [2]. В том же году на МСП промышленности и услуг (за исключением финансово-кредитных учреждений) работали 71 % всех занятых работников, или 5,85 млн человек. МСП обеспечили 61 % доходов польских предприятий. На предприятиях малого бизнеса было произведено 34,3 % стоимости польского импорта, а доля экспорта составляла 32 %. При этом бóльшая часть продукции произведена на средних предприятиях.

По данным 2005 г. МСП (35 %) занимались оптовой и розничной торговлей, а также ремонтом. Этот сектор доминировал над другими субъектами МСП. Около 16 % субъектов МСП занимались обслуживанием недвижимости и посреднической деятельностью. В этом секторе доминировали микрофирмы. Около 21 % от общего числа МСП − предприятия промышленной переработки, примерно 10 % занимались строительством, из которых большая часть − микрофирмы. МСП, занятые в строительстве, имеют меньшее значение.

Среди исследованных в 2002−2004 гг. предприятий [2] инновации внедряли 17 % малых и 40 % средних. Многие предприятия внедряли инновации, но не всегда успешно. Предприятий, которые внедряли инновации, было в среднем 32 % (малых 21, средних 50, больших 90 %). В ЕС в 1998−2000 гг. примерно 44 % предприятий внедряли инновации, 77 % из которых относилось к сектору больших.

Согласно результатам исследований [3], проведённых в 2006 г. на 1093 активных польских частных предприятиях, 12,5 % декларировали рост инвестиций на покупку новых технологий и лицензий, 25,5 % фирм увеличили рост выпуска новых товаров, а 6,9 % декларировали рост инвестиций на исследование и развитие (И+Р).

Сектор МСП в Польше использует различные методы для повышения конкурентоспособности на внешнем и внутреннем рынках.

Доминирующим фактором конкурентоспособности МСП является цена (для 64,3 % предприятий в 2006 г.), а также качество продуктов и услуг, что в целом на 79 % обеспечивает рост конкурентоспособности. Значение остальных факторов намного меньше.

Согласно сведениям [3] 2006 г. был продуктивним для средних и больших предприятий. По данным государственной статистики, доходы в этом секторе возросли на 13,9 %, доход нетто на 35,8 %, рента продаж-нетто на 50 %, а доход от экспорта на 8 % [3].

Результаты исследований свидетельствуют, что свыше 50 % МСП увеличили доходы от продаж в

2006 г. (в отличие от 2004–2005 гг.) почти на 60 %. Только 5,3 % МСП снизили участие на рынках. Это означает, что увеличение продажи товаров достигнуто благодаря расширению рынка, а не заполнению рынка конкурентами.

В последнее время содержание категории «конкурентоспособность» в значительной степени изменилось. Это произошло по причинам усиления конкуренции, появления новых финансовых инструментов и методов управления, усиления роли и значения новых рычагов повышения конкурентоспособности.

До середины XX в. ситуация в экономике промышленно развитых стран складывалась таким образом, что предприятиям удавалось достичь конкурентных преимуществ с минимальными издержками. Дифференциация товарного ассортимента была незначительна, стоимость кредитных ресурсов невелика, т. е. успех заключался в умении производить продукцию с наименьшими затратами. Отсюда основными критериями конкурентоспособности предприятий были показатели соотношения доходов и расходов (рентабельность).

Однако с внедрением новых технологий (особенно информационных), необходимостью ускоренного насыщения спроса, интернационализацией производства в рамках ЕС, усилением государственного регулирования в ключевых сферах экономики существовавшие методы управления уже не позволяли увеличивать доходы опережающими темпами по отношению к расходам. С развитием стратегического планирования и теории конкуренции появилась новая идеология обеспечения конкурентоспособности предприятий, основанная на стратегиях конкуренции. Такой подход изменил содержание рассматриваемой категории, обусловил появление новых критериев конкурентоспособности и методов её оценки.

Мировая экономическая практика и опыт ЕС показывают, что сущность нового подхода заключается в росте благосостояния собственников (акционеров, владельцев доли или пая) предприятия или учреждения, что в конечном счёте означает рост стоимости бизнеса.

Стоимостный подход в управлении (value based management – VBM) реализуется тремя методами: добавленной стоимостью акционерного капитала; экономической добавленной стоимостью; добавленной рыночной стоимостью.

Эти методы означают комплексную оценку эффективности управления предприятием, в том числе и его конкурентоспособность. В соответствии со стоимостным подходом можно оценить результаты управления предприятием, качество персонала (менеджмента), финансовое положение и устойчивость предприятия, деловую репутацию (гудвилл). Стоимостный подход реагирует на любые изменения ситуации: снижение рентабельности производства или продукции, ухудшение платёжеспособности, увеличение инвестиций, потерю конкурентного преимущества или доли рынка и т. д., что вызывает уменьшение рыночной стоимости предприятия.

В странах ЕС на крупных предприятиях все ключевые управленческие решения (от смены поставщика активов до реструктуризации производства) принимаются для увеличения рыночной стоимости предприятий. На основании этого меняются методы оценки результатов деятельности, деловой репутации, социальной ответственности бизнеса. Показатели приращения стоимости предприятий включены во все известные в мире рейтинговые системы.

В узком смысле под категорией «конкурентоспособность» понимается возможность получения дополнительных выгод (прибыли) на уровне предприятия, отрасли или страны в целом. В отношении отдельного предприятия или производимого товара конкурентоспособность означает выпуск продукции (оказание услуг) соответствующего качества, цены и ассортимента. Предприятие является конкурентоспособным, если предлагаемые им товары (услуги) имеют соответствующие потребительские свойства и привлекательную цену, а следовательно, и спрос на рынке.

Один из факторов конкурентоспособности – возможность хозяйствующих субъектов осваивать новые сегменты рынка сбыта и удерживать их. Для этой цели предприятие должно повышать качество продукции (услуг), быстро реагировать на запросы или требования потребителей, внедрять инновации.

О возможности выпуска конкурентоспособной продукции свидетельствуют умение предприятия адаптироваться к условиям рынка, рациональное использование ресурсов, а также возможность элиминировать неблагоприятные обстоятельства. В Польше на конкурентоспособность малых предприятий влияют следующие основные факторы:

человеческие ресурсы (квалификация и опыт персонала, производительность труда);

физические ресурсы (доступность и цена сырья, материалов, комплектующих изделий соответствующего качества и ассортимента);

состояние капитала (внеоборотные активы (основной капитал), внедрение инноваций);

производимая продукция (качество, ассортимент, цена, ценовая политика);

возможности увеличения стоимости бизнеса (добавленной стоимости) и др.

Перечисленные факторы конкурентоспособности необходимо учитывать при оценке развития малого предпринимательства. Особенно это важно для европейского рынка с точки зрения возможности инвестирования, беспошлинного товарообмена, свободного движения ресурсов, капитала, рабочей силы и др.

Огромный рынок ЕС позволяет развивать различные формы малого предпринимательства. Многие предприятия в рамках ЕС подписывают договоры, которые помогают устранять барьеры на пути их развития в национальной экономике. Европейская интеграция ликвидировала таможенные границы, унифицировала требования к сертификатам продукции, что значительно снизило издержки обращения во всех странах. Для инвестирования особенно важна доступность к европейским фондам и дешёвым кредитам в единой валюте. С учётом особенностей МСП – это быстрота решения организационных и технологических вопросов, простота структур управления, умение приспосабливаться к изменениям на рынке, восприимчивость к инновациям. Предприятия малого бизнеса способствуют гармоничному локальному и региональному развитию. Усиленная конкуренция стимулирует большую эффективность предприятий, что приводит к росту экспортных возможностей польских предприятий и национальной экономики в целом. Для польских предприятий важное значение имеет зарубежный капитал как дешёвый источник инновационного развития. Преимуществом польских МСП является низкая стоимость рабочей силы и высокая квалификация работников по сравнению с другими странами ЕС.

В результате исследований, проведенных Государственной промышленной палатой в 2006 г. на 599 малых и средних предприятиях [4], сформулированы главные препятствия в развитии предприятий сектора МСП. Большинство предприятий главным барьером в функционировании считают неудовлетворительное качество законов [5]. Предприниматели указали на неоднозначность толкования законов и нормативных актов, что является поводом к разным интерпретациям одних и тех же положений не только предприятиями, но и налоговыми службами. В частности, 71 % предпринимателей указали на краткосрочность указов и решений в системе налогообложения [3].

Следующим барьером в развитии МСП в Польше является ограничение доступа к внешним источникам финансирования (особенно на начальном этапе работы предприятия). Большой преградой в функционировании МСП являются высокие налоги.

Ограниченный доступ к внешним источникам финансирования имеет отрицательное значение, так как польские предприятия должны получать большие инвестиции, связанные с приспособлением к требованиям рынка ЕС. Значительным препятствием для польских предпринимателей является незнание законов ЕС, а также неумение польских менеджеров сформулировать долговременные стратегии с учётом ограничений ЕС.

Следующим препятствием, ограничивающим функционирование польских предприятий на едином европейском рынке, является большое число формальных требований, которые обязательны для отдельных отраслей, например обладание лицензиями и сертификатами, наличие жёстких норм и стандартов, связанных с охраной окружающей среды.

Таким образом, устранение указанных барьеров в хозяйственной деятельности является одним из важнейших резервов повышения конкурентоспособности польских предприятий в рамках общего рынка ЕС.

Библиографические ссылки

1. **Aftyka W., Chmielewski A.** Małe i średnie przedsiębiorstwa w Unii Europejskiej, Wydawnictwo M. M., Warszawa, 2005.

2. **Pyciński S., Żolnierski A.** Raport o stanie sektora małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce w latach 2005–2006. Warszawa, 2007.

3. «**Monitoring** kondycji sektora MSP» 2007 PKPP Lewiatan.

4. **Raport** z badania warunków dla funkcjonowania firm sektora MŚP, Krajowa Izba Gospodarcza. Warszawa. http://www.kig.pl, 2006.

5. **Czarna** lista barier dla przedsiębiorczości, Polska Konfederacja Pracodawców Prywatnych «Lewiatan». http: // www.pkpplewiatan.pl, styczeń 2006.

6. **Żołnierski A.** (red). Innowacyjność 2006 Stan innowacyjności, metody wspierania, programy badawcze Raport, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości. Warszawa, 2006.

Вниманию авторов!

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

УДК 517.977.5 : 658.5

А.Г. Иванов, д-р техн. наук, проф., **В.А. Кукушкин,** канд. техн. наук, доц., **А.П. Скуркайте**
(Чувашский государственный университет им. И.Н.Ульянова)

ВЕРОЯТНОСТНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Приведены основные определения методов, раскрывающих вероятностную природу основных факторов устойчивого состояния производства и потребления продукции. Рассмотрены теоретические аспекты оптимального управления системами, обоснован поиск новых композиций распределений факторов как функций состояний систем, отображаемых в фазовых пространствах.

Ключевые слова: оптимальное управление, микроэкономика, уравнения в приращениях.

Fundamental definition of the methods, revealing basic factors probabilistic nature of production and output consumption steadfast state are proposed. Theoretical aspects of the optimum systems control are considered; new factors distribution compositions search as systems state functions, that are in the phases spaces, is substantiated.

Key worlds: optimum control, microeconomics, equalization in increments.

Предметом математического моделирования производственно-экономических систем (ПЭС) являются производственные системы, функционирование которых связано с процессами производства, обмена, распределения и потребления материальных продуктов. Активными участниками и управляющими образованием структуры производства выступают хозяйствующие субъекты, представленные физическими и юридическими лицами: индивидуумами, семьями, фирмами, отдельными предприятиями. Связи между участниками производства, кооперациями, обеспечивающими экономическое взаимодействие в ПЭС, направлены на реализацию задач развития, самоорганизации отдельной системы и определяются в соответствии с основными целями хозяйственной деятельности.

Теоретические аспекты применения вероятностно-динамических методов в математических моделях ПЭС будем называть математической микроэкономикой или исследованиями микроопераций в экономике машиностроения. Исследо-вания в этой области и развития таких методов предприняты в рамках теории метрических пространств [1].

Важным является определение состояния ПЭС как формы их существования при заданных внешних условиях. Любое состояние системы характеризуется факторами состояния. К последним отнесём материальные и денежные средства, образующие группу так называемых динамически сопряжённых факторов, а также предпринимательскую способность. Данный набор качеств участников рынка позволяет находить наилучшее сочетание материальных и денежных средств для эффективной экономической деятельности предприятия.

Каждый фактор состояния ПЭС описывается в математической модели системы как унитарный оператор $\Gamma(a)$ ($a \in G$; a – элемент, форма конечной группы G) в пространстве R унитарного представления Γ конечной группы G. В пространстве R представления можно так определить скалярное произведение, что это пространство станет евклидовым. Выбранное унитарное представление Γ соответствует определённой метрике.

Определим связь аналитических решений в пространстве R унитарного представления Γ конечной группы G с параметрами статистических распределений. Поэтому в основе математической модели ПЭС для оценки комбинированного взаимодействия факторов состояния ПЭС лежит гипотеза о взаимосвязи композиций значений факторов и координат фазового пространства, распределённых по нормальным законам:

$$X \quad \frac{1}{\sqrt{2 \quad \frac{2}{x}}} e^{-\frac{(x \quad x)^2}{2 \quad \frac{2}{x}}}; \qquad (1)$$

$$Y \quad \frac{1}{\sqrt{2 \quad \frac{2}{y}}} e^{\frac{(y \quad y)^2}{2 \quad \frac{2}{y}}}, \qquad (2)$$

где μ_x, $\frac{2}{x}$ – параметры нормального распределения (математическое ожидание и дисперсия) случайной величины X, выборочные значения которой соответствуют одной из координат точки на фазовой плоскости XOY; μ_y, $\frac{2}{y}$ – параметры нормального распределения (математическое ожидание и дисперсия) случайной величины Y, выборочные значения которой соответствуют другой координате точки фазовой плоскости XOY.

В качестве координат x и y фазового пространства выступают координаты n-мерного пространства решений, сочетаний x и y. В результате получаем распределения с параметрами общих точек устойчивого решения:

$$X \quad Y \quad \frac{1}{\sqrt{2 \quad \frac{2}{2}}} e^{\frac{(x \quad _1)^2}{2 \quad \frac{2}{2}}}; \qquad (3)$$

$$Y \quad X \quad \frac{1}{\sqrt{2 \quad \frac{2}{2}}} e^{\frac{(y \quad _3)^2}{2 \quad \frac{2}{2}}}, \qquad (4)$$

где $\frac{2}{2}$ – общий делитель условных дисперсий распределений-композиций, являющийся общим параметром распределений.

Делитель необходим для оценки начальных теоретических моментов первого порядка распределений – композиций, т. е. параметров ξ_1 и ξ_3:

$$1 \quad \frac{1}{2n} \sum_{j \quad 1}^{2n} x_j; \qquad (5)$$

$$3 \quad \frac{1}{2n} \sum_{k \quad 1}^{2n} y_k, \qquad (6)$$

где n – число наблюдаемых фазовых координат; x_j, y_k – выборочные (наблюдаемые) значения фазовой координаты в начале или в конце фиксированного промежутка времени наблюдений за группой G.

Можно получить доверительные интервалы для оцениваемых устойчивых значений фазовых координат как $\xi_1 \pm \xi_2$, $\xi_3 \pm \xi_2$. Для композиций (3)–(4) свойство коммутативности не выполняется. Для описания таких распределений и общих решений, являющихся нормативными значениями в фазовом пространстве или точками динамического баланса и равновесия в условия многомерного взаимодействия, вводится понятие инвариантов или неприводимых представлений Г группы форм G в фазовом пространстве. Урав-нения динамики процессов, представленных аналитическими детерминированными формами в координатном и фазовом пространстве, являются выражением неприводимых представлений Г группы реализуемых, действительных форм G. Квантили распределений композиций определяют метрики фазовых и координатных пространств.

Формообразование как процесс – это получение некоторой формы из другой формы, которую имеет заготовка, на основе комплекса воздействий динамического характера, которые могут быть силовыми, температурными, электромагнитными, химическими и другой природы и приводящими к деформациям, фазовым превращениям и, в некоторых случаях, к получению новой устойчивой структуры материала. В одних случаях природа воздействий наблюдается очевидно, в других – трудно объясняется.

Неизвестные методы формообразования представляют задачи, трудно описываемые аналитически и экспериментально, поэтому без соответствующей гипотезы их трудно обнаружить. Однако во взаимодействии формообразующих процессов разной природы методы формообразования индефицируются. Например, критическая амплитуда волнистости рабочего шлифовального круга связана с мощностью теплового потока в контакте с заготовкой.

Актуальность исследований, направленных на идентификацию и обнаружение неизвестных алгоритмов трансформации материала, очевидна с позиции энергосбережения. Трансформация не может быть мгновенной, она может быть записана математически, запрограммирована, составлена из цепочки управляющих воздействий. Например, характер ряда дифференциальных уравнений можно обнаружить на практике. Это частные случаи уравнения Риккати, связывающие координаты фазового пространства.

В задачах формообразования необходимо совместить аналитическую взаимосвязь между параметрами уравнения и параметрами решения, одновременно с этим выразить эту взаимосвязь в виде алгоритма управляющих воздействий на системы разного рода. Таким образом, можно совместить в параметрическом виде исходное уравнение и его решение, получив параметрическую морфологию. Изменение параметрической морфологии с течением времени рассматривается для получения параметрического пространства решений, в котором выбираются устойчивые формы.

Рассмотрим параметрические формы $a_1(A_1, A_2, t)$ и $a_2(A_3, A_4, t)$, описывающие состояния ПЭС:

$$\overset{*}{b} \; t \quad A_1 \quad A_2 \quad \overset{*2}{b} \; t; \qquad (7)$$

$$\overset{*}{} \; t \quad A_3 \quad A_4 \quad \overset{*2}{} \; t, \qquad (8)$$

где $\overset{*}{b}$ – скорость выполнения хозяйственной операции; $\overset{*}{}$ – скорость создания условий выполнения хозяйственной операции; A_1 – параметр, характеризующий финансовые возможности операции (денежный фактор); A_2 – параметр, характеризующий доходность операции (фактор доходности); A_3 – параметр, характеризующий индекс деловой активности или действие фактора предпринимательской способности (фактор деловой активности) при выполнении данной операции; A_4 – параметр, характеризующий риски операции (фактор рисков).

Уравнение, описывающее состояние ПЭС, представляет частный случай уравнения Риккати, которое в первом приближении решается в квадратурах, причем считается, что $\omega(t)$, $\omega_b(t)$ наблюдаемые фазовые координаты в начале или в конце фиксированного промежутка времени наблюдений за группой $a_1(A_1, A_2, t)$, $a_2(A_3, A_4, t)$.

В качестве первых приближений для $\omega(t)$ и $\omega_b(t)$ выбираются

$$\overset{*}{}_b t \quad \text{tg} \sqrt{A_1 A_2} t \frac{\sqrt{A_1}}{\sqrt{A_2}}; \qquad (9)$$

$$\overset{*}{} t \quad \text{th} \sqrt{A_3 A_4} t \frac{\sqrt{A_3}}{\sqrt{A_4}}. \qquad (10)$$

Решения уравнений (9)–(10), полученные для $\omega_b(t)$ и $\omega(t)$ [2], удовлетворяют уравнениям (7)–(8) в определённой метрике t.

Однако формы решения (гиперболическая, тангенциальная) свидетельствуют о неучтённых факторах при описании состояния ПЭС, влияющих на неустойчивую природу взаимодействия учитываемых факторов. Неустойчивые кривые имеют особые точки, т. е. определены не на всей числовой оси. Действительно, возникают дополнительные связи между участниками производства, кооперации, имеющие свои реакции на возникновение новых хозяйственных операций и видов продукции.

При более точных условиях измерения фазовых координат $\omega_b(t)$ и $\omega(t)$ [2] исходные уравнения имеют вид

$$_b t \quad A_1 \quad A_2 \overset{2}{}_b t \quad A_5 \sin \quad _b t \; t$$

$$_{b0} \quad \overset{*}{} t \quad A_5 \cos \quad _b t \; t \quad _{b0} \quad \overset{*}{} t; \qquad (11)$$

$$t \quad A_8 \quad A_4 \overset{*2}{} t \quad \overset{*2}{}_b t \; A_6$$

$$A_7 \sin[\overset{*}{} t \; t \quad _{b0}] \overset{*}{} t \quad A_7 \cos[\overset{*}{} t \; t$$

$$_{b0}] \overset{*}{} t, \qquad (12)$$

где $\overset{*}{} t$ – функция, характеризующая сезонность объёмов поставки материалов и комплектующих, полученная после подстановки $\overset{*}{}_b t$ и $\overset{*}{} t$ в уравнение сезонных колебаний по α; $\overset{*}{}_t$ – функция, характеризующая сезонность объёмов потребления готовой продукции на рынке, полученная после подстановки $\overset{*}{}_b t$ и $\overset{*}{} t$ в уравнение сезонных колебаний по β; A_5 – параметр, характеризующий доходность операции при сезонных колебаниях объёмов поставки материалов и комплектующих, а также при сезонных колебаниях объёмов потребления готовой продукции на рынке; A_6 – параметр, характеризующий деловую активность при выполнении данной операции в определённой отрасли промышленности, производства, сферы услуг; A_7 – параметр, характеризующий деловую активность при выполнении данной операции при сезонных колебаниях объёмов поставки материалов и комплектующих, а также при сезонных колебаниях объёмов потребления готовой продукции на рынке; $A_8 = A_3$; φ_{b0} – начальная фаза сезонных изменений.

Слагаемые ряда в уравнениях (11)–(12) группируем по степеням t: t, t^3,..., т. е., имеем несколько уровней, родов, классификаций. Получение решения в виде ряда по степеням t определяет, какие параметры влияют на форму кривых $\omega_b(t)$ и $\omega(t)$, в то же время, определяют направление воздействий для получения нужных форм $\omega_b(t)$ и $\omega(t)$. Форма фазовой координаты $\omega_b(t)$ является искомой, т. е. получена именно эта форма в фазовом пространстве.

Рассмотрим реализацию вероятностно-динамической модели в терминологии квантовой механики. Для описания распределений композиций (3)–(4) и оценки комбинированного взаимодействия факторов состояния ПЭС вводится понятие вероятностной функции состояния динамической системы $|\ \rangle$ как элемента абстрактного гильбертова пространства с единичной нормой.

Вероятностный смысл имеют представления функций состояния динамической системы $\langle\ |\ \rangle$, $\langle b|\ \rangle$, $\langle n|\ \rangle$, которые являются отображениями функции состояния динамической системы $|\ \rangle$ на базисные векторы гильбертова пространства как собственные функции, описывающие соответствующие факторы состояния ПЭС – денежный $|\ \rangle$, материальный $|b\rangle$ и предпринимательская способность $|n\rangle$.

Соотношение, связывающее между собой представления функции состояния в пространствах сопряжённых линейных операторов, выражает принцип неопределённостей, заключающийся в невозможности одновременного измерения компонент элементарного решения системы. Согласно принципу неопределённостей количество классов сопряжённых линейных операторов не является произвольным, а соответствует количеству порядков приближения решения, описывающего произвольное состояние ПЭС.

Теоретические аспекты применения вероятностно-динамических методов в математических моделях ПЭС определяют задачи вычисления функции состояния, критерия оптимальности этого состояния, формируемого при заданных внешних условиях. Измерение этой функции возможно только по результатам определения количества классов сопряжённых линейных операторов.

Процесс измерения и аудита ПЭС определяет планы, стратегию. В роли субъекта оценки качества, аудита ПЭС может выступить любой инспекти-

рующий орган, контролирующие функции которого полностью определяются государством. В ходе такого взаимодействия новое состояние ПЭС и анализ инспектирующего органа – результат совместной работы, действий разных субъектов в одном поле представлений. Вырабатывается доктрина к исполнению по результатам проверки и стратегия в виде процедуры принятия управленческих решений. В модели это совмещение и наделение новыми условиями ПЭС описывается заданием соответствующих начальных условий и дифференциальных соотношений, выражающих баланс процессов разного рода, причём параметрически изоморфных. Параметрический изоморфизм ведёт к новым классификациям и описанию конечномерных представлений. Получаем функции состояния разложением в ряд по базисным векторам, причём коэффициенты разложения являются собственными значениями линейного оператора (λ_1, λ_2,..., λ_n), которым соответствуют вероятностные представления, рассчитываемые как плотности вероятностей такого состояния. Изображение оригинала (вероятности) в комплексной области рассчитывается как

$$\frac{s!}{(p \quad)^{n\ 1}},$$

где s – количество факторов и их выборочных значений в распределениях-композициях (3)–(4); p – комплексная величина; λ – параметр-статистика, выражающий собственные значения линейных операторов.

Новое состояние системы, исследуемое вблизи состояния равновесия, т. е. поведения системы в «малом», согласно теореме А.М. Ляпунова, идентифицируют следующим образом. Нелинейные функции (9)–(10), входящие в дифференциальные уравнения (7)–(8) и выражающие баланс процессов разного рода, заменяют линейными членами разложения в ряд Тейлора, отбрасывая члены второго и более высокого порядка. Получают линейные уравнения для приращений вида

$$\frac{b}{t}\ t\ \ \frac{b}{A_1}\ A_1\ \ \frac{b}{A_2}\ A_2$$

$$\frac{}{t}\ t\ \ \frac{}{A_3}\ A_3\ \ \frac{}{A_4}\ A_4. \qquad (13)$$

Уравнение (13) является уравнением в приращениях с учётом равновесного состояния, когда $\omega_b(t_0, A_{10}, A_{20}) = \omega(t_0, A_{30}, A_{40})$. С индексом «0» обозначены величины, соответствующие равновесному состоянию, исходными уравнениями которого служат нелинейные уравнения (9)–(10).

Проблема оптимального управления решается с появлением устойчивого решения уравнения (13), представляющего разнообразие решений и суть некоторой вариационной задачи при известной фундаментальной системе решений. Суть оптимального управления – нахождение дифференциального соотношения вида (13) в пространстве R унитарного представления Г конечной группы линейных операторов G. Например, в системе решений (11)–(12) появляются дополнительно функции $\alpha(t)$, $\beta(t)$ и взаимодействие с ними можно описать уравнениями состояния в приращения вида (13).

Уравнения (7)–(8) можно представить как инвариант, определяющий возможные нелинейные зависимости от равновесного состояния вида (14) в одном классе решений, для которого и существует этот инвариант. Параметры решений определяют зону идентификации решений в параметрическом пространстве.

В проблеме определения оптимального управления ПЭС моделируют её вероятностные представления. Рассчитывают плотности вероятностей равновесных состояний в параметрическом пространстве статистик, оцениваемых известными методами: точечным оцениванием, нахождением экстремумов функций правдоподобия (оценками максимального правдоподобия), методом моментов, оценками коэффициентов парных корреляций, методом наименьших квадратов, доверительным оцениванием с помощью центральных статистик.

Таким образом, вероятностно-динамические модели имеют решения в прикладных задачах формообразования, их число конечно, но не определено. В соответствии с моделями представлений определяются энергетические критерии образования новой формы, которая изменяется вместе с пространством её представления. При развитии производственно-экономических систем все действия, нацеленные на формообразование, приводят к изменению энергетической картины переходных процессов преобразования вещества и энергии, и могут быть описаны вероятностно-динамическими моделями.

Формообразование можно связать с хозяйственной деятельностью человека. Его принципы лежат в основе этой деятельности. Композиции распределений форм лежат в основе действия устойчивых факторов, и приближённое описание их решений может включать вероятностные модели, которые определяют неизвестные возможные скалярные произведения и их метрики. Для описания этих метрических пространств законно использовать приложения квантовой механики.

Библиографические ссылки

1. **Интрилигатор М.** Математические методы оптимизации и экономическая теория / пер. с англ. М.: Айрис-пресс, 2002. 576 с.

2. **Иванов А.Г.** Подвижные конструкции с корректирующими массами. Монография. М.: Машиностроение-1, 2004. 253 с.

ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

АРХИТЕКТУРА CHECK POINT «ПРОГРАММНЫЕ БЛЕЙДЫ» ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ, ГИБКОЙ И УПРАВЛЯЕМОЙ ЗАЩИТЫ

Компания Check Point Software Technologie, мировой лидер в области обеспечения интернет-безопасности, предлагает заказчикам революционную архитектуру для создания системы защиты, уникальную по своей гибкости, конфигурации и возможностям оптимизации существующей инфраструктуры. Архитектура Check Point «программные блейды» обеспечивает единую платформу, на которую можно установить независимые, модульные и совместно взаимодействующие приложения безопасности или программные блейды. Например, такие как межсетевой экран, виртуальная частная сеть (VPN), система защиты от вторжений (IPS), антивирусное ПО, управление политиками безопасности. Архитектура позволяет заказчикам выбрать нужные программные блейды и затем объединить их в единый, централизованно управляемый шлюз безопасности.

С помощью новой архитектуры заказчики могут переносить функциональность с одной системы на другую, объединять или распределять функции между системами и обеспечивать пропускную способность для каждого программного блейда. Благодаря этим возможностям система безопасности заказчиков с ростом их инфраструктуры будет по-прежнему соответствовать требованиям безопасности. Совокупная стоимость владения системой при этом снижается. К примеру, компания приобретает программный блейд — межсетевой экран с одноядерным процессором. С подключением четырех блейдов добавятся VPN, сетевое антивирусное ПО, защита протокола VoIP и средства предотвращения вторжений. Для большей производительности можно обновить систему до двух-, четырех- или восьмиядерной, что позволит достичь многогигабитных скоростей с повышенной функциональностью.

Программные блейды можно установить на устройствах Check Point UTM-1 Total Security или Power-1, а также на серверах стандартной архитектуры.

Устройства UTM-1 Total Security содержат всё необходимое для обеспечения безопасности сети и представляют собой универсальные и не требующие сложной настройки решения. В каждое устройство встроено централизованное управление. Предложение Check Point по аппаратному устройству для заказчика включает также обновления ПО, гарантию на аппаратное устройство и скидки на трёхгодичное обслуживание.

В UTM-1 Total Security реализован полный набор средств обеспечения безопасности. UTN-1 использует самый популярный в отрасли межсетевой экран и уже в состоянии поставки обеспечивает проверку сотен заранее сконфигурированных приложений, протоколов и сервисов.

Средства защиты от вирусов и шпионского ПО на рубеже шлюза являются ключевыми компонентами UTM-1 и дополняют средства защиты настольных рабочих станций. Чтобы остановить вирусы и другое вредоносное ПО на рубеже шлюза, UTM-1 Total Security применяет список сигнатур для борьбы с вирусами и шпионскими программами, а также защиту на основе аномалий.

UTM-1 Total Security обеспечивает мощную защиту инфраструктуры электронной почты. Уровни защиты включают: защиту от спама, основанную на оценке содержания сообщения, а также репутацию IP адресов, чёрные и белые списки, антивирусную проверку по базам сигнатур, предотвращение атак на инфраструктуру электронной почты.

Устройства UTM-1 Total Security препятствуют посещению сотрудниками посторонних и нежелательных web-сайтов. В UTM-1 Total Security встроены средства web-фильтрации, использующие базу данных, насчитывающую свыше 20 млн. URL-адресов по разным категориям угроз.

Применение устройств UTM-1 Total Security упрощает создание VPN-туннелей для связи между объектами удалённого доступа и позволяют предоставлять удалённый доступ в сеть собственным сотрудникам деловым партнёрам с гибким выбором протокола (IPSec или SSL) и клиентского приложения VPN.

Устройства Powwer-1 позволяют организациям обеспечивать максимальную безопасность высокопроизводительных сред, таких как крупные университетские городки и центры обработки данных. Они сочетают в себе межсетевой экран, сеть VPN на основе IPSec, средства предотвращения вторжений и современные технологии ускорения, что обеспечивает высокопроизводительную платформу для защиты многогигабитных сред. Основными преимуществами устройств Check-Point Power-1 являются:

обеспечение доступности критичных для бизнеса приложений с пропускной способностью до 14 Гбит/с и пропускной способностью системы предотвращения вторжений 6,1 Гбит/с;

быстрое и простое развёртывание системы безопасности предприятия для крупных офисов и центров обработки данных;

комплексная защита, в которую при необходимости можно включить SSL VPN, web-защиту, web-фильтрацию, антивирусное и антишпионское ПО, антиспамз-защиту;

простое администрирование элементов крупной сети с единой панели управления;

защита от возникающих угроз благодаря дополнительной подписки на службу SmartDefense Services.

Компания Check Point является единственным поставщиком комплексных средств защиты для сетей, данных и конечных точек сети с унифицированной системой управления. Такой уникальный подход обеспечивает заказчикам Check Point бескомпромиссную защиту от всех типов угроз, снижает сложность и совокупную стоимость владения системой безопасности.

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

УДК 621.002.51

По страницам журналов

Новые конструкции фильтров и устройств для очистки и обезвреживания сточных вод промышленных предприятий. *Безопасность жизнедеятельности.* 2009. № 1.

Рассмотрены новые, отличающиеся улучшенными характеристиками конструкции фильтров и устройств для очистки и обезвреживания промышленных сточных вод, предложенные в научно-технической и патентной литературе промышленно развитых стран мира. Показано, что процесс создания новых конструкций фильтров и устройств для эффективной очистки и обезвреживания сточных вод промышленных предприятий является составной частью технического прогресса и обусловлен всё возрастающими экологическими и санитарно-гигиеническими требованиями к очищенным сточным водам, сбрасываемым в водоёмы или на рельеф.

Атом: ключ к созданию основ нанотехнологии. *Нано- и микросистемная техника.* 2009. № 1.

Показана основополагающая роль атома в становлении механосинтеза как ведущего направления нанотехнологии. Предложен новый подход к построению теоретических основ нанотехнологии.

Применение аппарата нечёткой логики в построении контроллеров. *Мехатроника, автоматизация, управление.* 2009. №1.

Рассмотрен вариант реализации механизма нечёткого вывода, на основе которого может быть обеспечена разработка контроллера нечёткой логики, реализующего на аппаратном уровне управление некоторым техническим объектом. Рассмотрены структурный и топологический аспекты нечёткого контроллера и сформулированы общие правила построения контроллера с помощью стандартных блоков, обеспечивающих его использование в различных предметных областях.

Методы радиоволнового и теплового контроля технического состояния защитных материалов авиационной техники. *Контроль. Диагностика.* 2009. № 1.

Рассмотрены методы контроля поглощающих свойств защитных материалов и покрытий авиационной техники. Описан способ контроля неоднородностей радиопоглощающих покрытий по оценке деформации пространственно-временной структуры электромагнитного поля поверхностной волны, взаимодействующей с покрытием. Представлена зависимость коэффициента поглощения электромагнитных волн от тепловых и электрофизических параметров магнитодиэлектрических и диэлектрических покрытий. Рассмотрен косвенный метод теплового контроля коэффициента поглощения защитных материалов авиационной техники путём определения их тепловых свойств.

Формальная модель состояний системы защиты компьютерной сети при использовании политик информационной безопасности. *Информационные технологии.* 2009. № 1.

Развивается подход к управлению защищённостью компьютерной сети на основе политик безопасности. Предложена модель определения состояния защищённости компьютерной сети путём формирования наборов параметров безопасности для каждого уровня защиты сети.

Динамическая модель расчёта гладких твёрдых тел с учётом пластических деформаций. *Вестник машиностроения.* 2009. № 1.

Рассмотрена динамическая модель внедрения жёсткой гладкой сферы в однородное упругопластическое упрочняемое твёрдое тело. На основе модели предложены численно-аналитические зависимости, описывающие поведение твёрдого тела в упругопластической области контактного взаимодействия. Предложенные численно-аналитические зависимости позволяют учесть дополнительное сближение контактирующих тел из-за динамического нагружения.

Защита окружающей среды при перегрузке сыпучих грузов грейферно-бункерными перегружателями. *Безопасность жизнедеятельности.* 2009 № 2.

Рассмотрены технические средства борьбы с пылью, снижающие потери и отрицательное воздействие пыли на окружающую среду, при перегрузке сыпучих грузов грейферно-бункерными перегружателями.

Структурно-семантическая модель объявлений для автоматизированного совмещения интересов пользователей в электронных досках объявлений сети Интернет. *Вестник компьютерных и информационных технологий.* 2009. № 2.

Представлен новый подход к разработке инструментария для создания электронных досок в сети Интернет, основная идея которого – автоматизация процесса совмещения встречных интересов пользователей за счёт анализа структуры и семантики объявлений. Описаны классы объявлений, дана характеристика каждого класса, приведены примеры.