

## СОДЕРЖАНИЕ

### АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Тугов В.В., Пищухин А.М., Трибунский А.В. Оптимальное управление готовностью системы сбора и подготовки нефти к использованию .....	3
Рягузов М.И., Савельев М.Ю. Внедрение АСУ ТП «Centum CS3000» для автоматизации установки первичной переработки нефти АВТ-6 .....	6

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Кувырков П.П., Прошин И.А. Оптимизация устройств информационной совместимости .....	10
Белоусов В.Л., Вершин В.Е., Вершин О.В. Использование функции «предсказание» математического пакета Mathcad в управлении экономическими объектами .....	17
Шемелин В.К., Нежметдинов Р.А. Применение технологии «клиент-сервер» при проектировании контроллера типа Soft PLC для решения логической задачи в рамках систем ЧПУ .....	20
Соколов А.В. Методика оценки эффективности поиска по нечётким характеристикам в автоматизированных информационных системах .....	25
Кручинин А.Ю. Управление процессом распознавания образов в реальном времени .....	33
Лукинов А.П., Махонин А.К. Цифровые табличные регуляторы в следящих приводах .....	37
Клементьева О.В. Автоматизированное управление информационной системой мониторинга инновационной деятельности .....	42

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Комаров Д.М., Комаров М.П. Планирование окупаемости при множественной модификации ассортимента промышленного предприятия .....	44
--	----

### ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов .....	47
-----------------------------	----

## CONTENTS

### AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Tugov V.V., Pishchukhin A.M., Tribunskiy A.V. Readiness optimal control of the petroleum collection and preparation system for its utilization .....	3
Ryaguzov M.I., Savelev M.Yu. ASC TP «CentumCS3000» introduction for facility ABT-6 automation of the petroleum initial processing .....	6

### MODERN TECHNOLOGIES

Kuvyrkov P.P., Proshin I.A. Optimization of the informational compatibility facilities .....	10
Belousov V.L., Vershin V.E., Vershin O.V. Utilization of the mathematical package Mathcad “forecast” function for economic object management .....	17
Shemelin V.K., Nezhmetdinov R.A. Technology “client-server” application when controller type Soft PLC designing for logical task decision within CNC system framework ...	20
Sokolov A.V. Effectiveness search valuation method from uneven descriptions in the automatic information systems ...	25
Kruchinin A.Yu. Recognition process control in the actual time .....	33
Lukinov A.P., Machonin A.K. Digital tabular regulator for tracking drive .....	37
Klementeva O.B. Automatic control of the information system monitoring of the innovative activities .....	42

### ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

Komarov D.M., Komarov M.P. Recoupment planning for multiple modification of the industrial enterprise assortment .....	44
--	----

### SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review .....	47
--------------------------	----

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 30.12.09. Подписано в печать 26.02.10.  
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Тираж 260 экз.  
Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 6,85. Заказ 138. 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», 2010 г.



УДК 681.513.2

**В.В. Тугов**, канд. техн. наук, доц., **А.М. Пишухин**, д-р техн. наук, проф., **А.В. Трибунский**  
(ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»)

sau@unpk.osu.ru

### ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГОТОВНОСТЬЮ СИСТЕМЫ СБОРА И ПОДГОТОВКИ НЕФТИ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

*Описано применение метасистемного подхода для оптимального перераспределения общесистемных ресурсов с учётом оценки готовности системы сбора и подготовки нефти к внедрению.*

**Ключевые слова:** метасистемный подход, общесистемные ресурсы, система сбора и подготовки нефти.

*Metasystem approach application for mutual resource optimal redistribution with due regard for readiness valuation of the petroleum collection and preparation system for its introduction is described.*

**Key words:** metasystem approach, mutual resource, petroleum collection and preparation system.

Нефть, извлекаемая из скважин, всегда содержит попутный газ, механические примеси и пластовую воду. Очевидно, что такую «грязную» и сырую нефть, содержащую к тому же легколетучие органические (от метана до бутана) и неорганические (сероводород, углекислый газ) газовые компоненты, нельзя транспортировать и перерабатывать на нефтеперерабатывающих предприятиях без тщательной подготовки.

Современные системы сбора и подготовки нефти – это сложные, технологически взаимосвязанные комплексы объектов и сооружений. Различие природно-климатических и инженерно-геологических условий обустройства районов, многообразие способов добычи и физико-химических свойств нефти, способов и требуемой степени очистки нефти от нефтяных газов, воды и других примесей обуславливают разработку и использование различных технологических решений подготовки нефти.

В системы сбора и подготовки нефти входят многочисленные сооружения основного производственного назначения (нефтегазосепараторы нескольких ступеней, печь, блоки обезвоживания и обессоливания и т. д.), а также дожимные насосные станции (ДНС), компрессорные станции (КС), установки подготовки пресной и пластовой воды, вспомогательные системы и службы (энергохозяйство, связь, транспорт и т. д.)

Основные факторы, влияющие на технико-экономические показатели систем сбора и подготовки нефти, условно делятся на несколько групп [1, 2]. К первой группе относятся факторы, ха-

рактеризующие мощность системы: «запасы» нефти, возможные уровни добычи и ресурсы углеводородного сырья.

Ко второй группе относятся факторы, которые определяются территориальными особенностями нефтяного района: рельефом местности, конфигурацией нефтяного месторождения, его размерами, взаимным расположением соседних месторождений, условиями связи между ними, условиями внешнего транспортирования нефти, сбора и подготовки пластовых вод с учётом возможности их использования в системах поддержания пластового давления. Эти факторы определяют в системе сбора и подготовки нефти протяжённость трубопроводов всех назначений и размещение основных технологических объектов.

Факторы, зависящие от физико-химических свойств нефти и нефтяных эмульсий, относятся к третьей группе (вязкость, плотность, содержание парафина, асфальтенов, смол, сероводорода ( $H_2S$ ), углекислого газа и т. д.). Эта группа факторов, изменяющихся в процессе разработки и эксплуатации нефтяного месторождения, определяет в значительной мере технологию сбора и подготовки нефти, позволяет уточнять принятые решения по размещению объектов и их мощностей. Из этого следует, что для разных месторождений требуются различные системы подготовки нефти, которые в процессе эксплуатации скважин могут меняться.

В таких условиях наиболее адекватно совокупность независимых систем сбора и подготовки нефти можно представить метасистемой [3, 4], которая характеризуется тем, что каждый элемент са-

модостаточен и связан с другими элементами лишь косвенно, через верхний уровень управления; в каждый момент времени задействован лишь один или несколько элементов; количество элементов в метасистеме не является строгим; элементы могут дробиться, интегрироваться, добавляться новые либо исключаться наименее эффективные.

При функционировании метасистема использует некоторые общесистемные ресурсы (денежные и материальные средства, оборудование и т. д.), которые всегда ограничены. Оптимальное перераспределение ресурсов между системами позволит увеличить эффективность на метасистемном уровне. При этом ресурсы могут перераспределяться как во время функционирования нескольких систем, так и в режиме их ожидания, так как на поддержание их в определённой степени готовности также расходуются средства.

Проектируемая метасистема включает несколько систем подготовки нефти. При поступлении на её вход различных управленческих сигналов, система компьютерной поддержки проводит анализ поступающей информации и выбирает ту или иную технологию. При выборе технологии система учитывает такие факторы, как «запасы» нефти, возможные уровни добычи и ресурсы углеводородного сырья, физико-химические свойства нефти, необходимое качество подготовки нефти, количество ступеней сепарации нефти, стоимость оборудования при выборе какого-либо способа очистки нефти от различных примесей и т. д.

При метасистемном подходе к процессу проектирования системы сбора и подготовки нефти важной является задача управления её готовностью к внедрению, так как решение этой задачи и составляет основную часть процесса выбора системы.

Анализ технологии важен, так как от степени её готовности зависят отработанность составляющих этапов, гарантированность хороших показателей качества нефти при условии соблюдения определённых значений параметров системы сбора и подготовки.

Таким образом, возникает задача выбора наиболее готовой системы, минимизирующей потери нефтегазового предприятия на её внедрение для технологии подготовки нефти.

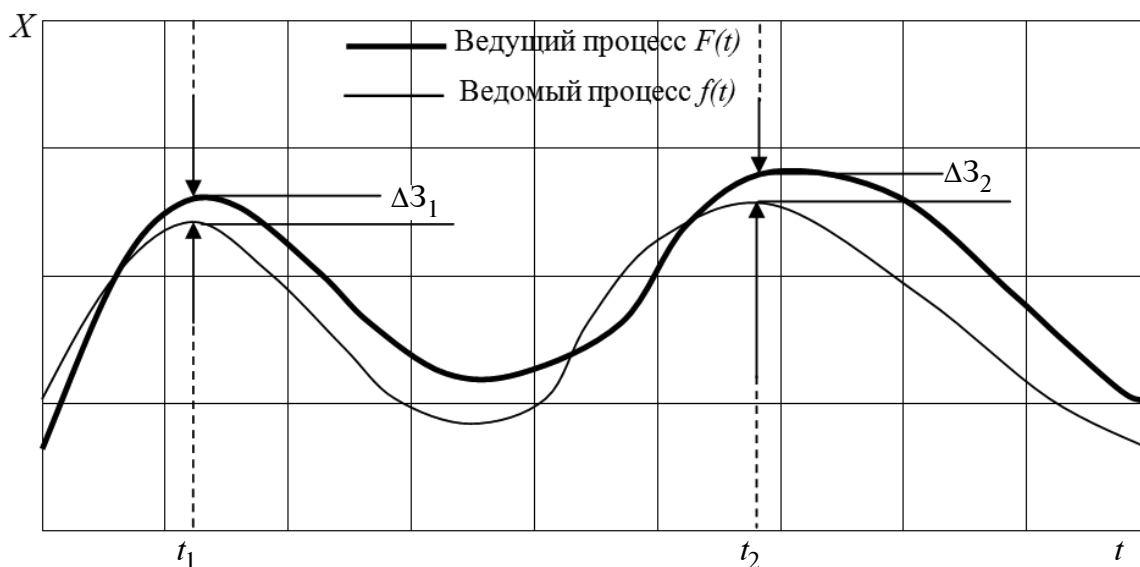
Оценивать готовность системы, согласно работе [5], целесообразно во взаимосвязи с возникновением потребности в её использовании, что закономерно приводит к анализу концепции двухпроцессного подхода.

Двухпроцессный подход к оценке готовности технологии предусматривает максимальное согласование возмущений, действующих на метасистему  $F(t)$  (ведущий процесс), и адекватной реакции на них  $f(t)$  (ведомый процесс) в отрезки времени  $t_1$  и  $t_2$ , как показано на рисунке.

Согласованность внешнего (ведущего)  $F(t)$  и внутреннего (ведомого)  $f(t)$  процессов в конечные отрезки времени  $t_1$  и  $t_2$  характеризует степень готовности технологии к использованию и определяет величину управляющего воздействия  $u$ , а в конечном итоге, затрат  $Z$ , необходимых для приведения технологии в необходимую степень готовности.

Математически постановка задачи выглядит следующим образом: за основу принята гипотеза о марковости исследуемых процессов [6, 7], для которых будущее состояние определяется настоящим и не зависит от прошлого.

Уравнение ведущего (внешнего) процесса, определяющего вероятность возникновения потребности в определённой технологии (вероятность



Графическая зависимость двухпроцессного подхода к оценке готовности технологии к использованию

попадания случайного марковского процесса в заданную область выше уровня целесообразности), плотность которой обозначена  $\omega$ , представим в виде неоднородного уравнения Колмогорова [7]:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + a(x, t) \frac{\partial \omega}{\partial x} - \frac{b(x, t)}{2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = f(t), \quad (1)$$

где  $x$  – потребность в технологии;  $a$  – коэффициент сноса;  $b$  – коэффициент диффузии;  $f(t)$  – возмущающее воздействие.

Для адекватного функционирования метасистема, включающая набор систем подготовки нефти, перспективных для данного технологического процесса, должна подчиняться такому же уравнению, что и ведущий процесс, с добавлением к правой части управляющего воздействия  $u(x, t)$ .

Самостоятельность метасистемы выражается в другой величине плотности вероятности, которая отражает готовность соответствующей системы подготовки нефти к внедрению  $\omega_1$ . Таким образом, неоднородное уравнение Колмогорова в данном случае имеет следующий вид:

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial t} + a(x, t) \frac{\partial \omega_1}{\partial x} - \frac{b(x, t)}{2} \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} = f(t) + u(x, t) \quad (2)$$

с ограничением  $u(x, t) \in U$ .

Принимая, что оба процесса подвергаются одинаковым возмущениям, и подставляя вместо  $f(t)$  его выражение из уравнения (1), после преобразований получим

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\omega - \omega_1)}{\partial t} + a(x, t) \frac{\partial(\omega - \omega_1)}{\partial x} - \\ - \frac{b(x, t)}{2} \frac{\partial^2(\omega - \omega_1)}{\partial x^2} = u(x, t). \end{aligned} \quad (3)$$

Принимая для упрощения

$$s = \omega - \omega_1, \quad (4)$$

преобразуем уравнение (3) к следующему виду:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + a(x, t) \frac{\partial s}{\partial x} - \frac{b(x, t)}{2} \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} = u(x, t). \quad (5)$$

Сформулируем задачу оптимизации. В соответствии с теорией аналитического конструирования оптимальных регуляторов примем в качестве критерия оптимальности сумму квадратов потерь, зависящих от разности вероятностей (4) и затрат управляющих воздействий:

$$F = \int_0^{\tau} (qs^2 + u^2) dt \rightarrow \min, \quad (6)$$

где  $q$  – размерный коэффициент.

В такой постановке задача оптимизации включает критерий (6), уравнение (5) с соответствующими начальным и граничным значениями, играющее роль некоторых условий, обязательных к выполнению. Кроме того, в зависимости от времени начала подготовительных мероприятий по отношению к возникающей потребности в технологии данного вида меняется интенсивность подготовки и соответственно затраты на управление. Это означает, что имеет место задача с подвижной верхней границей. На этой границе должно выполняться условие трансверсальности экстремалей функционала (6) кривой, по которой скользит верхняя граница.

Таким образом, сформулированная задача позволяет определить оптимальный закон изменения управляющих воздействий, направленных на повышение готовности системы сбора и подготовки нефти к внедрению во времени и в зависимости от изменения в технологии. Следует отметить, что одни подготовительные мероприятия представляют собой составную часть подготовки к включению конкретной системы сбора и подготовки нефти, другие могут выполняться самостоятельно. В связи с этим систематизация мероприятий по повышению уровня готовности системы сбора и подготовки нефти и оптимизации сроков её реализации возможна использованием методов сетевого планирования и управления, которые применимы в тех случаях, когда конечная цель достигается выполнением ряда взаимосвязанных и взаимозависимых работ, входящих в единый комплекс разработки технологии.

#### *Библиографические ссылки*

1. Лутошкин Г.С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды. М.: Недра, 1977. 192 с.
2. Каспарьянц К.С., Кузин В.И., Григорян Л.Г. Процессы и аппараты для объектов промысловой подготовки нефти и газа. М.: Недра, 1977. 254 с.
3. Миронов С.В., Пищухин А.М. Метасистемный подход в управлении: Моногр. Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2005. 342 с.
4. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. М.: Радио и связь, 1990. 431 с.
5. Пищухин А.М. Оптимальные методы построения и управления мультиструктурными системами автоматизации технологических процессов и производств на основе вероятностных критериев качества. Дис. ... д-ра техн. наук. Оренбург, 2001. 355 с.
6. Кемени Джон Дж., Снелл Дж. Лори. Конечные цепи Маркова. М.: Наука, 1970. 271 с.
7. Волков И.К., Зуев С.М., Цветкова Г.М. Случайные процессы: Учеб. для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. 2-е изд., стереотип. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 448 с.

УДК 665.63

**М.И. Рягузов** (Омский государственный университет путей сообщения),  
**М.Ю. Савельев**, канд., техн., наук (Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск)

RyaguzovMI@omsk.it-sk.ru

### **ВНЕДРЕНИЕ АСУ ТП «CENTUM CS 3000» ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ АВТ-6**

*Приведено описание автоматизированной системы управления технологическим процессом установки первичной переработки нефти (атмосферно-вакуумной трубчатки (АВТ-6) на базе системы «CentumCS3000») разработанной японской фирмой «Yokogawa».*

**Ключевые слова:** АСУ ТП «CentumCS3000», АСУ ТП АВТ-6, первичная переработка нефти, внедрение систем управления.

*Description of the technological process automatic control system of the petroleum initial processing facility (atmospheric-vacuum tubular facility (AVT-6) from a system «CentumCS3000»), developed by Japanese company «Yokogawa», is adduced.*

**Key words:** ASC TP «CentumCS3000», ASC TP АВТ-6, petroleum initial processing, control system introduction.

**Введение.** Развитие промышленного производства характеризуется переходом к передовой технологии, стремлением добиться высоких эксплуатационных характеристик как действующего, так и проектируемого оборудования, необходимостью свести к минимуму любые производственные потери. Это возможно при условии существенного повышения качества управления промышленными объектами, в том числе применением автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

В нефтехимической промышленности появились новые факторы, связанные не только с повышением требований к количеству и качеству выпускаемой продукции, но и с напряжённостью в области трудовых ресурсов. Рост производительности труда становится практически единственным источником расширения производства. Указанные обстоятельства предъявляют новые требования к использованию и техническому уровню АСУ ТП, обеспечению их надёжности, точности, быстродействия, экономичности, т. е. к эффективности их функционирования.

Ещё одной важной предпосылкой применения АСУ ТП в промышленности является необходимость реализации потенциальных производственных резервов. Заметим, что техническая база производства в большинстве отраслей промышленности достигла такого уровня развития, при котором эффективность производственного процесса зависит от качества управления технологией и организации производства. Поэтому на первый план выдвигается задача оптимального управления тех-

нологическими процессами, решить которую без развитой АСУ ТП невозможно.

Следует иметь в виду, что создание АСУ ТП является сложной научно-технической и организационно-экономической проблемой, решение которой требует значительных и всевозрастающих трудовых, материальных и финансовых ресурсов. [1].

#### **Установка первичной переработки нефти АВТ-6.**

Первичная переработка нефти подразумевает два этапа: обессоливание, обезвоживание нефти на электрообессоливающих установках (ЭЛОУ) и разделение нефти на фракции по интервалам температур кипения на установках АВТ. Одной из самых распространённых на производстве установок первичной переработки нефти является АВТ-6 [1].

Автоматизированная система управления технологическим процессом, протекающим на типовых установках первичной переработки нефти АВТ-6, реализована на базе системы «Centum-CS3000» японской фирмы «Yokogawa» и предназначена:

для стабилизации заданных режимов технологического процесса с помощью контроля значений технологических параметров, визуального представления и выдачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы как в автоматическом режиме, так и в результате действий технолога-оператора;

для определения аварийных ситуаций на технологических узлах опросом подключённых к системе датчиков в автоматическом режиме, анализа измеренных показаний и перевода техноло-

гического процесса в безопасное состояние, выдачей управляющих воздействий на исполнительные механизмы в автоматическом режиме или по инициативе оперативного персонала.

АСУ ТП разрабатывается для замены морально устаревших систем управления технологическим процессом установки АВТ-6 на современную распределённую систему управления и регулирования, обладающую гибкостью, самодиагностикой, повышенной надёжностью выполнения функций аварийной защиты, высокой точностью и эффективностью благодаря применению современных программно-технических средств.

Внедрение системы управления «Centum CS3000» на установку АВТ-6 позволяет:

- стабилизировать эксплуатационные показатели технологического оборудования (ректификационной колонны, вакуумной колонны и режимных параметров технологического процесса);
- автоматизировать диагностику и предотвращать «ложные» срабатывания аварийных защит;
- анализировать критические ситуации (аварийный останов) и выявлять причины их возникновения;
- обеспечивать устойчивость функционирования установки;

улучшать условия труда технологического и обслуживающего персонала установки [2].

На сегодняшний день нефтепереработка является одной из важнейших отраслей, где применение АСУ ТП просто необходимо.

В соответствии с ПБ 09-540–03 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» АСУ ТП установки АВТ-6 «CentumCS3000» разделена на две подсистемы: РСУ и ПАЗ.

Распределённая система управления (PCY) предназначена для контроля и управления технологическим процессом установки АВТ-6 совместно с персоналом в режиме реального времени (рис. 1).

Система противоаварийной защиты (ПАЗ) предназначена для автоматического перевода технологического процесса в безопасное состояние при возникновении аварийных ситуаций.

«CentumCS3000» представляет собой двухуровневую многофункциональную информационно-управляющую систему управления, работающую в режиме реального времени.

Первый уровень включает первичные измерительные преобразователи (датчики), исполнитель-

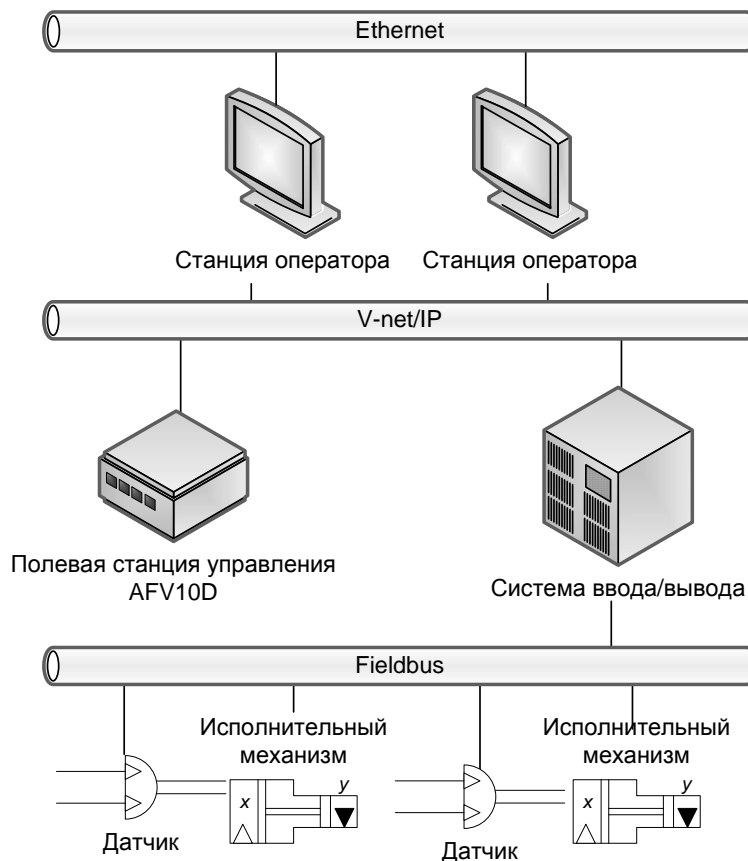


Рис. 1. Архитектура распределённой системы управления

ные механизмы, местные показывающие приборы и органы управления, размещаемые на технологическом оборудовании.

Технические средства первого уровня обеспечивают контроль и визуализацию технологических параметров, управление технологическим оборудованием.

Второй уровень включает непосредственно РСУ и ПАЗ, в состав которых входят станция инженера/оператора, автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора станции оператора, концентраторы Ethernet, мембранная клавиатура оператора, интерфейсные платы связи, полевая станция управления, локальные узлы с аналоговыми и дискретными модулями ввода/вывода, источник питания; релейные панели для дискретных входов/выходов, барьерные панели искрозащищённых аналоговых и дискретных цепей индикации и управления, шкаф коммутаторов; релейные шкафы [2].

Полевые станции управления, локальные узлы с модулями ввода/вывода, клеммные/релейные/искробезопасные панели и источники питания смонтированы в шкафах. Для подключения к системе управления полевого оборудования датчиков и электрооборудования в шкафах установлены быстроразъёмные клеммы с размыкателями и клеммы для установки предохранителей.

Система управления «CentumCS3000» выполнена на одной полевой станции управления. Для повышения надёжности применена полевая станция управления с дублированными процессорами, блоками питания процессоров, шинами передачи данных по сети. Полевая станция управ-

ления, АРМ оператора и инженерная станция объединены по дублированной сети.

Реализация системы управления на базе однородной программной и аппаратной среды создаёт необходимые условия эксплуатации АСУ ТП в целом, повышает ремонтпригодность АСУ ТП и, следовательно, её надёжность [1].

Для обмена информацией станция оператора и инженерная станция (рис. 2) дополнительно соединены в сеть стандарта Ethernet. Интерфейс оператора реализован на двух АРМ.

Рабочие станции оператора установки АВТ-6 предназначены для отображения технологической информации, контроля за ходом технологического процесса, контроля технологического оборудования; управления технологическим процессом и оборудованием, ведения базы данных; формирования и выдачи отчётной документации, протоколирования событий.

Инженерная станция предназначена для конфигурирования, программирования, настройки РСУ и ПАЗ. Станции оператора и инженера выполнены на базе персональных компьютеров, на которых установлено специализированное программное обеспечение системы, и функционируют с помощью операционной системы Windows XP SP2.

На мониторах инженера и оператора отображается информация различного характера: состояние технологического оборудования, состояние технологических процессов, значения технологических параметров во времени на заданном интервале, отклонение технологических параметров от регламентных норм.



Рис. 2. Станция инженера и оператора

На станциях технолога и оператора предусмотрена сигнализация достижения предаварийных и предупредительных значений, выражаемая звуком и изменением цвета.

Автоматизированная система управления «CentumCS3000» позволяет реализовать информационные и управляющие функции на установке АВТ-6. К управляющим функциям относятся:

программное и логическое управление технологическим процессом (автоматическое управление исполнительными механизмами, автоматическая защита по технологическим параметрам; дистанционное управление исполнительными механизмами);

- управление системой доступа;
- распределение информационных потоков;
- управление базой данных;
- распределение сетевых ресурсов.

Функция управления технологическим процессом реализуется решением задач программно-логического и дистанционного управления в реальном масштабе времени.

Данный вид управления обеспечивает:

диалог между системой управления и технологом-оператором;

обработку и проверку на корректность исходных данных и директив на изменение состояния элементов управления, технологических агрегатов, систем;

формирование и выдачу управляющих воздействий на исполнительные механизмы с частотой не реже одного раза в секунду;

циклический контроль элементов управления; останов процесса при возникновении предаварийных ситуаций;

безопасный перевод процесса из одного устойчивого технологического состояния в другое.

Наряду с управляющими функциями система управления «CentumCS3000» обеспечивает реализацию информационных функций, к которым относятся:

- сбор и первичная обработка информации;
- контроль технологических процессов, протекающих на установке АВТ-6;
- контроль работы оборудования установки АВТ-6;
- диагностика состояния технических средств АСУ ТП.

Автоматический контроль состояния технологического процесса подразумевает проверку достижения предаварийных и предупредительных значений основных технологических переменных.

Функция контроля работы оборудования реализуется решением задачи контроля состояния оборудования и параметров.

В отчётах в хронологической последовательности регистрируются данные о состоянии техно-

логического оборудования и технических средств, действиях оператора, возникновении предаварийных ситуаций, нарушениях технологического процесса, отклонениях параметров за допустимые пределы на установке АВТ-6 [2].

Функционирование системы управления «CentumCS3000» рассчитано на круглосуточный режим работы с остановкой для профилактики не чаще, чем один раз в год в период капитального ремонта. Основные функции системы управления установкой АВТ-6 распределяются между РСУ и ПАЗ следующим образом: функции мониторинга, контроля и управления, взаимодействия человека с системой, отчётности реализуются РСУ.

Регулирование и программно-логическое управление включает проверку входного сигнала на достоверность, формирование управляющего воздействия и выдачу управляющего воздействия на исполнительный механизм с частотой не менее одного раза в секунду. Для функции управления реализуются законы регулирования (пропорционально-интегрально-дифференциальный, соотношения и т. д.). В каждом контуре предусмотрено ручное дистанционное управление, а также безударный переход с режима ручного управления на автоматическое, и наоборот [2].

Внедрение распределённой системы управления на установке АВТ-6 позволило:

стабилизировать эксплуатационные показатели технологического оборудования, ректификационных, вакуумных колонн;

стабилизировать режимные параметры технологического процесса;

увеличить гибкость системы контроля над работой установки АВТ-6;

улучшить качественные показатели компонентов – бензина, дизельного топлива, масляного дистиллята, мазута и гудрона;

автоматизировать диагностику, предотвращать «ложные» срабатывания аварийных защит и аварийных ситуаций на установке АВТ-6;

анализировать критические ситуации на установке АВТ-6 и выявлять причины их возникновения;

обеспечить устойчивость функционирования установки АВТ-6;

улучшить условия труда технологического и обслуживающего персонала АСУ ТП.

#### **Библиографические ссылки**

1. Кенни М., Сима Д. Анализ процесса нефтепереработки с точки зрения оптимизации управления и усовершенствованное управление установки первичной переработки нефти // Нефть России. 2004. Спец. вып. С. 35–40.

2. **Технологический** регламент автоматизированной системы управления «Йокогава». Омск: Омский нефтеперерабатывающий завод, 2007. 111 с.





УДК 004(075.8)

**П.П. Кувырков**, канд. техн. наук, доц., **И.А. Прошин**, д-р техн. наук, проф.  
(Пензенская государственная технологическая академия)

zv@pgta.ac.ru

### ОПТИМИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ ИНФОРМАЦИОННОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

*Изложены базовые понятия, обоснование, методы и средства оптимизации устройств информационной совместимости. Приведены основные составляющие и математические модели преобразований информации из одного кода в другой.*

**Ключевые слова:** генерализация, информация, код, совместимость, устройство.

*An account of fundamental conceptions, explanation, methods and means for optimization of the informational compatibility facilities are given. Principal components and mathematical models of the information transformation from one into another code are adduced.*

**Key words:** generalization, information, code, compatability, device.

Для сбора, хранения, передачи информации, преобразования её из одного вида в другой, из одного кода в другой нередко требуется разрабатывать и использовать различные специализированные устройства, индивидуально настраиваемые на выполнение требуемых функций. Решение указанной задачи возможно на основе создания универсальных устройств.

В данной статье предлагается система обеспечения информационной совместимости устройств дискретной техники.

Обеспечить универсальность и многофункциональность средств преобразования информации можно обобщением («генерализацией») информационных коммуникаций [1]. Метод генерализации информации позволяет открыть новые возможности не только по обмену, хранению и передаче информации, но и по её концентрации, наделению большей содержательностью, полезностью и защищённостью.

**Проблема информационной совместимости устройств дискретной техники.** Характерной особенностью информационных систем является необходимость представления информации в более удобном виде не только для передачи, хранения, обработки, но и для функционирования устройств дискретной техники. Существует большое количество кодов, обеспечивающих представление информации и устройств, реализующих эти коды. По своим свойствам коды могут быть отнесены к различным группам: коды для обеспечения защиты информации от несанкционированного доступа, узкоспециализированные коды и обычные двоичные коды, которые, как прави-

ло, наделяют арифметическими свойствами. В каждом конкретном случае в устройствах дискретной техники используются те коды, которые обеспечивают необходимую функциональность. Для взаимодействия устройств, использующих разные коды, необходимо промежуточное устройство, обеспечивающее их информационную совместимость, т. е. выполняющее преобразование кода (рис. 1).

В этом случае информация поступает на входы и представлена различными кодами. Затем устройства  $A1 - An$  кодируют подаваемые на их входы данные в тот код, который «понятен» устройству  $B$ . В свою очередь, устройство  $B$  передаёт информацию по линии связи в том коде, который совместим с его получателем. В правой части схемы показано, как осуществляется процесс декодирования информации. В результате на выходы поступает информация, эквивалентная входам. Преобразование исходного кода в другой происходит в несколько этапов по мере поступления информации от источника. При таком подходе для передачи нескольких сообщений в различных кодах создают несколько преобразующих устройств, что экономически неэффективно.

С целью повышения эффективности, а также устранения описанных выше недостатков в данной статье предложен другой вариант обеспечения информационной совместимости устройств дискретной техники, основанный на замене специализированных средств одним универсальным устройством на основе генерализации информации.

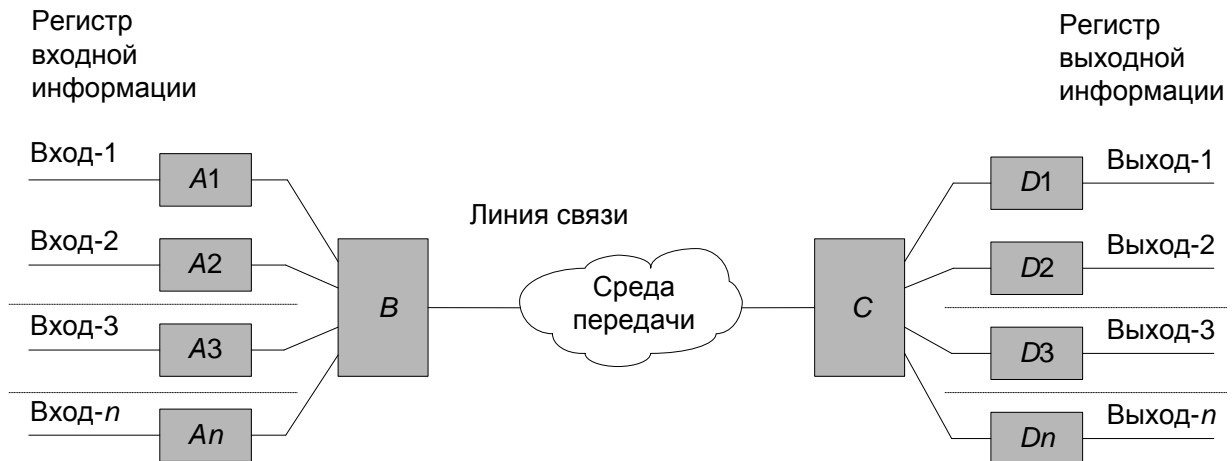


Рис. 1. Структурная схема передачи информации

Построение универсального преобразователя, способного перестраивать свою структуру, в соответствии с заданными параметрами и заменять собой один или несколько специализированных кодирующих и декодирующих устройств, основано на «интеграции» информации. Генерализация информационных коммуникаций позволяет создать универсальное устройство преобразования информации и заменить одним устройством многочисленные специализированные устройства *A* и *D*.

**Матричные системы обеспечения информационной совместимости устройств дискретной техники.** Информационная совместимость на основе универсального преобразователя кодов может быть достигнута с помощью его модели матричного типа. В данном случае наличие матрицы в качестве основы структурно-функциональной организации универсального преобразователя способствует простой настройке конфигурации пре-

образователя на выполнение заранее заданной функции.

Элементы матрицы предлагаемого преобразователя однородны в своей структурно-функциональной организации и просты в исполнении.

Модель преобразователя состоит из настроечной матрицы, или матрицы смежностей, и матрицы результатов (рис. 2).

*Входной регистр* (блок 0) обеспечивает сохранность поступающей на вход преобразователя дискретной информации от её источника.

*Блок 1* представляет собой настроечную матрицу, структура которой претерпевает изменение (настройку), обеспечивая информационную совместимость между источником информации и её приёмником. Настройка может быть произведена заранее с помощью сигналов, представленных на рис. 2 как установочные конфигурационные. Настройка заключается в расстановке нулей

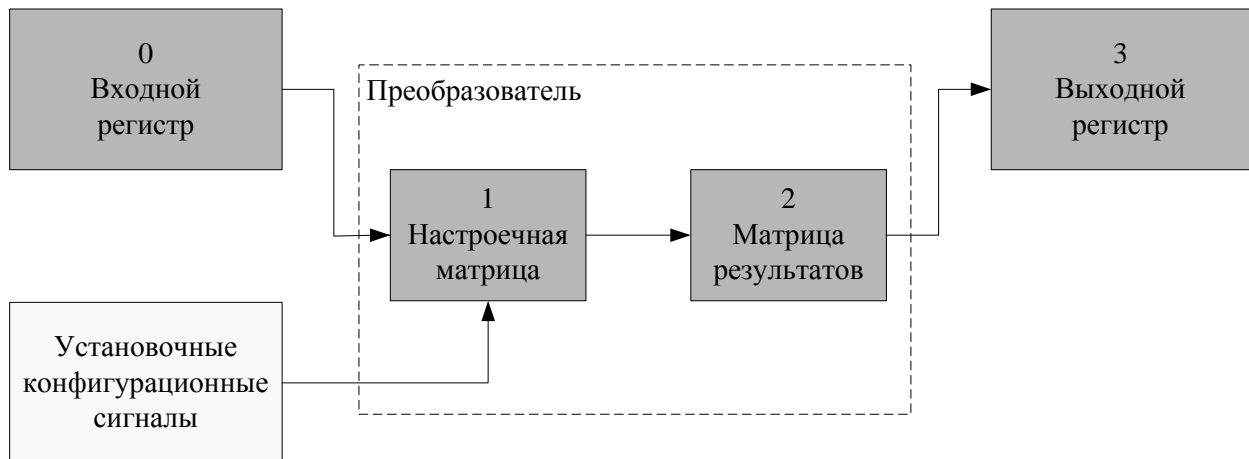


Рис. 2. Матричная система информационной совместимости устройств дискретной техники

и единиц в ячейках матрицы, обеспечивающей переключение элементов её памяти из нулевого состояния в единичное.

Блок 2 представляет собой матрицу результатов логического умножения (конъюнкции) элементов входной матрицы, или элементов исходного кода, на соответствующие значения элементов настроечной матрицы. В выходной информационный регистр (блок 3) поступает информация, полученная логическим сложением (дизъюнкцией) всех элементов каждого столбца матрицы результатов. Полученные таким образом результаты преобразования одного кода в другой передаются по линии связи получателю.

Размеры матриц зависят от количества разрядов, используемых в кодах. Закономерность расположения нулей и единиц, задаваемая в настроечной матрице, при увеличении или уменьшении её размера сохраняется, что обеспечивает возможность простого увеличения числа разрядов матричного преобразователя до нужного значения.

**Разработка и исследование прямоугольно-матричных систем для обеспечения информационной совместимости устройств дискретной техники.** Рассмотрим в качестве примера схематичное изображение процесса преобразования обычного двоичного кода в код Грея. Для простоты будем использовать четырёхразрядный код, хотя, как было сказано выше, увеличение разрядности не представляет труда (рис. 3).

Преобразование двоичного кода (от входного регистра до выходного) включает следующие этапы.

1. Каждый разряд входного регистра логически умножается на элемент соответствующей горизонтальной строки настроечной матрицы: в первой строке  $0 \wedge 0; 0 \wedge 0; 0 \wedge 0; 1 \wedge 0$ , во второй

$0 \wedge 1; 0 \wedge 1; 1 \wedge 1; 1 \wedge 1$ , в третьей  $0 \wedge 0; 1 \wedge 0; 1 \wedge 0; 0 \wedge 0$ , в четвертой  $1 \wedge 0; 1 \wedge 0; 0 \wedge 0; 0 \wedge 0$ . Конфигурация нулей и единиц, которая изображена на схеме в настроечной матрице, соответствует преобразованию обычного двоичного кода в код Грея.

2. Полученные значения поступают в матрицу результатов, которая не имеет предварительной настройки конфигурации, подобной настроечной матрице, так как она оперирует только с результатами вычислений, полученными от настроечной матрицы.

3. В матрице результатов происходит логическое сложение элементов столбцов (по вертикали), и результирующие значения поступают в выходной регистр.

На схеме вертикальные и горизонтальные линии указывают, что компоненты матриц соединены шинами. На пересечениях этих шин расположены исполнительные элементы. Такой подход упрощает физическую реализацию устройства. Но использовать именно шинную реализацию не обязательно, так как, например, в программном исполнении универсального преобразователя рациональнее использовать массивы данных, представленных электронными таблицами.

Моделирование данного принципа преобразования кодов матричным преобразователем достаточно легко выполнить, создав программу работы с электронными таблицами, например «*Microsoft Office Excel*» (рис. 4).

Левая область преобразователя (ячейки от B4 до B10) предназначена для хранения входных данных (порядок – снизу вверх). Правее приведена настроечная матрица (ячейки: от D4 до J10) и матрица результатов (ячейки от L4 до R10). Оставшаяся правая область (ячейки от L2 до R2) содержит выходные данные.

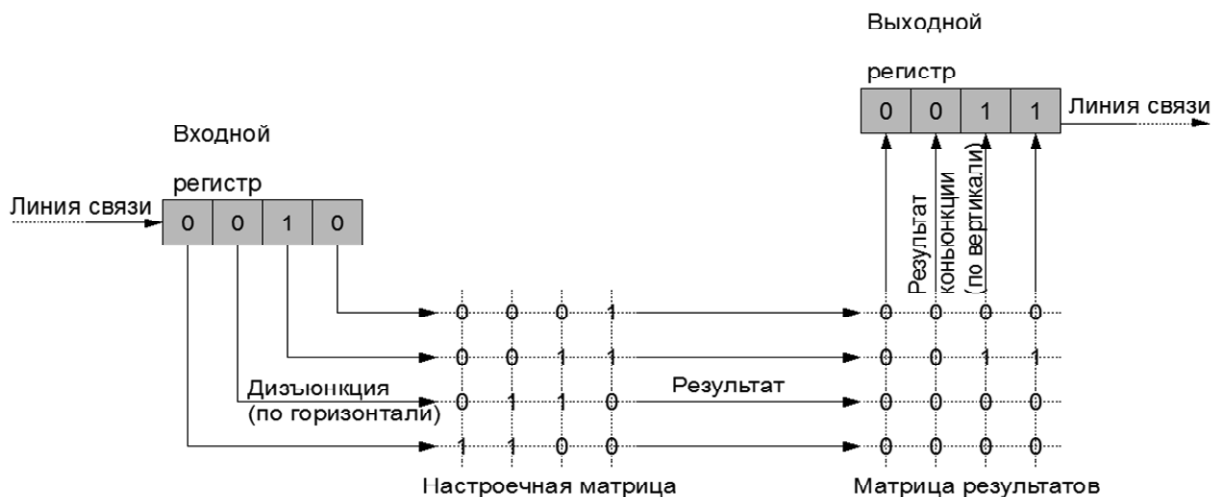


Рис. 3. Прямоугольно-матричное устройство для обеспечения совместимости устройств дискретной техники

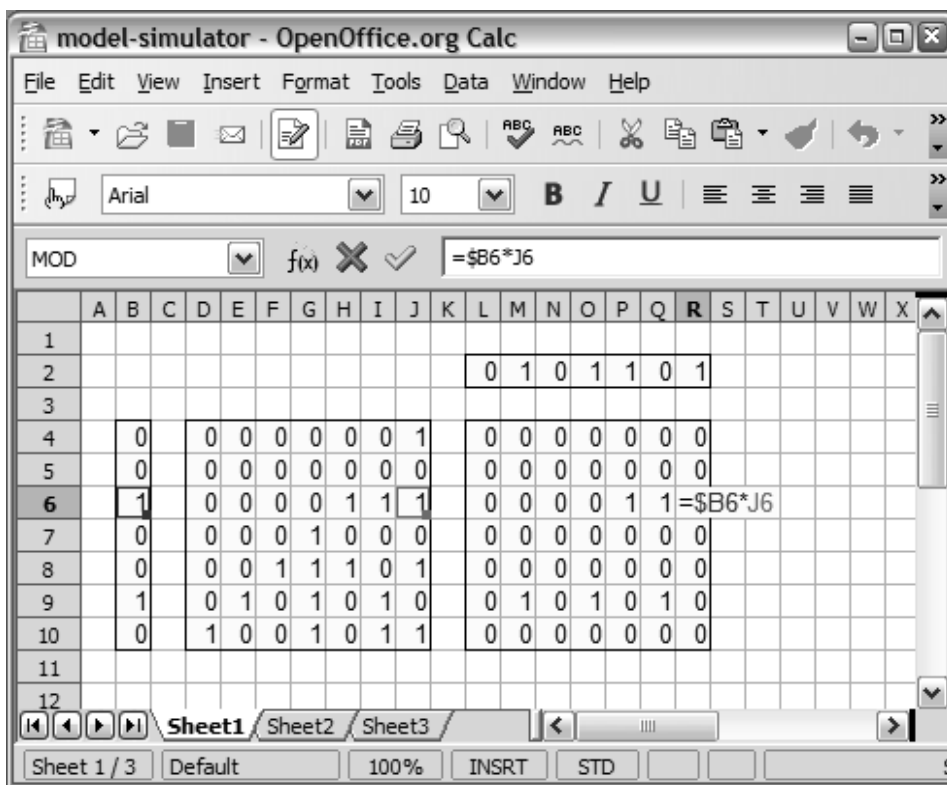


Рис. 4. Электронная таблица матричного устройства для преобразования информации

В качестве формулы к ячейкам области результирующей матрицы используется формула  $=B4 \wedge D4$  в ячейке L4, которая затем копируется (с автоматическим смещением) на все остальные. В ячейку L2 области результирующих данных записана формула «=MOD(M11∨L10∨L9∨L8∨L7∨L6∨L5∨L4; 2)».

Она копируется с автоматическим смещением в остальные ячейки этой области. В области входных данных, а также в областях настроечной матрицы указаны значения без формул.

Примеры моделей информационной совместности с настройками матрицы на различные коды. Выше был приведён пример, в котором конфигурация моделируемого матричного преобразователя обеспечивает преобразование информации из обыкновенного двоичного кода в код Грея.

Как видно из рис. 3–6, если между кодами источника и приёмника информации имеется простая логическая взаимосвязь, то всегда найдётся несложная конфигурация настроечной матрицы, обеспечивающая их преобразование. Это позволяет избежать использования сложных логических схем для реализации данного преобразования, используя для этих целей многофункциональное устройство матричного преобразователя информации из одного кода в другой.

										0	0	1	0	0	1	0	0
										0	0	0	0	0	0	0	0
0		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 5. Электронная таблица матричного устройства для преобразования входного кода в обратный

																0	0	1	0	0	1	0	0
																0	0	0	0	0	0	0	0
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0		1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1		1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0		1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 6. Электронная таблица матричного устройства для преобразования кода Грея в обычный двоичный

**Разработка и исследование треугольно-матричных систем для обеспечения информационной совместимости устройств дискретной техники.** С целью усовершенствования рассматриваемых матричных устройств осуществим их структурно-функциональную генерализацию (рис. 7) [2].

В этом случае одно и то же устройство под управляющим воздействием информации и ключевых функций перестраивается, проявляя элементы многофункциональности. Ключевые функции управления коммуникаций данных устройств находятся в соответствии с их функциональным назначением. В зависимости от уровня конструктивной и структурной генерализации вид ключевых функций будет изменяться.

Обозначим входные цепи преобразователей через  $x'_1, x'_2, \dots, x'_i, \dots, x'_n$ , выходные —  $y'_1, y'_2, \dots, y'_j, \dots, y'_n$ . На пересечениях управляющих и управляемых шин расположены логические элементы с памятью, подключённые к шинам. Эти элементы обеспечивают передачу информации с входа  $x'_i$  на выход  $y'_j$  в соответствии с управляющим воздействием ключевой функции  $f_k(x', y')$ . При отсутствии соединения  $x'_i \wedge y'_j = x'_i y'_j = 0$ , при наличии соединения  $x'_i \wedge y'_j = x'_i y'_j = 1$ .

Ниже приведены некоторые разновидности ключевых функций.

1. Повторитель входной информации (см. рис. 7, а).

Ключевая функция примет вид

$$f_1(x', y') = x'_1 y'_1 + x'_2 y'_2 + \dots + x'_i y'_i + \dots + x'_n y'_n = \sum_{i=1}^n x'_i y'_i.$$

Согласно данной функции повторитель воспроизводит ту информацию, которая поступает на его вход. Например, при  $x' = 1011 \Rightarrow y' = 1011$ .

2. Зеркальное отражение входной информации (см. рис. 7, б).

Ключевая функция имеет вид

$$f_2(x', y') = x'_1 y'_n + x'_2 y'_{n-1} + \dots + x'_i y'_j + \dots + x'_n y'_1 = \sum_{i=1}^n x'_i y'_{j=i+1}$$

Например, при  $x' = 1011 \Rightarrow y' = 1101$ .

3. Контроль по модулю 2 (см. рис. 7, в).

Ключевая функция задаётся выражением

$$f_3(x', y') = x'_1 y'_j + x'_2 y'_j + \dots + x'_i y'_j + \dots + x'_n y'_j = \sum_{i=1}^n x'_i y'_j.$$

При чётном числе единиц на входе схемы значение  $y'_j$  равно нулю, при нечётном — единице. Например, при  $x' = 1011 \Rightarrow y' = 1$  или  $y' = 0001$ .

4. Расширитель (рис. 7, з).

Ключевая функция описывается выражением

$$f_4(x', y') = x'_1 y'_1 + x'_1 y'_2 + \dots + x'_i y'_j + \dots + x'_i y'_n = \sum_{j=1}^n x'_i y'_j.$$

Согласно данной функции единица на входе какой-либо цепи преобразуется в единицы на всех выходных цепях.

Например, для случая, когда  $i = 1, x'_1 = 1, x' = 1000 \Rightarrow y' = 1111$ .

5. Уплотнитель входной информации (рис. 7, д).

Ключевая функция реализуется выражением

$$f_5(x', y') = x'_1 y'_j + x'_2 y'_j + \dots + x'_i y'_j + \dots + x'_n y'_j = \sum_{i=1}^n x'_i y'_j.$$

Согласно данной функции при чётном числе единиц на входе на  $j$ -м выходе формируется нуль, при нечётном — единица.

Например, при  $x' = 1011 \Rightarrow y' = 0010 (j = 3)$ .

6. Сдвиг входной информации (рис. 7, е).

Ключевая функция имеет вид

$$f_6(x', y') = x'_1 y'_2 + x'_2 y'_3 + \dots + x'_i y'_j + \dots + x'_{n-1} y'_n = \sum_{i=1}^{n-1} x'_i y'_{j=i+1}$$

В данном случае сдвиг элементов входной информации осуществлён на одну позицию. Например, при  $x' = 1010 \Rightarrow y' = 0101$ .

Используя данное устройство, можно построить управляемый регистр сдвига на разное число позиций.

7. Преобразователь двоичного кода в код Грея (рис. 7, ж).

Ключевая функция задаётся формулой

$$f_7(x', y') = (x'_1 y'_1 + x'_2 y'_2 + \dots + x'_i y'_j + \dots + x'_n y'_n) + (x'_1 y'_2 + x'_2 y'_3 + \dots + x'_i y'_j + \dots + x'_{n-1} y'_n) = \sum_{i=1}^n x'_i y'_j + \sum_{i=1}^{n-1} x'_i y'_{j=i+1}$$

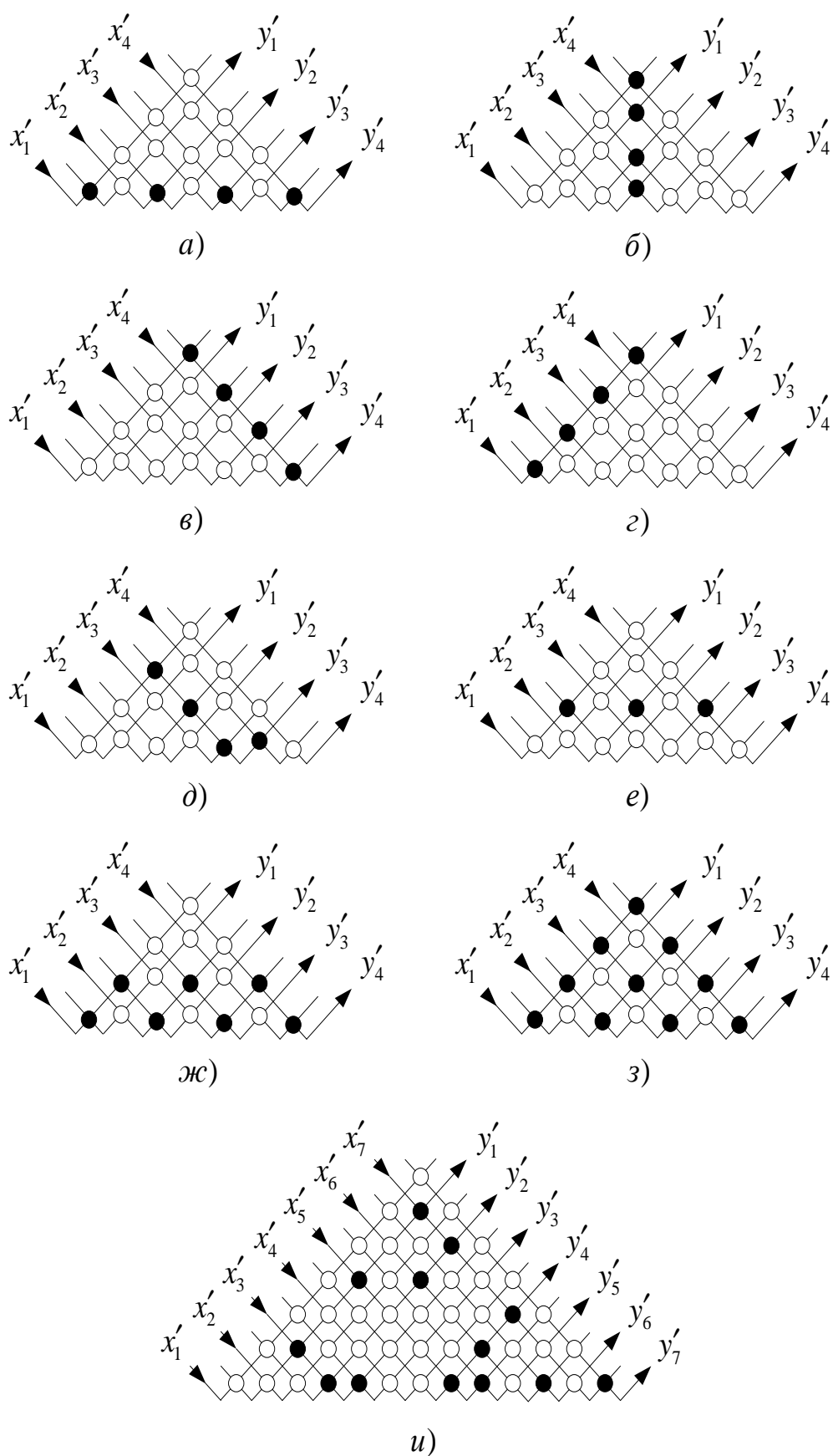


Рис. 7. Элементы структурно-функциональной генерализации информационных коммуникаций матричного устройства для преобразования информации

Например, при подаче на вход кодовой комбинации двоичного кода  $x' = 0010$  на выходе получим кодовую комбинацию кода Грея  $y' = 0011$ .

8. Преобразователь кода Грея в двоичный код (рис. 7, з).

Ключевая функция имеет вид

$$f_8(x', y') = (x'_1 y'_1 + x'_1 y'_2 + \dots + x'_i y'_j + \dots + x'_1 y'_n) + \\ + (x'_2 y'_2 + x'_2 y'_3 + \dots + x'_i y'_j + \dots + x'_2 y'_n) + \dots + \\ + x'_n y'_n = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n-1} x'_i y'_j.$$

9. Преобразователь двоичного кода в код Хемминга (рис. 7, и).

Ключевая функция реализуется формулой

$$f_9(x', y') = x'_3 y'_1 + x'_5 y'_1 + x'_7 y'_1 + x'_3 y'_2 + x'_6 y'_2 + \\ + x'_7 y'_2 + x'_3 y'_3 + x'_5 y'_4 + x'_6 y'_4 + x'_5 y'_5 + x'_6 y'_6 + x'_7 y'_7.$$

В этом случае элементы двоичного кода поступают на входы  $x' = \{x'_3, x'_5, x'_6, x'_7\}$ . Контрольные символы кода Хемминга формируются на выходах  $y'_1, y'_2, y'_4$ , на остальных выходах происходит повторение значений входных символов:  $y'_3 = x'_3$ ,  $y'_5 = x'_5$ ,  $y'_6 = x'_6$ ,  $y'_7 = x'_7$ .

**Выводы.** Эффективность процессов сбора, хранения, передачи и защиты информации может быть повышена с помощью генерализованных систем, обеспечивающих информационную совместимость устройств дискретной техники. Разработанная система ключевых функций обеспечивает функциональную совместимость обработки информации в различных системах кодирования. Замена множества специализированных устройств преобразования информации одним универсальным устройством матричного типа, настраиваемым на заданное преобразование информации из одного кода в другой, обеспечивает не только информационную совместимость устройств дискретной техники, но и получение значительного экономического эффекта.

#### Библиографические ссылки

1. **Кувырков П.П., Прошин И.А.** Определяющие признаки интеллектуальных составляющих информационной генерализации // Сб. ст. Российско-Японской науч. конф. и 6-го Российско-Японского семинара: 24–25 июня 2008, г. Усть-Каменогорск: Изд-во Восточно-Казахстанского государственного технологического университета, 2008. С.747–752.

2. **Kuvyrkov P.P., Naidenov S.K.** General aspects of the advancement of theory and practices of information systems // *Kybernetes. The international journal of cybernetics systems and management sciences*. Vol. 36. Number 1. 2007. P. 65–75.



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕМНЫХ ГИДРОПРИВОДОВ

(Библиотечка конструктора).

**М.Е. Гойдо**

300 с. ISBN: 978-5-94275-427-3

**Цена 440 р.**

Приведены классификация объемных гидроприводов; правила выполнения их схем; математическое описание процессов, происходящих при работе гидроприводов; типовые схемные решения, используемые при проектировании объемных гидроприводов; выбор параметров и исследование характеристики работы объемных гидроприводов различного назначения и исполнения при разных условиях нагружения; применение САПР при проектировании гидроприводов.

Для инженеров-конструкторов, изготовителей, а также обслуживающего персонала гидрооборудования, может быть полезна преподавателям и студентам вузов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы: по почте: 107076, г. Москва, Стромьинский 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

УДК 338.24

**В.Л. Белоусов**, д-р экон. наук, проф., **В.Е. Вершин**, канд. техн. наук, **О.В. Вершин**  
(Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, г. Москва)

oleg\_v@bk.ru

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИИ «ПРЕДСКАЗАНИЕ» МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПАКЕТА MATHCAD В УПРАВЛЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

*Рассматриваются принципиальные вопросы использования функции «предсказание» для прогнозирования осциллирующих переменных. Показана эффективность использования функции и некоторые особенности её применения.*

**Ключевые слова:** авторегрессионный, предсказания, метод Бурга, развитие негладких процессов, математический пакет Mathcad.

*Principle questions of the “forecast” function utilization for oscillate variables prediction are considered. Utilization of function efficiency and certain features of its application are shown.*

**Key words:** autoregressive, forecast, Burg’s method, mathematical package Mathcad, uneven processes development.

При управлении экономическими системами, в частности промышленными предприятиями, возникает необходимость оценки величины экономических переменных за пределами исходных данных в некотором будущем. Экономически указанные функции определяются как планирование, прогнозирование и предсказание. Математической основой этих процессов в большей или меньшей степени являются математические методы экстраполяции функций, которыми аппроксимируются исходные данные. В настоящее время для экстраполяции в технических системах начали широко использовать авторегрессионные методы [1–3]. Основной принцип, положенный в их основу, заключается в том, что значение каждой последующей точки экстраполяционной функции определяется как линейная комбинация значений предыдущих точек. Таким образом, авторегрессионные методы могут быть использованы для экстраполяции любого заданного количества точек из числа известных, что, в принципе, должно лучше обеспечивать экстраполяцию существующих негладких функций, нежели обычные методы экстраполяции [3].

В системе *Mathcad* в качестве инструмента для решения задач авторегрессионной экстраполяции используется специальный программный продукт *predict*, реализующий стандартную функцию предсказаний *predict* ( $y, m, n$ ), в которой  $y$  – исходные данные (заданная функция или вектор исходных данных);  $m$  – число последовательно заданных элементов  $y$  и/или данных уже построенной части экстраполирующей функции, на базе которых строится её продолжение;  $n$  – число точек прогнозирования (элементов вектора прогнозирования).

При определении функции *predict* вектор данных  $y$  и количество элементов вектора прогнозирования задаются условиями функционирования объекта, а показатель  $m$  может задаваться исследователем в зависимости от требований к результатам предсказания. Задаваемое количество точек  $m$  создаёт как бы «скользящее окно» шириной в  $m$  точек, перемещающихся по функции  $y$  и экстраполяционной функции *predict* в процессе вычисления последней. Число точек  $m$  отсчитывается справа налево, причём на первом шаге экстраполяции началом отсчета является последний элемент вектора  $y$ , т. е. первая точка функции *predict*. По определению, функция *predict* является продолжением функции данных  $y$  и (при графическом отражении) пристраивается к концу функции  $y$ .

Реализация методов авторегрессионной экстраполяции имеет одну из специфических особенностей, характерную только для их применения. Заключается она в том, что согласно существу этих методов значения функции исходных данных  $y$  должны следовать через равные интервалы аргумента. Это ведёт к двум следствиям: при вычислении функции *predict* данные функции  $y$  должны следовать через равные интервалы аргумента и каждому значению аргумента должно соответствовать определённое значение функции  $y$ . Например, эти требования приводят к тому, что если для определения функции *predict* используются данные ежедневного выпуска продукции, то нерабочие дни не могут быть просто опущены, их следует исключить из календаря. То есть, скажем, в месяце будет не тридцать один день, а столько дней, сколько дней было рабочих, и пронумерованы эти дни должны быть подряд.



Функция *predict* по определению имеет один настраиваемый параметр  $m$ , величина которого должна удовлетворять соотношению

$$1 \leq m \leq m - 1,$$

где  $m$  — количество элементов вектора  $y$ .

Каких либо конкретных рекомендаций по выбору величины  $m$  в программных продуктах *Mathcad* не даётся. Однако опыт работы с функцией *predict* позволяет сделать несколько практических рекомендаций. В частности, если необходимо максимально учесть особенности исходной функции данных  $y$ , то величина  $m$  должна иметь максимально возможное значение.

Если по каким-либо соображениям для экстраполяции желательно использовать только часть исходных данных, то величина  $m$  должна быть выбрана такой, чтобы в окно, определенное величиной  $m$ , входили те участки функции  $y$ , которые следует учесть (напомним, что на первом шаге величина  $m$  отсчитывается от конца вектора  $y$ ). Если, по каким-либо соображениям, желательно использовать некоторые промежуточные элементы вектора  $y$ , то эта часть должна быть выделена как самостоятельная функция и экстраполирована в соответствии с условиями действия функции *predict*. Следует указать, что в некоторых случаях от величины  $m$  существенно зависит характер получаемой экстраполяционной функции вплоть до принципиально отличающихся друг от друга вариантов. Поэтому к выбору параметра  $m$  надо относиться достаточно внимательно.

Принципиальным вопросом использования программного продукта *predict* является оценка качества предсказания, т. е. обеспечение уверенности в том, что полученные результаты являются следствием не только сугубо математической обработки данных, но и собственно характеристик экономического объекта. И если результаты применения методов экстраполяции гладких функций воспринимаются как нечто естественное, то для относительно сложных алгоритмов обработки данных при использовании авторегрессивных методов справедливость полученных результатов может не восприниматься как очевидное. Поэтому прежде чем воспользоваться в практических целях программным продуктом *predict*, хотелось бы каким-либо способом оценить полезность результатов предсказаний.

Основой для применения любого метода технического анализа к экономическим системам является утверждение, что любой фактор, влияющий на экономический показатель (экономический, политический, психологический), учтён и отражён в исследуемых данных, и результаты всех операций над ними в той или иной мере объек-

тивно несут на себе отпечаток существующих причинно-следственных связей [4]. Указанное утверждение, естественно, справедливо и для авторегрессивного метода экстраполяции. Однако этого утверждения недостаточно для количественной оценки полученных предсказаний. Тем не менее, в случаях, если имеется достаточно данных по исследуемой функции или исследуемая функция относится к группе аналогичных функций, по которым имеется такое необходимое количество данных, можно предположить и метод оценки функций *predict*, позволяющий получать качественные, а при необходимости, и количественные результаты.

Положим, что для некоторой функции  $y$  имеется достаточное количество данных, которые можно условно разделить на два подмножества, назвав одно из них известными данными  $y_1$  и второе — условно неизвестными данными  $y_2$ . Тогда представляется возможным проверить качество функции *predict*, получаемой в результате экстраполяции данных  $y_1$  на данные вектора  $y_2$ , и, при необходимости, осуществить на базе функции *predict* настройку экстраполяционной функции на максимальное её соответствие данным  $y_2$ . Покажем это на конкретных примерах.

На рис. 1 приведён график изменения совокупности рыночных экономических показателей  $y$  с изменением аргумента в интервале [1, 40]. График разбит на две части:  $y_1$  (интервал [1, 14]) и  $y_2$  (интервал [14, 40]).

Данные  $y_1$  будем использовать в качестве исходных для построения экстраполяционной функции *predict*  $y_p$ , которую в последующем будем сравнивать с данными  $y_2$ . Из рис. 1 следует достаточно хорошее совпадение функции *predict*  $y_p$  с данными  $y_2$  после следующих настроек функции *predict*: выбора величины  $m = 13$  (максимальное значение аргумента для функции  $y_1$   $m_{\max} = 14$ ) и смещения функции *predict*, получаемой при работе стандартной программы *predict*, на единицу аргумента влево. Из графика полученной экстраполяционной функции *predict*  $y_p$  следует, что в ней могут найти своё отражение только те её свойства, которые отражены в данных  $y_1$ , или комбинации этих свойств. В частности, в функции *predict*  $y_p$  отсутствуют острые максимумы, имеющиеся в функции  $y_2$ , но отсутствующие в функции  $y_1$ , а относительно плоские максимумы функции *predict*  $y_p$  подобны плоскому максимуму функции  $y_1$ .

Приведённые на рис. 1 графики функции  $y_2$  и функции *predict*  $y_p$  показывают достаточно хорошее совпадение между собой на относительно большом интервале предсказания (примерно в полтора раза больше, чем интервал экстраполируемых данных  $y_1$ ).

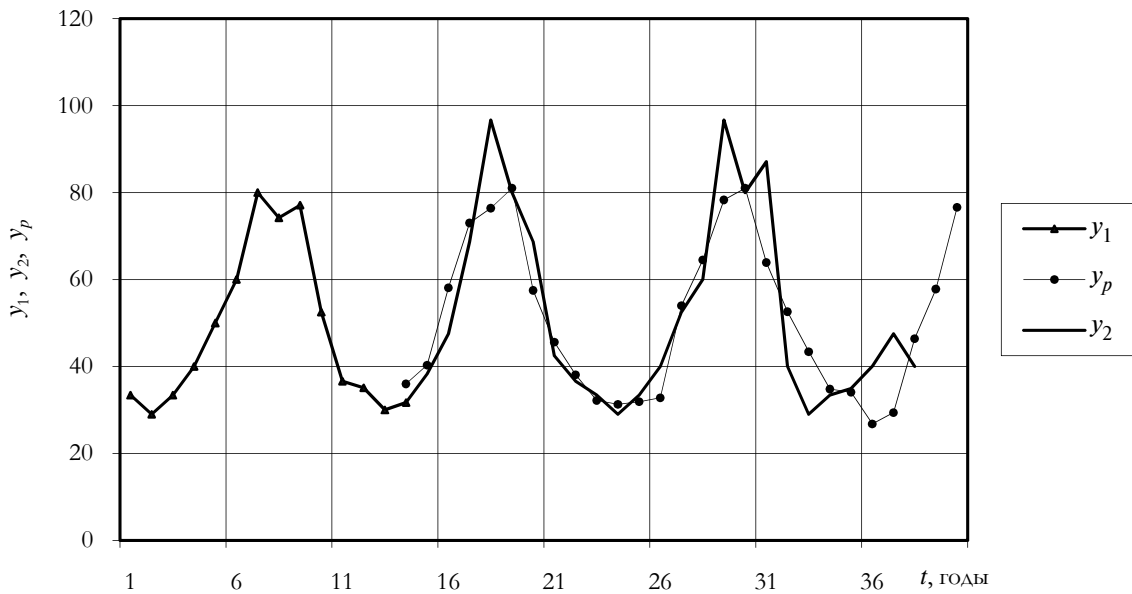


Рис. 1. Функция *predict up* для однозначной функции

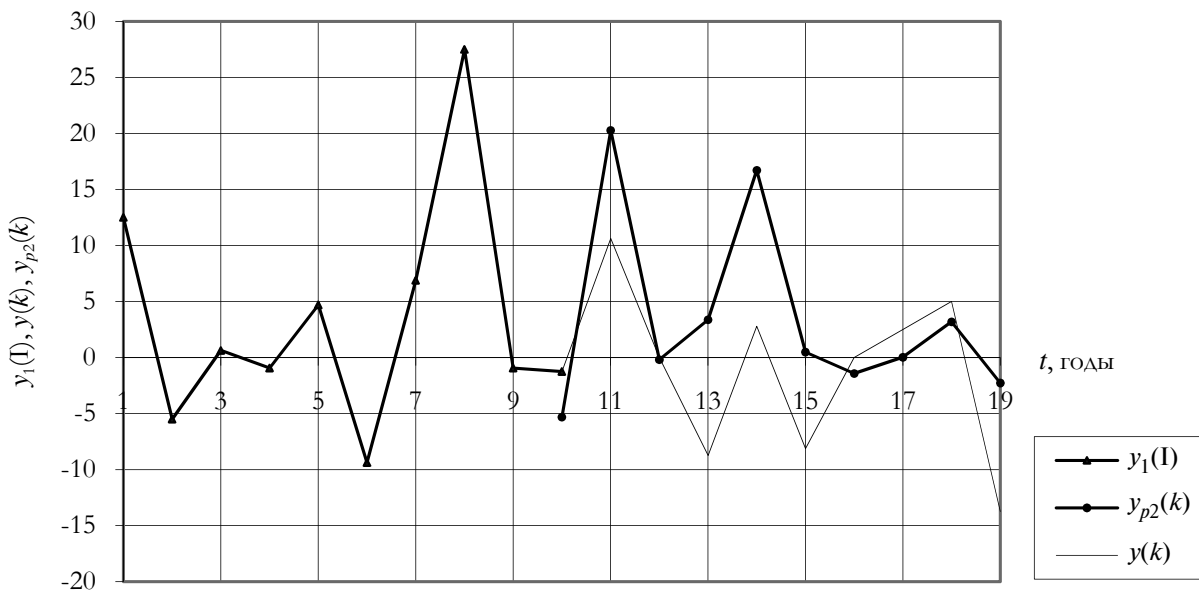


Рис. 2. Функция *predict up2(k)* для знакопеременной функции

Настройка функции *predict* оказывается полезной при исследовании многовариативных результатов предсказания, когда из множества возможных функций  $y_1$  выбирается наиболее подходящая по результатам предсказания.

Использование функции *predict* может оказаться полезным для исследования знакопеременных функций, например таких, как колебания розничных цен относительно их некоторого среднего уровня. В этих случаях важно предсказать моменты разворота цены, т. е. изменение направления её движения с роста на снижение и наоборот.

Для иллюстрации возможностей использования функции *predict* с целью изучения процессов движения цен исследуем знакопеременную функцию  $y$ . Так же, как и в предыдущем случае, вектор исходных данных  $y$  разделен на два подмножества: известных данных  $y_1(I)$  и условно неизвестных  $y(k)$ . Полагая, что функция  $y_1(I)$  (рис. 2) подобна рассмотренной ранее функции  $y_1$  (см. рис. 1), используем для построения функции *predict* аналогичные решения: т. е. величину  $m$  выберем максимальной ( $m = 13$ ), а приводимую на рис. 2 функцию *predict*  $y_{p2}(k)$ , как и в

предыдущем случае, сдвинутой на единицу аргумента влево.

Из сравнения функции  $predict\ y_{p2}(k)$  и практических условно неизвестных  $y_k$  следует, что, хотя по амплитуде переменной функции  $predict$  и  $y(k)$  отличаются достаточно существенно, точки изменения первой производной (точка разворота цены) функции  $predict$  и фактические данные  $y(k)$  в большей или меньшей степени совпадают.

Рассмотренные выше примеры применения функции  $predict$  показывают на возможность использовать её для экстраполяции экономических данных. По сравнению с обычными методами экстраполяции с помощью аппроксимирующих функций, авторегрессионные методы позволяют учесть большее число особенностей экономического объекта и более тонкие эффекты его функционирования, описанные исходными данными. Функция  $predict$ , так же как и другие функции, используемые для экстраполяции, могут улучшать своё качество путём настройки. В частности, показано, что используемая настройка функции  $predict$  с помощью изменения ширины скользящего окна  $m$  может быть дополнена настройкой по аргументу (например, сдвигу по времени) и

при необходимости по величине (введением дополнительно к вычисленной функции  $predict$  корректирующих функций или константы). Возможности настройки функции  $predict$  существенно расширяют области её использования по сравнению с теми, что приведены в стандартных технических описаниях математической системы *Mathcad*. Помимо прямого предназначения функции  $predict$  для предсказания изменения исследуемых переменных путём настройки она может быть использована для исследования управляемости экономического объекта заданием различных вариантов вектора исходных данных и изучением результатов предсказания  $predict$  на соответствие полученных результатов желаемым.

#### **Библиографические ссылки**

1. **Кирьянов Д.В.** Самоучитель Mathcad 13. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 528 с.,
2. **Макаров Е.Г.** Инженерные расчёты в Mathcad 14. СПб.: Питер, 2007. 592 с.,
3. **Дьяконов В.П.** Mathcad в математике. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 958 с.,
4. **Эрлих А.А.** Технический анализ товарных и финансовых рынков. М.: Инфра-М, 1996. 176 с.

УДК 621.7.06; 621.9.06

**В.К. Шемелин**, канд. техн. наук, проф., **Р.А. Нежметдинов**  
(Московский государственный технологический университет «Станкин»)

v\_shem@intercomml.ru

### **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «КЛИЕНТ-СЕРВЕР» ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНТРОЛЛЕРА ТИПА SOFT PLC ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЛОГИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ В РАМКАХ СИСТЕМ ЧПУ**

*Предлагается принцип построения программно реализованных контроллеров Soft PLC на основе клиент-серверного подхода. Рассматривается возможность их применения в рамках общего программно-математического обеспечения на станках с числовым программным управлением для решения логической задачи управления (управления электроавтоматикой станка).*

**Ключевые слова:** числовое программное управление, программируемый логический контроллер, клиент-серверная технология, логическая задача ЧПУ.

*Construction principle of the programmatically realized controllers Soft PLC from a client-server approach is proposed. Their application possibility within of general mathematical and software framework on the CNC machine tools for control logical task decision (control of the machine tool electrics) is considered.*

**Key words:** CNC, programmable logical controller, client-server technology, CNC logical task.

На очередном витке эволюции программируемых контроллеров появилась и получила заслуженную популярность идея их программной реализации (SoftPLC) как наиболее эффективной альтернативы традиционной аппаратной реализации в виде программируемого логического кон-

троллера (ПЛК). Наибольший эффект реализация Soft PLC даёт в системах числового программного управления (ЧПУ) типа PCNC, где программное обеспечение виртуального контроллера работает в одной операционной среде с общим программным обеспечением ЧПУ [1].

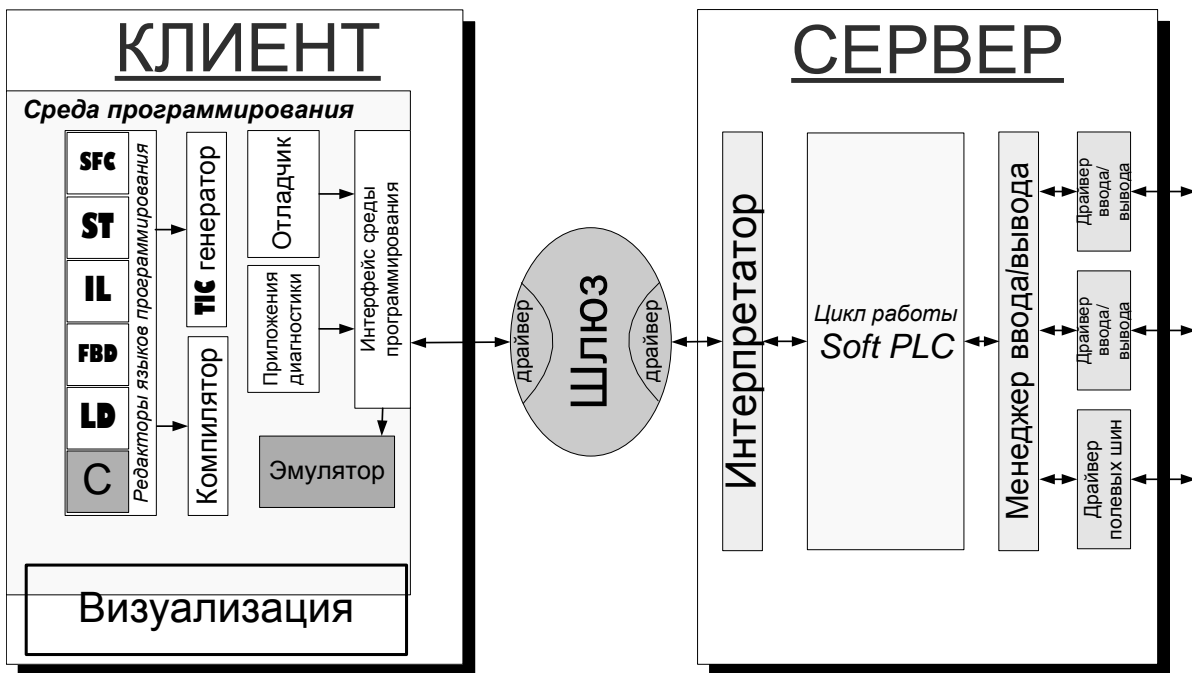


Рис. 1. Клиент-серверная структура Soft PLC

Такой подход позволяет снизить стоимость системы управления при одновременном получении ряда преимуществ. В их числе: унификация общего программного обеспечения, уменьшение ошибок системного программирования, возможность отладки управляющих программ электроавтоматики в рамках самой системы ЧПУ, гибкость конфигурирования электроавтоматики, возможность использования различных коммерческих библиотек [2].

В системах ЧПУ, построенных в соответствии с клиент-серверной моделью, процесс управления условно разделен на две части: клиент-серверная часть, реализующая логическую задачу ЧПУ (управление электроавтоматикой, рис. 1) и клиент-серверная часть, реализующая геометрическую задачу ЧПУ, включающую процесс интерпретации кодов управляющей программы, интерполяцию траектории режущего инструмента и управление следящими приводами подачи. Обе части, как задачи, работают в рамках одной операционной среды и в тесном взаимодействии друг с другом.

Рассмотрим работу данной системы управления в общем случае. На вход клиента подается кадр управляющей программы стандарта ISO-7bit, далее происходит анализ кадра и выделение в нём инструкций, которые необходимо подать на условного клиента Soft PLC и условного клиента ЧПУ. В клиентских приложениях ЧПУ и Soft PLC происходит определение управляющих объектов программно-исполнительной части, для которых предназначены инструкции, полученные от управ-

ляющего кадра, а также формирование управляющих взаимодействий на исполнительную часть в соответствии с полученными инструкциями.

Если рассматривать систему управления электроавтоматикой, то необходимо заметить, что размещение клиентской и серверной частей в одном персональном компьютере послужило основой концепции SoftPLC. Клиентская часть является входной частью программно реализованных логических контроллеров, с которой пользователь может ввести управляющую программу и необходимые при вычислениях значения переменных или констант. Многочисленные современные системы программирования придерживаются стандарта IEC 61131-3; при этом ориентированы на общепромышленную электроавтоматику и имеют мощную инструментальную поддержку, в которой доминирует объектный подход. Серверная часть программно реализованного логического контроллера является исполнительным уровнем, на котором согласно управляющему алгоритму происходит изменение переменных и формирование управляющих сигналов. В серверной части отдельные задачи в реальном времени работают циклически, периодически или по событию.

К операционной системе (ОС), под управлением которой должен работать такой виртуальный ПЛК, должны предъявляться достаточно жёсткие требования. Во-первых, система управления должна быть предсказуемой – потеря данных в системе управления абсолютно недопустима. Следовательно, применяемая ОС должна являться систе-

мой жёсткого реального времени с вытесняющей многозадачностью. Во-вторых, необходимо поддерживать большое количество различного оборудования – коммуникационных адаптеров, плат ввода/вывода и т. п., ассортимент которого постоянно меняется. Значит, применяемая ОС должна предоставлять простые механизмы интерфейса с оборудованием, чтобы в случае необходимости можно было быстро разработать нужный драйвер. В-третьих, использовать в качестве виртуальных ПЛК ЭВМ с избытком ресурсов было бы слишком накладно. То есть, применяемая ОС должна легко встраиваться в устройства с ограниченными ресурсами и поддерживать бездисковые конфигурации. И, наконец, в-четвертых, для обеспечения большей отказоустойчивости необходимо обеспечить безопасность процессов, чтобы они своими действиями не могли навредить как друг другу, так и системе. Это реализуется в ОС, которые предоставляют процессам отдельные защищённые адресные пространства.

Стандартный контроллер предоставляет для размещения прикладной программы память размером всего в несколько килобайт и способен обрабатывать эту программу с тактом в несколько миллисекунд. Совсем другое дело, когда управление осуществляется ПК или в рамках системы ЧПУ, обладающей значительными ресурсами, например: мегабайтами оперативной памяти, гигагерцовым процессором, жёстким диском объёмом в десятки гигабайт, платами расширения с различными интерфейсами, сетью для связи с другими компьютерами, монитором и клавиатурой для взаимодействия с обслуживающим персоналом. Ресурсы системы могут быть использованы также для замены аппаратных средств на функциональные модули в контроллере, которые устанавливаются и поддерживаются на центральном компьютере, откуда могут быть вызваны произвольное число раз. Затраты на аппаратное и программное обеспечение уменьшаются соответствующим образом. Если требуются специальные протоколы, они могут быть написаны в контроллере с помощью стандартных языков. Дополнительный коммуникационный модуль не требуется.

Клиентское приложение программно реализованного логического контроллера имеет компонентную архитектуру и выполняет следующие функции:

проектирование, разработку (программирование), отладку, тестирование и сопровождение программных продуктов, созданных для реализации алгоритмов работы Soft PLC, входящей в состав систем ЧПУ;

наладку, проверку и наблюдение за системами мониторинга и контроля;

конфигурирование пользовательского интерфейса, клиентского и серверного приложений;

визуализация работы Soft PLC как целевой, так и WEB-визуализации.

Для реализации вышеперечисленных функций архитектура клиентского приложения программно реализованного логического контроллера состоит из следующих компонент:

*среды программирования*, отвечающей за реализацию и сопровождение программ, реализующих алгоритмы работы Soft PLC;

*средств мониторинга и контроля*, встроенных в среду программирования, которые могут быть реализованы с помощью *пользовательских приложений*, использующих открытые интерфейсы программирования;

*менеджера конфигурации*, полностью отвечающего за функционал точной настройки всех компонент системы как на клиентском приложении программно реализованного логического контроллера, так и на его серверной части. Настройку можно осуществлять как непосредственно с помощью средств клиентского приложения Soft PLC, так и удалённо с помощью Internet и сети Ethernet;

*компонента визуализации*, отвечающего за все виды визуального сопровождения работы Soft PLC.

Серверное приложение представляет собой управляющий цикл. При управлении цикл периодически повторяется заданное число миллисекунд; в нём читаются входы, производятся вычисления и записываются выходы. Время цикла может быть до одной миллисекунды. На контроллере может иметься несколько работающих с различными временами циклов, выполняемых с очень высоким приоритетом. Также применяется менеджер ввода/вывода и один или более драйверов для связи с полевым оборудованием. Драйверы работают параллельно, и менеджер ввода/вывода гарантирует качество и скорость сбора данных. Имеется также шлюз, позволяющий полемому оборудованию инициализировать связь и общаться с управляющими циклами, которые могут опрашивать устройства на полевых шинах или опрашиваться подобно обычным PLC.

Как и в случае клиентского приложения программно реализованного логического контроллера, серверное приложение имеет компонентную архитектуру и применяется:

для интерпретации ПИС-кода, полученного на основе одного из языков программирования электроавтоматики в клиентском приложении программно реализованного логического контроллера;

чтения входных данных, необходимых для выполнения алгоритма работы Soft PLC.

Так как параллельно могут исполняться несколько циклов, реализующих различные задачи по управлению электроавтоматикой, то чтение осуществляется как со входов Soft PLC, так и из других параллельно выполняемых циклов работы:

выполнения алгоритма работы электроавтоматики, заданного программно в клиентском приложении программно реализованного логического контроллера;

записи выходных данных, полученных в процессе работы Soft PLC. Запись осуществляется как на выходы Soft PLC, так и на входы параллельно выполняемых циклов работы;

ведения архива, в котором фиксируется история работы исполнительской части Soft PLC;

Для реализации вышеперечисленных функций архитектура серверного приложения программно реализованного логического контроллера включает в себя следующие компоненты.

*Интерпретатор.* Это программная компонента, которая допускает в качестве входа исходную программу, записанную на языке, называемом исходным языком, и производит вычисления, предписываемые этой программой. Соответственно в Soft PLC исходным языком выступает сгенерированный ПИС-код.

*Компонента, реализующая исполнительную часть Soft PLC.* Так же, как и в обычных PLC, программно реализованный логический контроллер использует модель детерминированного цикла сканирования (scan cycle, скан-цикл). Периодически выполняется жёстко заданная последовательность исполнения (опрос входных каналов, расчёт управляющей логики и передача данных в выходные каналы).

*Менеджер ввода/вывода.* Данная компонента координирует сбор и обработку данных со всех устройств ввода/вывода, осуществляет управление драйверами устройств.

*Менеджер конфигураций.* Отвечает за функционал точной настройки компонент системы на серверной части программно реализованного логического контроллера. Менеджер конфигураций может получать данные от аналогичной компоненты клиентского приложения и перестраивать работу серверного приложения или же осуществлять настройку с помощью средств Internet и сети Ethernet, т. е. удалённо.

*База данных реального времени.* Получает, обрабатывает и хранит данные о работе Soft PLC.

Так же, как и в обычных PLC, исполнительная часть Soft PLC использует модель детерминированного цикла сканирования (scan cycle): периодически выполняется жёстко заданная последовательность действий (опрос входных каналов, расчёт управляющей логики и передача данных в выходные каналы).

Благодаря возможностям высокопроизводительной многозадачной ОС РВ, а также мощности современных аппаратных средств обеспечивается минимальная длительность цикла работы исполнительской части Soft PLC в пределах одной миллисекунды. Если позволяют ресурсы аппарат-

ной платформы (CPU, DRAM, I/O device,...), то могут одновременно исполняться несколько независимых циклов работы. В Soft PLC типичный цикл сканирования расширен функциями опроса и отправки переменных другим циклам работы. Это позволяет легко использовать совместную информацию в реальном времени.

Программно реализованный логический контроллер, подобно аппаратному ПЛК, должен уметь одновременно выполнять несколько команд и параллельно обрабатывать поступающие внешние сигналы. Внутренняя организация Soft PLC подразумевает, что все процессы контроллера, которым выделены отдельные потоки, выполняются в рамках основного процесса виртуального контроллера, работающего в реальном времени. Процессорное время, выделяемое операционной системой основному процессу, должно быть распределено между потоками.

При реализации исполнительской части Soft PLC необходимо использовать механизм псевдо-многопоточности. Процессорное время должно выделяться потокам отдельными конечными интервалами времени с помощью внутренних механизмов Soft PLC. В каждый момент времени должен выполняться только один поток. Потоки должны быть разделены на группы по приоритетам. Данное разделение потоков на несколько групп в программно реализованном логическом контроллере необходимо для того, чтобы задачи, требующие малого времени реакции на внешнее воздействие, обрабатывались с более высоким приоритетом, чем все остальные.

Высокоприоритетные потоки будут иметь более высокую частоту выделения рабочих интервалов времени. Необходимо также программно реализовать таймеры, которые будут синхронизировать частоту выделения рабочих интервалов времени. Так как реализация исполнительской части Soft PLC подразумевает много приоритетов, то за каждую из частот синхронизации будет отвечать отдельный таймер; каждый из таймеров работает на своей частоте и выделяет рабочие интервалы времени своим потокам.

Алгоритм выполнения программы аппаратного ПЛК в циклическом режиме показан на рис. 2. Содержание отдельных фаз цикла состоит в следующем. Фаза системного анализа отвечает за осуществление мониторинга контроллера (проверяет достаточность памяти, обработку запросов со стороны портов программирования и расширения, а также следит за сменой режима RUN/STOP, контролирует системные параметры и др.). В фазе чтения входных данных происходит обновление внутренней памяти данными с входов контроллера. В фазе вычисления выполняется программа, написанная пользователем. В фазе записи выходных данных обновляется состояние выходов контроллера.



Рис. 2. Цикл работы классического ПЛК



Рис. 3. Цикл работы Soft PLC

Цикл управления включает контроллер (процессор управляет системой, читает входы, выполняет программу и обновляет выходы) или отключает его (процессор лишь управляет системой, читает входы и обновляет таблицу образов выходов; физические выходы не обновляются).

Время цикла контролируется сторожевым таймером и не должно превышать определенного значения, например 150 мс. Иначе возникает ошибка, останавливающая контроллер. Существуют две ситуации:

1. Время цикла сканирования меньше или равно настройке сторожевого таймера (150 мс). Это нормальная ситуация, при которой запускается очередной цикл сканирования.

2. Время сканирования больше настройки сторожевого таймера. Контроллер останавливается, загорается аварийная лампочка.

Данный процесс циклической работы ПЛК полностью реализован в исполнительной части Soft PLC, однако к имевшимся фазам работы в цикле добавились ещё фазы чтения и записи данных в другие циклы работы Soft PLC (они необходимы в случае, если используются одинаковые переменные в параллельно работающих циклах) (рис. 3).

Если были определены межресурсные связи переменных, принимаемые значения связанных переменных обновляются после опроса входных переменных, а выдаваемые другим ресурсам значения переменных посылаются перед обновлением выходных регистров. Данный цикл работы повторяется периодически; если было установлено время цикла, то процесс ожидает истечения этого времени перед началом очередного цикла. Время выполнения цикла работы может варьироваться в зависимости от активных шагов в SFC-программах или выполнения таких инструкций, как Jump, IF и Return и др.

В результате была определена зависимость повышения качества управления электроавтоматикой станка типа PCNC от функционального построения программно реализованных контроллеров SoftPLC в виде компонентной клиент-серверной структуры, встроенной в общую структуру программного обеспечения системы ЧПУ типа PCNC, а также предложена компонентная архитектура клиентской и серверной частей программно реализованного контроллера SoftPLC, которая удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к системе управления электроавтоматикой ЧПУ.

#### Библиографические ссылки

1. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Концепция числового программного управления мехатронными системами: реализация логической задачи // Мехатроника. 2006. № 2. С. 3–5.

2. Шемелин В.К., Нежметдинов Р.А. Повышение качества архитектурных решения систем ЧПУ на основе программно реализованного контроллера типа Soft PLC // Автоматизация и современные технологии. 2008. № 6. С. 33–35.

УДК 004.051

**А.В. Соколов**, канд. физ.-мат. наук, доц.  
(Государственный университет – Высшая школа экономики, г. Москва)  
avsokolov2003@list.ru

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОИСКА ПО НЕЧЁТКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

*Обоснованы формулы для вычисления меры нечёткости утверждения, понятия, системы классификации, задаваемой нечёткой характеристикой. Уточнены понятия полноты и точности поиска в нечётком случае и выведены расчётные формулы для их оценки. Установлена связь между нечёткостью характеристики и эффективностью поиска. Предложена методика построения кривой парето-оптимальных параметров эффективности поиска. Введено понятие автосовместимости системы классификации и установлена её связь с мерой нечёткости характеристики.*

**Ключевые слова:** автоматизированная информационная система, нечёткая характеристика, информационный поиск, эффективность, методика оценки.

*Formulae for statement carelessness measure calculation, conceptions, classification system with uneven description are substantiated. Conceptions of the search completeness and accuracy in the uneven event are specified and calculating formulae for their valuation are derived. Relationship between description carelessness and search efficiency is formed. Construction method of the curve of the search efficiency pareto-optimum parameters is proposed. Classification system autocompatibility conception and their relationship with description carelessness measure are given.*

**Key words:** automatic information systems, uneven description, informational search, efficiency, valuation method.

**Введение.** Нередко в структуре данных фактографических автоматизированных информационных систем (АИС) присутствуют так называемые нечёткие характеристики, значения которых могут быть определены по-разному разными людьми, формализующими информацию для ввода в систему или обращающимися с запросом. Нечёткие характеристики с точки зрения отражения информации и поиска по ним имеют существенные отличия от чётких. Знание особенностей нечётких характеристик и задаваемых ими нечётких классификаций позволит избежать некоторых ошибок при проектировании информационно-лингвистического обеспечения АИС и тем самым повысить качество их функционирования.

В данной статье введено понятие меры нечёткости характеристики и показано влияние нечёткости характеристики на качество информационного поиска.

**Математическая модель нечёткой характеристики.** Будем считать [1], что в АИС накапливается информация по одному или нескольким информационным объектам  $Q$  (лицам, организациям, транспортным средствам, документам и т. п.). Конкретные лица, организации, транспортные средства, документы и т. д. назовём *экземплярами информационного объекта* (ЭИО) и обозначим их буквой  $q$ .

Информационный объект  $Q$  описывается системой характеристик  $l$  (признаков). Например, лицо описывается характеристиками *фамилия, имя, национальность, пол, рост, цвет волос* и т. д. Каждая характеристика имеет ряд значений, которые в большинстве случаев могут быть перечислены и сведены в словарь. Так, характеристика *цвет волос* может иметь значения: *чёрные, русые, рыжие* и т. д. Словарь значений характеристики обозначим буквой  $A$ ,  $A = \{a\}$ , конкретные значения – буквой  $a$  (в том числе с индексами).

Если ЭИО  $q$  имеет значение  $a$  характеристики  $l$ , то запишем  $l(q) = a$  и укажем, что ЭИО  $q$  обладает свойством  $(l, a)$ . Например, если  $l$  – *цвет волос*,  $a$  – *чёрные*, то данная формула означает, что *персона  $q$  имеет чёрные волосы*.

Пользователей АИС, вводящих данные в систему или обращающихся к ней с запросами, будем именовать экспертами.

Характеристику  $l$  назовём *чёткой*, если для любого ЭИО  $q$  и для любого значения  $a$ ,  $a \in A$ , этой характеристики все эксперты дают одинаковый однозначный ответ на вопрос, является ли  $a$  значением характеристики  $l$  для данного ЭИО  $q$ , т. е. с точки зрения всех экспертов утверждение  $l(q) = a$  является либо истинным, либо ложным. В противном случае характеристику  $l$  будем называть *нечёткой* [2].



Чёткую характеристику (точнее её экстенсионал) можно представить в виде отношения – подмножества декартова произведения:

$$l \subseteq Q \times A = \{(q, a)\},$$

где  $(q, a) \in l$  в том и только в том случае, если  $l(q) = a$ , а также задать характеристической функцией

$$\chi_l(q, a) = \begin{cases} 1, & \text{если } l(q) = a, \\ 0, & \text{если } l(q) \neq a. \end{cases}$$

Аналогичным образом нечёткую характеристику можно определить как нечёткое отношение, т. е. как нечёткое множество [3] с функцией принадлежности  $\mu_l(q, a) \in [0; 1]$ , заданной на (чётком) множестве  $Q \times A$ . При этом значение функции принадлежности  $\mu_l(q, a)$  будем считать равным доле экспертов, считающих, что  $l(q) = a$ .

Нечёткие множества вида  $Q_{(l,a)} = \{q \in Q \mid \mu_{(l,a)}(q) > 0\}$ ,  $\mu_{(l,a)} \in [0; 1]$  будем называть объёмами свойств  $(l, a)$ . Если из контекста известно, о какой характеристике идёт речь, индекс  $l$  опустим. Тогда нечёткое множество  $Q_a = \{q \in Q \mid \mu_a(q) > 0\}$ ,  $a \in A$  с функцией принадлежности  $\mu_a(q)$  будем называть объёмом понятия  $a$ .

Функция принадлежности показывает степень соответствия «истине» утверждения  $l(q) = a$ , т. е. степень уверенности сообщества индивидов в том, что ЭИО  $q$  обладает свойством  $(l, a)$ . Очевидно, чем больший процент индивидов считает, что  $(q, a) \in l$ , тем больше должно быть значение  $\mu_a(q)$ . Если все индивиды считают, что  $q \in Q_a$ , то логично положить  $\mu_a(q) = 1$ , а если никто так не считает, то следует положить  $\mu_a(q) = 0$ .

Уточним, как моделируется функция принадлежности. Пусть имеем жюри из  $m$  экспертов, каждый из которых оценивает справедливость утверждения  $q \in Q_a$  по двухбалльной шкале  $\{0; 1\}$ :

$$\varphi_k = \begin{cases} 1, & \text{если эксперт } k \text{ считает,} \\ & \text{что утверждение } l(q) = a \text{ истинно,} \\ 0, & \text{если эксперт } k \text{ считает,} \\ & \text{что утверждение } l(q) = a \text{ ложно.} \end{cases}$$

Тогда, если мнения всех экспертов равноценны, логично положить

$$\mu_a(q) = \frac{\sum_{k=1}^m \varphi_k(q)}{m}.$$

Введённая таким образом функция принадлежности обладает всеми перечисленными свойствами. Значение  $\mu_a(q)$  можно трактовать как вероятность того, что наугад выбранный эксперт из данного жюри признает утверждение  $l(q) = a$  справедливым.

Если взять другую группу экспертов, то могут получиться результаты, отличные от данных. Достоверные<sup>1</sup> результаты получатся на так называемой генеральной совокупности – множестве всех потенциальных экспертов. Для получения значений, близких к достоверным, следует использовать представительное жюри экспертов. Под представительностью понимается следующее. Эксперты должны охватывать разнообразие подходов к оценке степени принадлежности элемента к множеству (жёсткая, средняя, мягкая оценка). Представительности выборки обычно добиваются путём случайного выбора из генеральной совокупности достаточного количества элементов (в данном случае – экспертов). Проверка представительности выборки может осуществляться разбиением её случайным образом на две или более части и сравнением полученных результатов. Если результаты окажутся близкими, можно считать выборку представительной. В противном случае следует увеличить объём выборки, поскольку обычно чем больше выборка, тем достовернее получается результат. Уменьшить число экспертов при том же уровне достоверности можно, разрешив экспертам оценивать принадлежность элемента множеству по нечёткой шкале [4], в частности, по шкале с  $n + 1$  градациями  $\mu_{\varrho}(q) \in \{0; \frac{1}{n}; \frac{2}{n}; \dots; 1\}$ .

Чёткая характеристика задаёт классификацию на множестве  $Q$  – разбиение его на непересекающиеся классы  $Q_a$ ,  $a \in A$  [1]. В нечётком случае и классификация получается нечёткой: некоторые эксперты отнесут ЭИО  $q$  к одному классу, а некоторые – к другому. Понятно, что степень разброса мнений экспертов может быть различной для разных характеристик. Таким образом, речь может идти о мере нечёткости классификаций.

В АИС могут быть реализованы различные подходы к классифицированию по нечётким характеристикам. Предположим, что используется так называемый альтернативный подход [2], заключающийся в том, что каждый эксперт любому  $q \in Q$  придаёт одно и только одно значение характеристики  $l$ . Это означает, что  $\forall q \in Q \sum_{a \in A} \mu_a(q) = 1$ .

<sup>1</sup> Подразумевается существование некоей гипотетической объективной величины  $\mu_a(q)$ , характеризующей степень принадлежности элемента  $q$  к множеству  $Q_a$ .

**Мера нечёткости.** Как уже отмечалось, одни характеристики ведут себя как нечёткие в большей степени, а другие – в меньшей. Это же касается отдельных свойств (понятий) и даже высказываний. Так, о цвете волос одного человека можно уверенно утверждать, что они чёрные, а о цвете волос другого человека это же утверждение может вызвать сомнение – мнения экспертов могут разделиться. Поэтому логично ввести меру нечёткости высказываний, понятий (свойств), а также характеристик (классификаций).

Существуют разные подходы к определению меры нечёткости множеств. Во всех таких подходах предполагается, что мера нечёткости  $v_A$  множества  $A$  должна удовлетворять, как минимум, следующим двум естественным аксиомам [5]:

$v_A \leq v_B$ , если множество  $A$  является заострением множества  $B$ , т. е.  $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$  при  $\mu_B(x) < 0,5$ , и  $\mu_A(x) \geq \mu_B(x)$  при  $\mu_B(x) > 0,5$ ;

$v_A = v_B$ , т. е. меры нечёткости множества и его дополнения совпадают ( $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in U$ , где  $U$  – универсум, т. е. чёткое множество, из элементов которого строятся все рассматриваемые множества).

Принимая обе аксиомы, наложим ещё одно естественное для рассматриваемого приложения условие: мера нечёткости должна характеризовать степень отличия нечёткого множества  $A$  от ближайшего чёткого множества  $B$ , т. е. множества, состоящего из всех элементов  $x \in U$ , для которых  $\mu_A(x) > 0,5$  и, возможно, некоторых (или всех) элементов  $x \in U$ , для которых  $\mu_A(x) = 0,5$ . При этом мера нечёткости не должна зависеть от того, какие и сколько элементов со значением  $\mu_A(x) = 0,5$  включены в множество  $B$ .

Кроме того, примем ещё одну аксиому, имеющую нормировочный характер:

$v_A \in [0;1]$ , причём для чёткого случая ( $\forall x \in U \quad \mu_A(x) \in \{0;1\}$ )  $v_A = 0$ , а для наиболее нечёткого ( $\forall x \in U \quad \mu_A(x) = 0,5$ )  $v_A = 1$ .

*Мера нечёткости утверждения (высказывания).* Пусть имеем утверждение  $l(q) = a$  со степенью «истинности»  $\mu_a(q)$ . В данном и следующих разделах характеристику  $l$  будем считать фиксированной, и для упрощения формул индекс  $l$  будем опускать.

Назовём мерой нечёткости утверждения  $l(q) = a$  величину

$$v_a(q) = 4\mu_a(q)(1 - \mu_a(q)), \quad (1)$$

где 4 – нормирующий множитель.

Нетрудно заметить, что  $v_a(q) \in [0;1]$ , причём  $v_a(q) = 0$  тогда и только тогда, когда  $\mu_a(q) = 1$  или  $\mu_a(q) = 0$ , т. е. в случае, когда мнение всех экспертов совпадает. Также очевидно, что  $v_a(q) = 1$

в случае, когда мнения экспертов разделились пополам:  $\mu_a(q) = 0,5$ .

Заметим, что чем единодушнее эксперты ( $\mu_a(q) \rightarrow 0$  или  $\mu_a(q) \rightarrow 1$ ), тем ближе значение  $v_a(q)$  к нулю, а чем сильнее разногласия в оценке истинности утверждения ( $\mu_a(q) \rightarrow 0,5$ ), тем значение  $v_a(q)$  ближе к единице. Далее очевидно, что если  $\mu_{\bar{a}}(q) = 1 - \mu_a(q)$ , то  $v_a(q) = v_{\bar{a}}(q)$ .

Таким образом, мера нечёткости (1) оправдывает своё название.

*Мера нечёткости понятия (свойства).* Нечёткость понятия с объёмом  $a$  свяжем с оценкой нечёткости ответов экспертов на вопросы: верно ли, что  $l(q) = a$ ,  $q \in Q$ , или, что то же самое,  $q \in Q_a$ . Таким образом, определим меру нечёткости  $v_a$  понятия  $a$  как усреднение мер нечёткости высказываний  $l(q) = a$  по всем  $q \in Q$ :

$$v_a = \frac{\sum_{q \in Q} v_a(q)}{|Q|} = \frac{4 \sum_{q \in Q} \mu_a(q)(1 - \mu_a(q))}{|Q|}, \quad (2)$$

где  $|Q|$  – мощность множества  $Q$ .

Очевидно, что  $v_a \in [0;1]$ , причём чёткие понятия, и только они, будут иметь нулевую меру нечёткости, а  $v_a = 1$  тогда и только тогда, когда  $\forall q \in Q \quad \mu_a(q) = 0,5$ . Таким образом, мера нечёткости (2) удовлетворяет приведённым выше аксиомам.

*Мера нечёткости характеристики (классификации).* Для оценки степени нечёткости характеристики  $l$  в целом, или, что то же самое, нечёткости системы классификации, задаваемой этой характеристикой, введём показатель  $v_l$ :

$$v_l = \sum_{a \in A} p(a) v_a, \quad (3)$$

где  $p(a) = \frac{\sum_{q \in Q} \mu_a(q)}{|Q|} = \frac{|Q_a|}{|Q|}$  – вес понятия  $a$  в системе понятий  $A = \{a\} \mid Q_a = \sum_{q \in Q} \mu_a(q)$  – обобщённая

мощность нечёткого множества  $Q_a$  (объёма понятия  $a$ );  $v_a$  – мера нечёткости понятия  $a$ , вычисленная по формуле (2).

Величину  $p(a)$  можно интерпретировать как «вероятность» понятия  $a$  в системе понятий  $A$ , точнее говоря, вероятность того, что наугад выбранный эксперт при выборе наугад  $q \in Q$  признаёт, что  $l(q) = a$ .

В небольшом эксперименте (50 испытуемых, 10 экспертов), проведённом автором, были получены оценки меры нечёткости для ряда харак-

теристик, значения которых оценивались путём визуального наблюдения испытуемых. В частности, для характеристики  $P$  – *рост* с множеством значений {высокий, средний, низкий} было получено значение меры нечёткости  $v_p = 0,29$ , а для характеристики  $P'$  – *рост* с четырьмя значениями (добавилось значение «выше среднего»):  $v_{p'} = 0,41$ . Для характеристики  $\Phi$  – *форма лица* с множеством значений {треугольное, прямоугольное, овальное, круглое} было получено значение меры нечёткости  $v_\Phi = 0,60$ , а для характеристики  $\Phi'$  – *форма лица* с пятью значениями (добавилось значение «ромбовидное»):  $v_{\Phi'} = 0,50$ . Как видно из этих примеров, даже небольшое изменение множества значений характеристики может повлечь изменение её меры нечёткости, причём добавление нового понятия в словарь может как увеличить, так и уменьшить меру нечёткости.

**Коэффициенты полноты и точности поиска по нечёткой характеристике.** Пусть в АИС от пользователя поступил элементарный запрос  $l(q) = a$ . Для увеличения полноты выдачи он может быть обработан с расширением, т. е. переведён системой (или помощником пользователя) в запрос вида  $l(q) = \bigvee_{i=1}^{k(a)} a_i$ . Как частный случай может быть обработан исходный запрос  $l(q) = a$  (без расширения). Релевантность выдачи оценивает сам пользователь, задавший запрос. Другой пользователь, мог бы по-другому оценить релевантность.

Смоделируем ситуацию оценки релевантности следующим образом. Пусть имеем  $m$  пользователей АИС, которые потенциально могли бы задать запрос  $l(q) = a$ . Для простоты будем считать, что каждый из них задаёт подобный запрос с равной вероятностью. И пусть  $k$ -й пользователь ( $k = 1, \dots, m$ ) оценивает релевантность каждого  $q \in Q$  функцией принадлежности  $\mu_k(q) \in \{0; 1\}$ . Тогда величина

$$r(q) = \frac{\sum_{k=1}^m \mu_k(q)}{m}$$

определяет степень релевантности ЭИО  $q$  запросу  $l(q) = a$ , которую можно интерпретировать как вероятность того, что наугад выбранный эксперт-пользователь оценил пару  $(q, a)$  как релевантную.

Аналогичным образом эксперт, вводивший информацию в АИС, мог определить, что ЭИО  $q$  либо обладает свойством  $(l, a_i)$ ,  $a_i \in A$ , и приписать ему значение  $a_i$  характеристики  $l$ , либо не обладает им. Таким образом, эксперт, вводивший

информацию (обозначим возможное их количество через  $h$ ), тоже оценивает релевантность пар  $(q, a_i)$  некоторой функцией принадлежности  $\varphi_{is}(q) \in \{0; 1\}$ ,  $s = 1, \dots, h$ . Тогда вероятность того, что наугад выбранный эксперт, вводивший информацию, признает пару  $(q, a_i)$  релевантной, составит

$$\mu_{a_i}(q) = \frac{\sum_{s=1}^h \varphi_{is}(q)}{h}.$$

Пусть  $\xi_a(q)$  – случайная величина, принимающая значение 1, если эксперт, задающий запрос, признаёт пару  $(q, a)$  релевантной, и 0 – в противном случае. Аналогичные случайные величины  $\xi_{a_i}(q)$  введём и для эксперта, вводившего информацию в АИС. Тогда ЭИО  $q$  будет одновременно релевантным запросу  $l(q) = a$  и выданным на соответствующий запрос  $l(q) = \bigvee_{i=1}^{k(a)} a_i$  в том и только том случае, если

$$\xi_a(q) \cdot \bigvee_{i=1}^{k(a)} \xi_{a_i}(q) = 1.$$

Коэффициент полноты будем вычислять как отношение математического ожидания  $E$  количества выданных релевантных ЭИО  $q$  к математическому ожиданию количества всех релевантных ЭИО, а коэффициент точности – как отношение математического ожидания количества выданных релевантных ЭИО к математическому ожиданию всех выданных ЭИО [2]:

$$k_{\Pi}(a) = \frac{E\left(\sum_{q \in Q} \xi_a(q) \cdot \bigvee_{i=1}^{k(a)} \xi_{a_i}(q)\right)}{E\left(\sum_{q \in Q} \xi_a(q)\right)},$$

$$k_{\Gamma}(a) = \frac{E\left(\sum_{q \in Q} \xi_a(q) \cdot \bigvee_{i=1}^{k(a)} \xi_{a_i}(q)\right)}{E\left(\sum_{q \in Q} \bigvee_{i=1}^{k(a)} \xi_{a_i}(q)\right)}. \tag{4}$$

Преобразуем формулы (4). Можно считать, что случайные величины  $\xi_a(q)$  и  $\xi_{a_i}(q)$  независимы, поскольку эксперт, вводивший данные в АИС, и пользователь, оценивающий выдачу, скорее всего, разные лица, или, по крайней мере, процессы ввода и оценки релевантности выдачи разнесены во времени. Примем предположение, что при классифицировании эксперт, вводивший ин-

формацию, применяет альтернативный подход, т. е. каждому ЭИО  $q$  присваивает единственное значение  $a_i \in A$ , тогда  $\bigvee_{i=1}^{k(a)} \xi_i(q) = \sum_{i=1}^{k(a)} \xi_i(q)$ .

Поскольку  $E\xi_a(q) = \mu_a(q)$ , а  $E\xi_{a_i}(q) = \mu_{a_i}(q)$ , то ввиду аддитивности математического ожидания формулы (4) можно переписать в виде

$$k_{\Pi}(a) = \frac{\sum_{i=1}^{k(a)} \sum_{q \in Q} (\mu_a(q) \cdot \mu_{a_i}(q))}{\sum_{q \in Q} \mu_a(q)} = \frac{\sum_{i=1}^{k(a)} |Q_a \cdot Q_{a_i}|}{|Q_a|},$$

$$k_T(a) = \frac{\sum_{i=1}^{k(a)} \sum_{q \in Q} (\mu_a(q) \cdot \mu_{a_i}(q))}{\sum_{i=1}^{k(a)} \sum_{q \in Q} \mu_{a_i}(q)} =$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{k(a)} |Q_a \cdot Q_{a_i}|}{\sum_{i=1}^{k(a)} |Q_{a_i}|}, \tag{5}$$

где  $|Q_a \cdot Q_{a_i}| = \sum_{q \in Q} (\mu_a(q) \cdot \mu_{a_i}(q))$ .

*Замечание.* Здесь предполагалось, что функции принадлежности  $\mu_a(q)$ ,  $a \in A$  для жюри экспертов, задающих запрос, и для жюри экспертов, вводящих информацию, совпадают, что, вообще говоря, справедливо для представительных групп экспертов. Возможные отличия в оценках для таких построений несущественны.

Для получения обобщённых показателей эффективности поиска по всем значениям характеристики  $l$  будем использовать взвешенную сумму частных показателей с весами  $p(a)$ , равными вероятности запросов  $l(q) = a$ , которую, как и ранее, будем считать равной доле ЭИО  $q \in Q_a$  во всём множестве ЭИО  $q \in Q$ , т. е.

$$p(a) = \frac{\sum_{q \in Q} \mu_a(q)}{|Q|} = \frac{|Q_a|}{|Q|}.$$

Тогда с учётом формулы (5) получим

$$k_{\Pi} = \sum_{a \in A} p(a) k_{\Pi}(a) = \frac{\sum_{a \in A} \sum_{i=1}^{k(a)} |Q_a \cdot Q_{a_i}|}{|Q|},$$

$$k_T = \sum_{a \in A} p(a) k_T(a) = \sum_{a \in A} \frac{|Q_a| \cdot \sum_{i=1}^{k(a)} |Q_a \cdot Q_{a_i}|}{|Q| \cdot \sum_{i=1}^{k(a)} |Q_{a_i}|}. \tag{6}$$

В формулах для вычисления коэффициентов полноты и точности фигурируют мощности множеств  $|Q|$ ,  $|Q_a|$ ,  $|Q_{a_i}|$  и  $|Q_a \cdot Q_{a_i}|$ . Однако не всегда можно их вычислить, тем более, если эти множества бесконечны (например, множество всех персон, обладающих данным свойством). В этом случае вместо  $|Q_a|$ ,  $|Q_{a_i}|$  и  $|Q_a \cdot Q_{a_i}|$  можно использовать относительные частоты  $\frac{|Q_a|}{|Q|}$ ,  $\frac{|Q_{a_i}|}{|Q|}$  и  $\frac{|Q_a \cdot Q_{a_i}|}{|Q|}$  соответственно. Очевидно, что значения коэффициентов полноты и точности от этого не изменятся. Относительные частоты можно оценить по представительной выборке известными методами.

**Влияние нечёткости на эффективность поиска.**

В нечётком случае даже для тождественных понятий нельзя утверждать, что они имеют один и тот же объём с точки зрения различных экспертов. Поэтому адекватно обработанный запрос может не дать единичных значений полноты и точности поиска.

Действительно, при обработке запроса без его расширения коэффициенты полноты и точности составят

$$k_{\Pi,T}(a) = \frac{\sum_{q \in Q} \mu_a^2(q)}{\sum_{q \in Q} \mu_a(q)}.$$

В этом случае между мерой нечёткости понятия и эффективностью поиска существует связь, которую получим из уравнения (2):

$$v_a = \frac{4|Q_a|(1 - k_{\Pi,T}(a))}{|Q|} = 4p(a)(1 - k_{\Pi,T}(a)). \tag{7}$$

Из формулы (7) находим

$$k_{\Pi,T}(a) = 1 - \frac{|Q|v_a}{4|Q_a|} = 1 - \frac{v_a}{4p(a)}. \tag{8}$$

*Замечание.* Равенство  $p(a) = 0$  выполняется только для пустого понятия. При этом  $v_a = 0$ ,  $k_{\Pi,T}(a) = 1$ .

Из формулы (8) следует, что чем больше отношение меры нечёткости понятия  $a$  к мощности его объёма, тем хуже показатели эффективности поиска, а для чётких понятий  $k_{П,Т}(a) = 1$ .

В упомянутом выше эксперименте для свойств «рост: средний», «лицо: ромбовидное», «волосы: рыжие» были, в частности, получены следующие оценки коэффициентов полноты (точности): 0,74; 0,29 и 0,6 соответственно.

Для обобщённых показателей эффективности поиска при альтернативном способе классифицирования имеем

$$k_{П,Т} = \sum_{a \in A} p(a)k_{П,Т}(a) = 1 - \frac{1}{4} \sum_{a \in A} v_a. \tag{9}$$

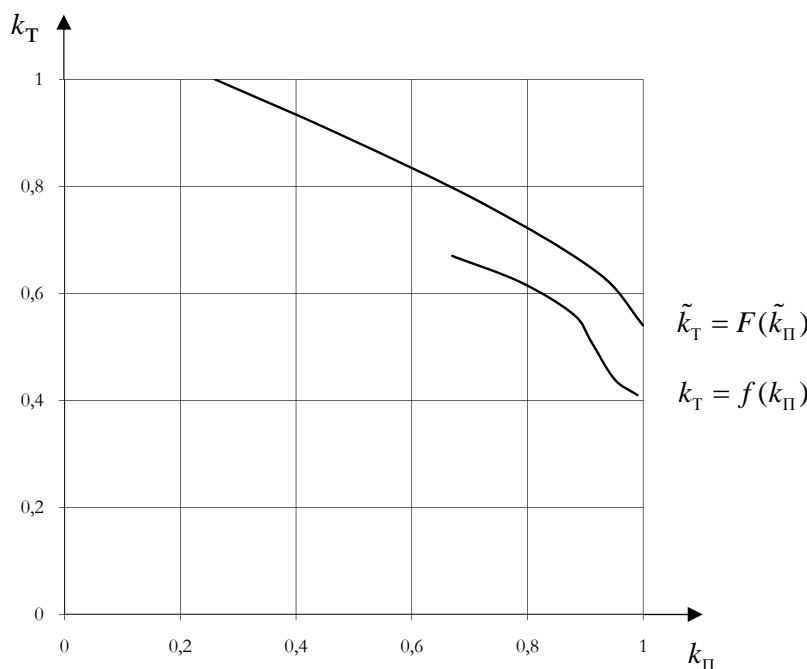
Из формулы (9) видно, что чем больше мера нечёткости значений характеристики, тем ниже эффективность поиска, причём  $k_{П,Т} = 1$  в том и только в том случае, когда все значения характеристики чёткие.

**Метод построения паретовой границы в критериальном пространстве показателей эффективности поиска.** Рассмотрим естественный для практики функционирования большинства АИС случай, когда ввод данных по каждому  $q \in Q$  осуществляет один эксперт. Как указывалось выше, при обработке запроса  $l(q) = a$  его можно расширить – преобразовать в запрос вида  $l(q) = \bigvee_{i=1}^{k(a)} a_i$ . Тогда коэффициенты полноты и точности будут иметь вид (5) – для единичных запросов и (6) – для обобщённых показателей.

Варьируя вид преобразования запросов  $l(q) = a \rightarrow l(q) = \bigvee_{i=1}^{k(a)} a_i$ , можно получать различные сочетания значений коэффициентов полноты и точности. Нанеся полученные точки  $(k_{П}, k_{Т})$  на координатную плоскость и построив огибающую, получим парето-эффективную границу  $k_{Т} = f(k_{П})$ , преодолеть которую при данном способе индексирования невозможно. В проведённом автором эксперименте для характеристики *рост* со значениями *высокий, выше среднего, средний, низкий* была получена зависимость, изображённая на рисунке.

Однако можно получить оптимальную кривую  $\tilde{k}_{Т} = F(\tilde{k}_{П})$ , расположенную выше построенной. Но для этого придётся предположить, что ввод данных в АИС осуществляется группой экспертов, определяющих функцию принадлежности  $\mu_a(q)$ . Тогда решение о вводе данных  $l(q) = a$  в АИС может быть принято на основе выполнения неравенства  $\mu_a(q) \geq r$ , где константа  $r$  выбирается исходя из предпочтений пользователя о соотношении коэффициентов полноты и точности поиска<sup>1</sup>. При этом на запрос  $l(q) = a$  выдаются ЭИО, проиндексированные как  $l(q) = a$ . Изменяя константу  $r$ , можно получать различные соотношения между коэффициентами полноты и точности поиска. Коэффициенты полноты и точности поиска при этом примут вид

<sup>1</sup> При возможности в АИС можно вводить наряду с данными  $l(q) = a$  оценку их «истинности»  $\mu_a(q)$ . Тогда при обращении пользователя с запросом можно учитывать его предпочтение о соотношении полноты и точности поиска.



Кривые оптимальных характеристик

$$\tilde{k}_\Pi(a) = \frac{\sum_{q:\mu_a(q)\geq r} \mu_a(q)}{\sum_{q\in Q} \mu_a(q)},$$

$$\tilde{k}_T(a) = \frac{\sum_{q:\mu_a(q)\geq r} \mu_a(q)}{|\{q\in Q \mid \mu_a(q)\geq r\}|}.$$

Для обобщённых коэффициентов полноты и точности поиска по всем значениям характеристики удобно использовать способ усреднения, иной чем в формуле (6), – как отношение обобщённой мощности нечёткого множества выданных релевантных ЭИО к обобщённой мощности нечёткого множества всех релевантных или всех выданных ЭИО соответственно:

$$\tilde{k}_\Pi = \frac{\sum_{a\in A} \sum_{q:\mu_a(q)\geq r} \mu_a(q)}{\sum_{a\in A} \sum_{q\in Q} \mu_a(q)},$$

$$\tilde{k}_T = \frac{\sum_{a\in A} \sum_{q:\mu_a(q)\geq r} \mu_a(q)}{\sum_{a\in A} |\{q\in Q \mid \mu_a(q)\geq r\}|}. \tag{10}$$

Используя технику, описанную в работе [4], можно построить кривую зависимости  $\tilde{k}_T = F(\tilde{k}_\Pi)$ , представляющую собой паретову границу множества достижимых критериальных оценок в задаче двухкритериальной оптимизации  $\tilde{k}_\Pi \rightarrow \max, \tilde{k}_T \rightarrow \max$ . Эта техника заключается в следующем. Сначала считаем, что АИС выдаёт на всевозможные запросы вида  $l(q) = a, a \in A$  все  $q \in Q$ , для которых  $\mu_a(q) > 0$ . При этом получаем  $k_\Pi = 1$  при некотором (низком) значении  $k_T$ . Затем из выдачи последовательно исключаются наименее релевантные пары  $(q, a)$  до тех пор, пока в ней останутся только такие  $q \in Q$ , для которых  $\mu_a(q) = 1$  (если таковые имеются). При таком исключении коэффициент точности будет возрастать, а коэффициент полноты уменьшаться. Построенная по таким точкам кривая является паретовой границей множества всевозможных достижимых пар  $(k_\Pi, k_T)$ .

В упомянутом выше эксперименте для характеристики *рост* с четырьмя значениями были получены данные, представленные в таблице, и кривая  $\tilde{k}_T = F(\tilde{k}_\Pi)$ , изображённая на рисунке. Здесь значения функции принадлежности  $\mu_a(q)$  округлены до 0,2 и упорядочены по убыванию,

по формулам (10) подсчитаны значения коэффициентов полноты и точности поиска.

Здесь  $i$  – номер группы ЭИО, имеющих одинаковые значения функции принадлежности;  $r_i = \mu_a(q)$  – степень релевантности пары  $(a, q)$ , или, что то же самое, – мера «истинности» утверждения  $l(q) = a$ ;  $n_i$  – число пар  $(a, q)$  со степенью

релевантности  $r_i, k_\Pi(i) = \frac{\sum_{j=1}^i r_j n_j}{\sum_{j=1}^i r_j n_j}, k_T(i) = \frac{\sum_{j=1}^i r_j n_j}{\sum_{j=1}^i n_j}$  –

коэффициенты полноты и точности поиска, вычисленные при условии выдачи на запрос  $l(q) = a$  всех ЭИО  $q \in Q$ , для которых  $\mu_a(q) \geq r_i$ .

Данные для построения кривой  $\tilde{k}_T = F(\tilde{k}_\Pi)$

$i$	$r_i$	$n_i$	$\sum_{j=1}^i r_j n_j$	$\sum_{j=1}^i n_j$	$k_\Pi(i)$	$k_T(i)$
1	1	13	13,0	13	0,26	1
2	0,8	13	23,4	26	0,47	0,90
3	0,6	21	36,0	47	0,72	0,77
4	0,4	25	46,0	72	0,92	0,64
5	0,2	20	50	92	1	0,54

Из таблицы видно, как получить то или иное значение коэффициентов полноты и точности поиска. Так, например, для того чтобы получить  $k_\Pi = 0,72$  и соответственно  $k_T = 0,77$ , нужно вводить в АИС (или же выдавать на запрос, если в АИС хранятся значения  $\mu_a(q)$  функции принадлежности) данные  $l(q) = a$  с мерой «истинности»  $\mu_a(q) \geq 0,6$ .

По построенной кривой можно сориентироваться, выше каких значений полноты и точности при поиске по данной характеристике добиться невозможно. Так, для получения  $k_\Pi = 1$  придётся рассчитывать на то, что точность будет не выше 0,54. Это значит, что 46 % выдачи будет состоять из «информационного шума» – нерелевантной информации. Для получения  $k_T = 1$ , т. е. чтобы не было «информационного шума», не следует ожидать полноты выдачи более 26 %. Это значит, что 74 % релевантной информации будет потеряно.

*Замечание.* Если необходимо учесть неравномерность различных запросов вида  $l(q) = a$ , в формуле (10) следует заменить  $\mu_a(q)$  на  $p(a) \cdot \mu_a(q)$ . В остальном метод построения кривой  $\tilde{k}_T = F(\tilde{k}_\Pi)$  не изменяется. Значения коэффициентов  $\tilde{k}_\Pi$  и  $\tilde{k}_T$  в формуле (10), вообще говоря, отличаются от коэффициентов  $k_\Pi$  и  $k_T$  в формуле (6). Однако такое отличие для оценки эффективности поиска несущественно.

**Автосовместимость системы классификации.** Развивая идею работы [1], можно определить понятие автосовместимости системы классификации, как совместимость системы классификации с самой собой, а также её меру:

$$\mu(l, l) = \sum_{a \in A} p(a) \cdot \max_{\varphi(a): a \rightarrow 2^A} (k_{\Pi}(a) + k_{\Gamma}(a) - 1),$$

где функции  $\varphi$  задают отображения понятий  $a \in A$  в подмножества словаря  $A$ . Коэффициенты  $k_{\Pi}(a)$ ,  $k_{\Gamma}(a)$  подсчитываются при соответствующем преобразовании запросов  $l(q) = a \rightarrow l(q) = \bigvee_{i=1}^{k(a)} a_i$  для осуществления поиска, здесь  $\varphi(a) \{a_1, \dots, a_{k(a)}\}$ .

В упомянутом выше эксперименте для характеристики  $P'$  – *рост* значение автосовместимости оказалось равным  $\mu(P', P') = 0,44$ . Оно достигается при следующем преобразовании значений характеристики: *высокий* → *высокий*; *выше среднего* → *высокий*  $\vee$  *выше среднего*  $\vee$  *средний*; *средний* → *выше среднего*  $\vee$  *средний*; *низкий* → *низкий*. При этом значения коэффициентов полноты и точности поиска соответственно составят  $k_{\Pi} = 0,88$ ,  $k_{\Gamma} = 0,56$ .

Если запросы обрабатываются без расширения (т. е.  $\varphi(a) = a$ ,  $a \in A$ ), из формулы (8) получим

$$\mu(l, l) = 1 - 0,5 \sum_{a \in A} v_a.$$

Из последней формулы видно, что чем более нечёткими являются значения характеристики, тем ниже значение автосовместимости системы классификации.

Из приведённых построений следует, что при анализе совместимости некоторой системы классификации  $l_2$  с нечёткой системой классификации  $l_1$  [2] следует считать совместимость вполне

удовлетворительной, если мера  $\mu(l_2, l_1)$  совместимости  $l_2$  с  $l_1$  близка к автосовместимости  $\mu(l_1, l_1)$ , хотя последняя может быть и далека от единицы.

**Заключение.** Некоторые характеристики в фактографических информационных системах могут носить нечёткий характер. В этом случае принципиально невозможно добиться стопроцентных показателей полноты и точности поиска. При этом чем больше мера нечёткости характеристики, тем эти показатели ниже. На это необходимо ориентироваться при разработке АИС и не требовать от них большей эффективности поиска, чем они могут дать. При разработке словарей значений характеристик нужно тщательно выбирать состав терминов, более чётко формулировать, а в необходимых случаях приводить их трактовку, с тем чтобы понизить степень нечёткости характеристики. Тогда и показатели эффективности поиска будут выше.

#### Библиографические ссылки

1. **Соколов А.В.** Мера совместимости систем классификации объектов во взаимодействующих информационных системах // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 1. С. 29–34.
2. **Соколов А.В.** Методика оценки меры совместимости систем классификации, задаваемых нечёткими характеристиками // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 2. С. 29–36.
3. **Zadeh L.A.** Fuzzy Sets. Information and control. Vol. 8. 1965, P. 338–353.
4. **Соколов А.В.** Методика оценки максимально возможных значений показателей эффективности поиска текстовой информации // Информационные технологии. 2009. № 5. С. 18–24.
5. **Основы** теории нечётких множеств. Показатель размытости нечётких множеств. Нечёткие меры и интегралы. Интернет-университет информационных технологий. <http://www.INTUIT.ru>, 2003 – 2006. (15.04.2009).



## РЕЗЬБОНАКАТЫВАНИЕ. (Библиотека технолога)

А.В. Киричек, А.Н. Афонин

2009. – 312 с. ISBN: 978-5-94275-428-0

Цена 550 р.

В книге описаны существующие резьбы и способы их изготовления, приведены конструкция и основные характеристики резьбонакатного оборудования и технологической оснастки для накатывания резьб, конструкция и методики проектирования резьбонакатного инструмента, технология накатывания резьб, требования к заготовкам под накатывание и режимам обработки.

Книга предназначена для инженерно-технических работников и специалистов промышленных предприятий, может быть полезна студентам, аспирантам и научным работникам.

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

УДК 681.3.011.013

А.Ю. Кручинин, канд. техн. наук (Оренбургский государственный университет)

krucinin-al@mail.ru

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

*Предложена модель системы управления процессом распознавания образов, позволяющая устанавливать оптимальный режим работы, соответствующий необходимому уровню достоверности, производительности и материальных затрат, непосредственно в реальном времени.*

**Ключевые слова:** управление процессом, распознавание образов, сложность распознавания, достоверность, репрезентативность данных, оптимизация, критерий оптимальности.

*Control system model for imagery recognition process is proposed. This model permit optimal work regime to settle, that correspond with necessary reliability level, productivity and material costs immediate in the actual time.*

**Key words:** process control, imagery recognition, recognition complexity reliability, dates representativeness, optimization, optimality criterion.

Наиболее существенным критерием эффективности системы распознавания образов является вероятность правильного распознавания неизвестных объектов, т. е. достоверность. Обычно, чем больше информации об объекте, тем выше достоверность распознавания. Однако на практике существуют ограничения, которые не позволяют увеличивать объём измерительной информации без потери производительности системы. Поэтому необходимо оптимизировать работу системы распознавания так, чтобы достоверность и производительность удовлетворяли условиям функционирования.

Известно, что с увеличением числа признаков растёт достоверность распознавания. В работе [1] показано, что вероятность получения однозначного решения с увеличением числа признаков стремится к единице:

$$\lim_{v \rightarrow \infty} \left\{ P \left( \sum_{\gamma=1}^v a_{\gamma} \right) \right\} = 1, \quad (1)$$

где  $v$  — число признаков;  $P$  — вероятность;  $a_{\gamma}$  — событие.

Там же показано, что качество каждого алгоритма, определяющего последовательное правило  $R$ , в соответствии с которым реализуется процесс распознавания, может быть охарактеризовано функционалом, представляющим собой математическое ожидание от значения средних расходов:

$$U_p(R) = M[\bar{U}_{\omega}(R)], \quad (2)$$

где  $\bar{U}_{\omega}$  — усреднённое значение расходов на принятие решения о принадлежности объекта  $\omega$  к определённому из множества классов.

В этом случае оптимизация заключается в нахождении правила, обеспечивающего минимум функционала (2), т. е. минимизацию математического ожидания расходов, связанных с реализацией процесса распознавания.

Суть алгоритма оптимизации в виде правила последовательного поиска решений [1] заключается в том, что на основе предыстории экспериментирования и информации, полученной в результате предыдущих экспериментов, определяют оптимальный план дальнейшего проведения экспериментов, т. е. устанавливают на каждом шаге, какие очередные технические средства должны быть использованы. Однако данную методику трудно применить при автоматизированном распознавании образов в реальном времени, т. е. при непрерывном потоке информации от объектов, когда анализ очередной порции информации возможен только один раз и в отведённый период.

В работе [2] предложена модель, позволяющая на основе входных параметров (заданной достоверности оценки состояния объекта, производительности и затрат на проведение работ) осуществлять управление техническими средствами системы, занимающимися сбором данных, и выбором метода распознавания на основе оценки сложности распознавания и достоверности результата. В качестве критерия выбора оптимального режима выступает минимизация расходов. При использовании модели в качестве прототипа была построена математическая модель системы управления процессом распознавания в реальном времени (рис. 1).

На вход модели поступает заданное значение достоверности распознавания  $D$  и вектор параметров:



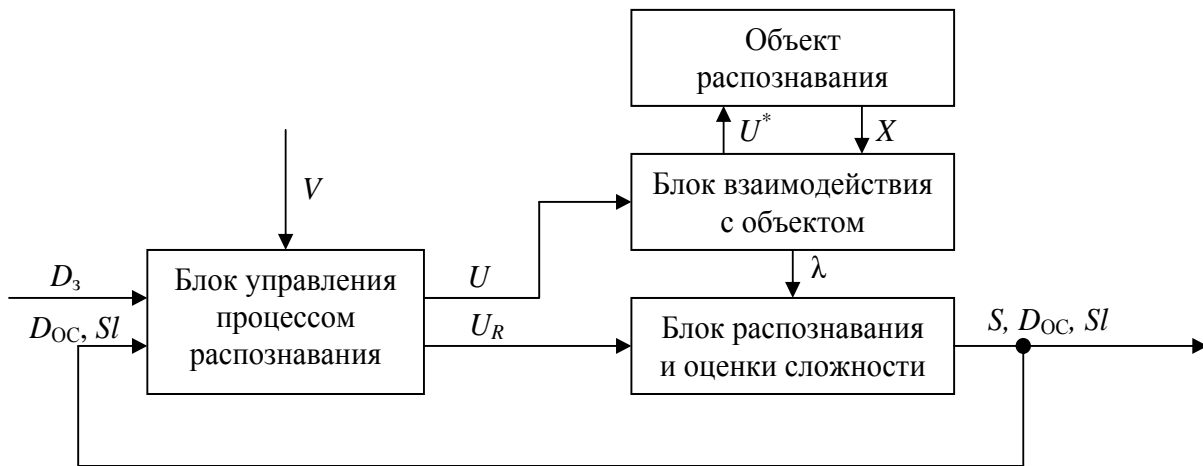


Рис. 1. Модель системы управления процессом распознавания в реальном времени

$$V = \{U_0, U_{R0}, [U_{\min}, U_{\max}], [U_{R \min}, U_{R \max}], K^*\},$$

где  $U_0, U_{R0}$  – начальные значения параметров управления;  $[U_{\min}, U_{\max}], [U_{R \min}, U_{R \max}]$  – диапазоны изменения параметров управления;  $K^*$  – критерий оптимальности (обычно минимизация расходов).

В данной модели управление процессом распознавания разделяется на две части:

управление потоком поступающей информации на блок распознавания через устройства и программы, взаимодействующими с объектом и передающими данными ( $U = \{u_1, u_2, \dots\}$ );

управление параметрами распознавания – выбором методов и их характеристик, баз эталонных образов ( $U_R = \{u_{R1}, u_{R2}, \dots\}$ ).

Первоначально устанавливаются значения параметров управления, равные входным параметрам:

$$U = U_0, U_R = U_{R0}.$$

Блок взаимодействия с объектом предназначен для воздействия параметра  $U^*$  на объект исследования, для регистрации и обработки информации  $X$  поступающей от объекта:

$$U^* = \varphi(U), U^* = \{u^*_1, u^*_2, \dots\},$$

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_K\}, X = \varphi_1(U^*),$$

где  $\varphi$  – функция, преобразующая параметры  $U$  в  $U^*$ ;  $\varphi_1$  – функция, определяющая взаимосвязь между воздействием на объект  $U^*$  и информацией  $X$ ;  $K$  – число регистрируемых признаков.

Интенсивность потока информации  $\lambda$  определяется количеством и характеристиками датчиков, а также режимами работы средств регистра-

ции блока взаимодействия. Данные на блок распознавания поступают порциями, поэтому поток характеризуется объёмом информации  $N$  в порции, количеством передаваемых признаков  $X^* = \{x^*_1, x^*_2, \dots\}$  и периодом между предыдущей группой данных  $Kt$

$$\lambda = X^* : \Delta t, N; X^* = \varphi_2(U, X),$$

где  $\varphi_2$  – функция преобразования информации  $X$  в  $X^*$ .

В блоке распознавания осуществляются идентификация состояния объекта  $S$ , оценка сложности распознавания  $Sl$  и достоверности  $D_{OC}$ :

$$S = R_S(U_R, \lambda), D_{OC} = R_D(U_R, \lambda),$$

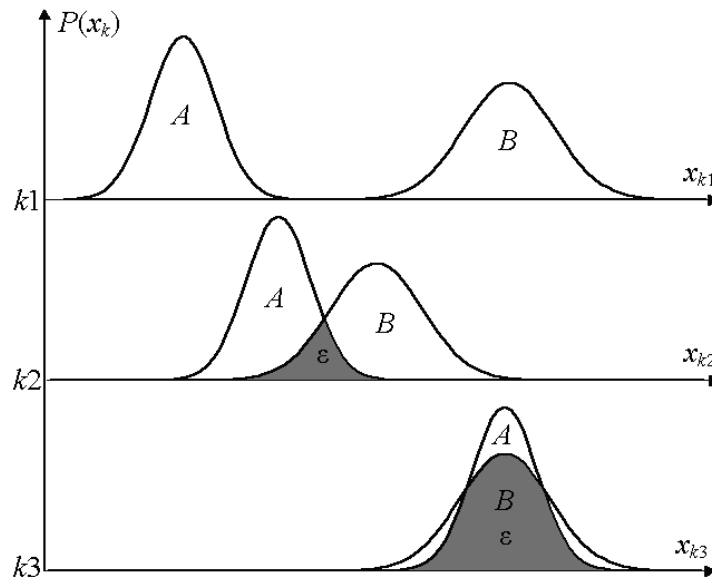
$$Sl = R_{Sl}(U_R, \lambda), S = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n\},$$

где  $s_i$  – числовое значение или качественная характеристика  $i$ -го параметра исследуемого объекта;  $R_S, R_D, R_{Sl}$  – функции распознавания состояния, достоверности и сложности.

Так как данные поступают в реальном времени, то результат распознавания является функцией от времени  $S = f(t)$ , так же, как и  $Sl = f_1(t)$ ,  $D_{OC} = f_2(t)$ . После оценки  $D_{OC}$  и  $Sl$  в блоке управления рассчитывают рассогласование между заданной и фактической оценкой достоверностей распознавания состояния объекта:

$$\Delta D = D_3 - D_{OC}.$$

Согласно критерию  $K^*$ , а также руководствуясь рассогласованием  $\Delta D$  и вектором входных параметров  $V$ , устанавливается оптимальный режим



**Рис. 2. Распределение плотностей вероятности значений признаков распознавания:**  
 ε – области ошибочного распознавания

распознавания с параметрами управления, вычисленными для конкретного случая:

$$U = M_U(V, \Delta D, Sl), U_R = M_{UR}(V, \Delta D, Sl),$$

где  $M_U$  и  $M_{UR}$  – функции установки оптимального режима.

На достоверность результата распознавания влияют репрезентативность данных, количество признаков, метод распознавания и его характеристики.

Следует различать достоверность, рассчитываемую по статистическим результатам испытаний, и достоверность, рассчитываемую для одного конкретного случая. Далее будем называть их статистической и единичной достоверностью.

Сложность распознавания для каждого метода определяется измеряемыми признаками. В работе [3] показано, что лучшей характеристикой сложности является вероятность ошибки распознавания образов. Если упростить задачу распознавания образов и предположить, что вероятностные распределения всех исследуемых признаков носят нормальный характер, то сложность распознавания для двух образов определяется по выражению, получаемому при вычислении площади области ε (рис. 2):

$$Sl = 1 - 0,5 \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-(x-a_1)^2 / (2\sigma_1^2)} - \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} e^{-(x-a_2)^2 / (2\sigma_2^2)} \right| dx,$$

где  $x$  – признак, по которому определяется пересечение распределений;  $\sigma_1, \sigma_2$  – оценки средних квадратичных отклонений распределений образов  $A$  и  $B$ ;  $a_1, a_2$  – оценки математических ожиданий.

Сложность распознавания определяется качеством признаков (см. рис. 2) и их количеством. Если исходить из того, что признаки независимы, то при достаточно большом количестве испытаний сложность распознавания от нескольких признаков будет определяться выражением

$$Sl(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{j=1}^n Sl(x_j),$$

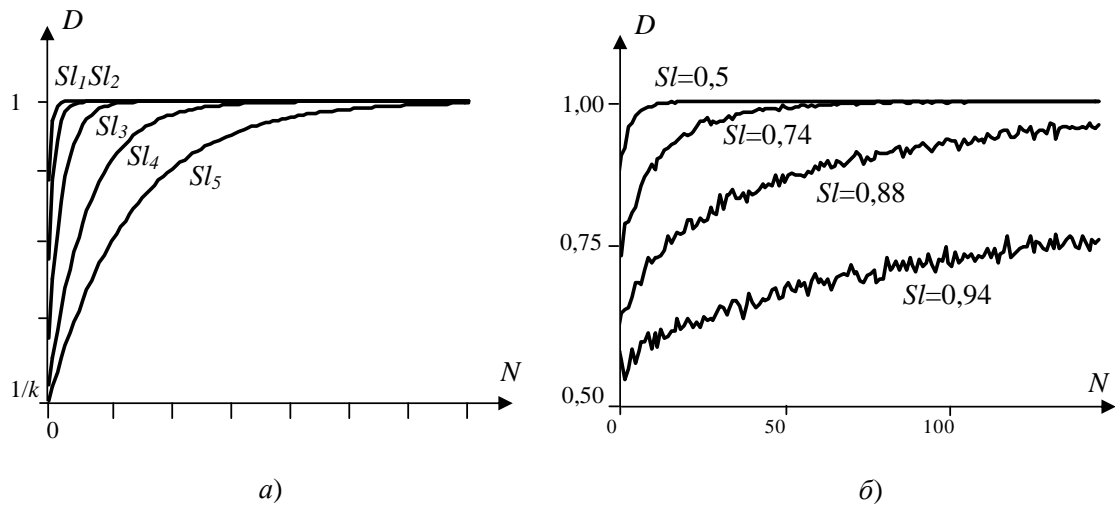
где  $x_j$  – признаки распознавания;  $n$  – общее количество признаков.

Для каждого метода распознавания статистическая достоверность определяется сложностью распознавания и репрезентативностью данных:

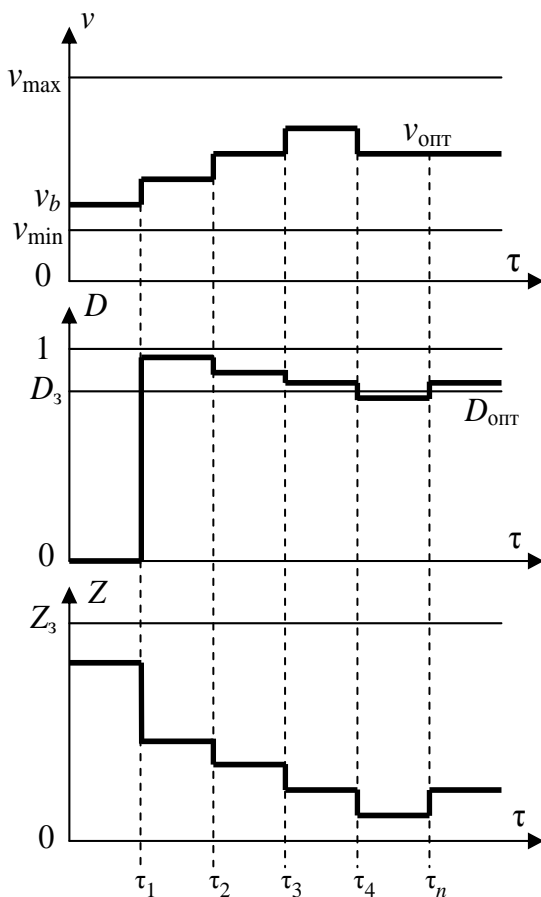
$$D = F(Sl, N),$$

где  $N$  – объём выборки, характеризующий репрезентативность.

Данная зависимость представляется в виде кривых (рис. 3, а). Сложность распознавания здесь уменьшается от  $Sl_5$  до  $Sl_1$ . Кривые являются концептуальными. Зная сложность распознавания образов  $Sl$ , легко определить необходимое количество данных  $N$  для получения требуемой статистической достоверности. При этом должны



**Рис. 3. Кривые достоверности распознавания от репрезентативности при заданном значении сложности:**  
*a* – концептуальные (*k* – общее число эталонных образов); *б* – экспериментальные зависимости достоверности *D* от объёма выборки *N* для двух образов



**Рис. 4. Временные диаграммы работы модели:**  
*v<sub>b</sub>* – начальная скорость движения зонда;  
*v<sub>max</sub>*, *v<sub>min</sub>* – диапазон возможных скоростей;  
*v<sub>опт</sub>* – оптимальная скорость; *D<sub>3</sub>*, *D<sub>опт</sub>* – заданное и оптимальное значения достоверности распознавания; *Z<sub>3</sub>* – максимально возможное значение затрат; *τ<sub>n</sub>* – время переходного процесса

быть известны вероятностные распределения эталонных образов, по которым определена сложность распознавания, например, методом Монте-Карло, предназначенным для вычисления интегралов [4]. На рис. 3, б представлены экспериментальные зависимости, построенные для двух образов с нормальными распределениями, которые можно использовать для четырёх различных значений сложности.

Здесь наблюдается прямая связь с выражением (1). Достоверность стремится к единице при увеличении количества признаков (а значит уменьшается *Sl*) и при увеличении количества измерений (уменьшение вероятности ошибки за счёт большей репрезентативности). В результате управление процессом распознавания в реальном времени сводится к тому, что на основе оценки единичной достоверности и сложности распознавания необходимо определить такой режим, который при соблюдении всех заданных условий обеспечивает выполнение критерия оптимальности. Оценка единичной достоверности может осуществляться по критерию надёжности [5]. Единичную достоверность можно использовать только в рамках выбора направления изменения параметров управления, которые соответствуют увеличению или уменьшению единичной достоверности.

Описанная методика выбора оптимального режима опробована на экспериментальных данных, полученных при геофизических исследованиях буровых скважин в рамках разработки модели системы оптимизации работы каротажной станции. На рис. 4 представлены временные диаграммы работы модели управления процессом распознавания. Диаграммы показывают, как измене-

нием скорости движения каротажного зонда устанавливается оптимальный режим распознавания по достоверности и затратам  $Z$ .

Значения параметров  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$  определяются в момент обработки блока распознавания.

В этом случае скорость движения зонда влияет на репрезентативность данных, получаемых с участка буровой скважины. Из рис. 4 видно, что изменение репрезентативности данных в реальном времени позволяет изменить достоверность распознавания и уровень затрат.

Описанная модель может использоваться при наличии средств для управления поступающей информацией и параметрами распознавания, например, при идентификации состояния протяжённых объектов, в задачах машинного восприятия и в других случаях. Достоинством модели является то, что она функционирует по принципу разумной достаточности затрат: величина затрат на проведение исследований определяется

непосредственно сложностью распознавания конкретного объекта и является минимально возможной в диапазоне затрат  $Z \leq Z_3$ .

#### *Библиографические ссылки*

1. **Горелик А.Л.** Методы распознавания. М.: Высш. Шк., 2004. 261 с.
2. **Кручинин А.Ю.** Модель динамической оптимизации режимов мониторинга и диагностирования буровой скважины // Известия ОрелГТУ. Сер. «Информационные технологии». 2006. № 1 (2). С. 81–85.
3. **Фукунага К.** Введение в статистическую теорию распознавания образов. М.: Наука, 1979. 368 с.
4. **Гмурман В.Е.** Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высш. шк., 2004. 479 с.
5. **Кручинин А.Ю.** Оценка сложности идентификации объектов по параметру надежности распознавания: Материалы шестой Всерос. науч.-практ. конф. (с международным участием) «Современные информационные технологии в науке, образовании и практике». Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2007. С. 167–168.

УДК 681.521

**А.П. Лукинов**, канд. техн. наук, **А.К. Махонин** (Московский государственный технологический университет «Станкин»)

machonin\_ak@mail.ru

### **ЦИФРОВЫЕ ТАБЛИЧНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ В СЛЕДЯЩИХ ПРИВОДАХ**

*Рассмотрены некоторые проблемы разработки нового типа цифровых регуляторов, называемых табличными и относящихся к классу систем с ассоциативной памятью. Цифровые табличные регуляторы реализуют один из способов интеллектуального управления.*

**Ключевые слова:** цифровой табличный регулятор, регулятор – прототип таблицы регулятора, следящий привод.

*Certain problems of the new type digital regulators designing, so-called tabular and attributed to class of system with associative memory are considered. Digital tabular regulators implement one method of the intellectual control.*

**Key words:** digital tabular regulators, regulator – prototype regulator table, tracking drive.

**Введение.** Современное автоматизированное производство предъявляет всё более высокие требования к быстродействию следящих исполнительных приводов при снижении их стоимости. Одно из решений этого противоречия состоит в применении цифровых табличных регуляторов, краткие сведения о которых приведены в работе [1].

Управление приводом с цифровой системой автоматического регулирования состоит в том, что с некоторой периодичностью управления  $T_y$  на вход управляемого источника питания двигателя подается дискретный вектор управления,

размерность которого определяется типом двигателя и способом управления. Например, это может быть значение коэффициента заполнения импульса при широтно-импульсном (ШИМ) управлении двигателем постоянного тока, значения амплитуды и частоты питающего фазного напряжения при амплитудно-частотном управлении асинхронным двигателем и т. п.

Вектор управления формируется регулятором, на вход которого поступают векторы входных сигналов и сигналов обратной связи, разность которых представляет собой вектор отклонений

(ошибок) регулирования, преобразуемый регулятором в вектор управлений двигателем. Таким образом, каждому вектору управления двигателем можно поставить в соответствие вектор входных сигналов и вектор измеряемых и (или) наблюдаемых сигналов обратной связи или вектор ошибок. Если записать эти значения для привода прототипа в виде таблицы (массива) и использовать её вместо регулятора в исполнительном приводе, то получим новый класс регуляторов, называемых табличными.

Контроллер управления исполнительным приводом, обрабатывая текущие значения вектора входных сигналов и вектора сигналов обратной связи, отыскивает соответствующий им вектор управления, который был получен на выходе регулятора прототипа (РП).

В этом случае рабочий алгоритм контроллера табличного регулятора будет содержать минимум вычислительных операций, или не содержать их вообще, а основными выполняемыми операциями будут операции типа «регистр-регистр», являющиеся самыми простыми и быстроисполняемыми.

Таким образом, алгоритм вычисления управления, использующий математические операции над сигналами отклонений регулируемых величин от заданных, заменяется алгоритмом обработки таблицы типовых комбинаций сигналов. Регулятор, программная реализация которого основана на данном алгоритме, будем называть цифровым табличным регулятором (ЦТР).

Такой подход к построению регулятора позволяет заменить при разработке аппаратной части системы автоматического регулирования (САР) привода сложные дорогостоящие микроконтроллеры на простые и легкодоступные при неизменном качестве управления.

При обучении ЦТР необходимо применить РП, обладающий требуемыми для данного приложения качествами, реализованный аппаратно или в виде имитационной модели. РП может быть заводской системой настройки, учитывающей индивидуальные особенности образца, что позволит снизить разброс паспортных значений привода.

ЦТР является отражением свойств РП, и его качество зависит от качества РП.

**Основные этапы создания привода с ЦТР.** Проектирование САР с регуляторами табличного типа включает следующие этапы:

проводится сбор данных о структуре, принципе действия и параметрах неизменяемой части САР (выбор способа регулирования и типа регулятора, выбор предпочтительного типа регулятора-прототипа, а также особые требования к нему, вызванные специальными требованиями при формировании таблиц, в данной статье не рассматриваются);

определяется количество, тип и размерность реализуемых или допускаемых к рассмотрению в рамках данного проекта векторов входных сигналов  $U(t)$  и  $V(t)$ , векторов наблюдаемых  $Z(t)$  и измеряемых  $Y(t)$  выходных сигналов, вектора управлений неизменяемой частью  $U_r(t)$  (выход регулятора) (см. рисунок);

определяется тип и структура матрицы операторов сигналов обратной связи  $K_y(t)$ ;

выбирается структура основной таблицы регулятора, строками которой являются значения сигналов обратных связей, компоненты векторов входных воздействий и векторов управляющих воздействий, значения отклонений по каждой регулируемой координате и оптимальных управлений для текущих значений отклонений, разрабатывается алгоритм работы табличного регулятора, который зависит от структуры таблицы;

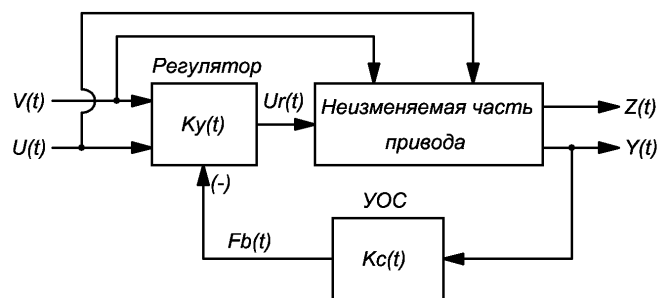
выбирается совокупность критериев качества регулирования привода;

выбирается способ регулирования процессов в неизменяемой части САР, удовлетворяющий заданному набору критериев качества;

организуется процесс заполнения таблицы (обучение табличного регулятора), состоящий в том, что для некоторого набора возможных ситуаций управления приводом и возможных возмущений его работы отыскивается необходимое управление двигателем привода, которое может быть либо допустимым, либо оптимальным, но обязательно реализуемым;

проводятся испытания привода с ЦТР.

ЦТР, прошедший обучение, в дальнейшем работает самостоятельно.



#### Обобщённая схема системы автоматического регулирования с табличным регулятором:

УОС – устройство обратной связи;  $U(t)$  – вектор сигналов управления;  $V(t)$  – вектор сигналов возмущения;  $Z(t)$  – вектор наблюдаемых сигналов;  $Y(t)$  – вектор сигналов обратной связи;  $Fb(t)$  – вектор измеренных и обработанных сигналов обратной связи;  $U_r(t)$  – вектор сигналов управления неизменяемой частью привода (НЧ);  $K_c(t)$  – матрица операторов сигналов обратной связи;  $K_y(t)$  – матрица операторов сигналов регулятора

Рассмотренная схема является укрупнённой и содержит много новых и нерешённых задач.

**Выбор структуры основной таблицы регулятора по отклонению регулируемой величины.** Основные требования к таблице следующие:

- время обработки должно быть минимальным;
- объём памяти должен быть минимальным;
- возможность корректировки данных (если это необходимо) на любых этапах жизненного цикла привода с ЦТР.

Основная таблица должна иметь следующий вид (табл. 1).

Для её заполнения необходимо построить план эксперимента, основными задачами которого являются определение допустимых границ изменения каждой компоненты векторов  $U, V, Fb, Ur$  и выбор шага квантования каждой компоненты векторов.

Для каждого фиксированного набора входных переменных управлений и значений обратных связей определяются наилучшие значения компонент вектора  $Ur$  в силу выбранного набора критериев качества. Таблица может заполняться на основании моделирования, натурного эксперимента и корректироваться на основании экспертных заключений и (или) результатов эксплуатации.

Управляющая программа ЦТР, получив на входе регулятора вектор текущего состояния объекта, находит в таблице запись, которая наиболее соответствует этому вектору, и выдаёт на исполнительный привод связанное с этой записью значение управления.

Если для поиска записей в таблице использовать алгоритм последовательного сравнения записанных в таблице векторов состояния объекта с полученными на входе регулятора, основная таблица ЦТР будет обрабатываться медленно.

Рассмотрим способы упрощения структуры таблицы и вариант алгоритма эффективного поиска записи.

Количество столбцов вектора текущих состояний объекта можно сократить, введя вместо ком-

понент задания по регулируемой переменной и переменных по каналу главной обратной связи компоненты их разности, т. е. компоненты отклонения (ошибки регулирования):

$$E_1=U_1-Fb_1; E_2=U_2-Fb_2; \dots; E_n=U_n-Fb_n, \\ 1 \leq n \leq C,$$

где  $C$  – число компонент вектора задания, равное числу компонент вектора сигналов обратной связи.

Следует отметить, что данная замена и количество вводимых компонент вектора ошибки регулирования должны быть обоснованы и соответствовать конкретной проектной ситуации.

Далее натуральные переменные вектора текущих состояний объекта заменяются их двоичным кодом. Пусть на текущем интервале управления  $T_y$  в памяти контроллера, аппаратно реализующего РП, записаны квантованные и дискретизированные данные в форме двоичных числовых кодов (ДЧК), соответствующие измеренным или наблюдаемым значениям вектора состояний:

$$E_1 \leftrightarrow A_{E_1}, V_1 \leftrightarrow A_{V_1}, Ur_1 \leftrightarrow A_{Ur_1}, \dots, \\ E_n \leftrightarrow A_{E_n}, V_p \leftrightarrow A_{V_p}, Ur_s \leftrightarrow A_{Ur_s}.$$

Отметим, что разрядность слов по разным переменным может быть разной.

Составим адрес ячейки памяти, в которую будет записано слово управления  $Ur$  по правилу последовательной конкатенации, т. е. по сдвигу операнда на его разрядность и логическому сложению (в качестве символа операции применяют  $cat(A, B, \dots), A \& B \& \dots, A \cdot B \dots, concat(A, B, \dots)$  и др.). Например, при трёхконтурном подчинённом регулировании адрес ячейки слова управления запишется в виде

$$A = A_{E_1} \& A_{Fb_2} \& A_{Fb_3}.$$

Т а б л и ц а 1

Основная таблица регулятора

Номер записи	Вектор текущих состояний объекта $S = [U   V   Fb]$									Вектор управляющих воздействий $Ur = [Ur_1, Ur_2, \dots, Ur_s]$		
	Векторы входных сигналов						Вектор сигналов обратной связи $Fb = [Fb_1, Fb_2, \dots, Fb_n]$					
	$U = [U_1, U_2, \dots, U_n]$			$V = [V_1, V_2, \dots, V_p]$								
1	$U_{11}$	...	$U_{n1}$	$V_{11}$	...	$V_{p1}$	$Fb_{11}$	...	$Fb_{n1}$	$Ur_{11}$	...	$Ur_{s1}$
$m$	$U_{1m}$	...	$U_{nm}$	$V_{1m}$	...	$V_{pm}$	$Fb_{1m}$	...	$Fb_{nm}$	$Ur_{1m}$	...	$Ur_{sm}$

Разрядность слова адреса будет определяться как сумма разрядностей операндов последовательной конкатенации:

$$N_A = N_{A_{E_1}} + N_{A_{Fb_2}} + N_{A_{Fb_3}},$$

что напрямую влияет на объём памяти, необходимый для размещения таблицы ЦТР, и может потребовать сложной структуры адресного пространства.

Следует отметить, что не все получаемые в результате кодирования компоненты входного вектора в процессе регулирования будут изменяться в одинаковых пределах. Это позволит уменьшить размерность составного адреса.

Например, разрядность слова отклонения регулирования  $A_{E_1}$  во многих приложениях может быть много меньше, чем разрядность слов слагаемых этой ошибки, что типично для систем, отслеживающих траекторию, когда выход за некоторый коридор допустимой ошибки рассматривается как отказ САР и её работа блокируется.

Рассмотрим реализацию электропривода на основе двигателя постоянного тока с трёхконтурной системой подчинённого регулирования (СПР). Компонентами входного вектора в данном случае являются ток якоря, рассогласование по положению и угловая скорость вала двигателя. Будем считать, что эти величины представлены 8-разрядными ДЧК. Разрядность составного адреса будет представляться как сумма количества разрядов компонент входного вектора. В данном случае  $8+8+8=24$  разряда. Отсюда объём памяти, необходимый для размещения таблицы ЦТР, будет  $2^{24}=16$  Мбайт.

Этот массив данных можно полностью разместить в устройстве памяти объёмом более 16 Мбайт или распределить по нескольким устройствам меньшего объёма. При распределении массива данных по нескольким устройствам памяти меньшего объёма шину адреса необходимо дополнить до 24 разрядов за счёт линий выбора микросхем памяти.

Наиболее предпочтительным типом памяти для хранения таблицы регулятора является статическая память с произвольным доступом (SRAM). Время модификации и доступа к данным в таком типе памяти составляет десятки наносекунд, тогда как время доступа к данным в ПЗУ таких типов как EEPROM и Flash составляет от десятков до сотен наносекунд, а модификация данных до десятков миллисекунд. Такой тип памяти не требует периодической регенерации данных. Кроме того, не требуется преобразование адресов, необходимое при применении динамической памяти (DRAM), EEPROM и Flash.

Однако статическая память SRAM имеет два недостатка. Первый – это сравнительно малый объём памяти одного устройства, что существенно влияет на способ организации адресного пространства памяти регулятора при многокомпонентности входного вектора САР или большой разрядности компонент входного вектора САР. Увеличить объём памяти регулятора можно применением нескольких устройств SRAM.

В нашем случае для реализации трёхконтурной САР потребуется объём памяти 16 Мбайт. Количество микросхем памяти можно рассчитать как отношение необходимого объёма к объёму микросхемы. Так, если применить микросхемы SRAM объёмом 1 Мбайт, то необходимо будет использовать 16 микросхем. У каждой из этих микросхем разрядность шины адреса (ША) составляет 20 бит. Чтобы сформировать ША устройства разрядностью 24 бита (что необходимо для адресации объёма памяти 16 Мбайт), следует дополнить общую ША микросхем памяти (20 бит) шиной выбора микросхем разрядностью 4 бита. Для этого нужно закодировать 16 линий выбора микросхем памяти в шину разрядностью 4 бита. Общая разрядность ША устройства составит  $20+4=24$ .

Другой недостаток статической памяти SRAM – зависимость от электропитания. Однако от этого недостатка можно избавиться, применив батарейное питание либо храня таблицу в ПЗУ типа Flash или EEPROM. В последнем случае потребуется загрузка таблицы из ПЗУ в основную память типа SRAM в начале работы САР и обратная загрузка при завершении работы (в случае возможной коррекции таблицы в процессе работы).

Безусловный интерес представляют микросхемы памяти псевдостатического типа (pseudo-SRAM, PSRAM), производимые фирмой «Toshiba» (Япония). Объём памяти таких микросхем в несколько раз превышает объёмы памяти доступных на данный момент микросхем статической памяти. При этом заявленные стоимость и быстродействие микросхем PSRAM имеют тот же порядок, что и доступные на данный момент микросхемы SRAM.

Кроме основной таблицы можно использовать дополнительные таблицы, с помощью которых решаются задачи дополнительной коррекции, управления в форс-мажорных условиях и т.п. Условие применения таких таблиц в данной статье не рассматриваются.

Если основная таблица ЦТР составлена изложенным выше способом, то алгоритм работы ЦТР в общем виде будет выглядеть следующим образом.

Т а б л и ц а 2

**Сравнение алгоритмов работы традиционного цифрового регулятора  
и ЦТР по числу операций**

Процедура	Традиционный цифровой регулятор			Цифровой табличный регулятор		
	Операции			Операции		
	сложения ДЧК	сдвига ДЧК	«регистр- регистр»	сложения ДЧК	сдвига ДЧК	«регистр- регистр»
Регулирование положения	16	17	26	1	–	4
Регулирование скорости	102	83	190	–	–	3
Регулирование тока	60	50	108	–	–	3
Пересылка на выходной регистр	–	–	1	–	–	7
Итого:	178	150	325	1	–	17

**Алгоритм работы ЦТР.** Исходные данные: массив слов управления (основная таблица) в двоичных кодах:

$$A_{Ur_1}, A_{Ur_2}, \dots, A_{Ur_s};$$

текущие данные в ДЧК:

$$A_{E_1}, A_{E_2}, \dots, A_{E_n}; A_{U_1}, A_{U_2}, \dots, A_{U_n}; A_{Fb_1}, A_{Fb_2}, \dots,$$

$$A_{Fb_n}; A_{V_1}, A_{V_2}, \dots, A_{V_p};$$

Процедуры:

вычислить адрес необходимого слова управления:

$$A = A_{E_1} \& A_{E_2} \& \dots \& A_{E_n} \& A_{U_1} \& A_{U_2} \& \dots$$

$$\& A_{U_n} \& A_{Fb_1} \& A_{Fb_2} \& \dots \& A_{Fb_n} \&$$

$$\& A_{V_1} \& A_{V_2} \& \dots \& A_{V_p}$$

переслать каждое слово управления, определённое по адресу  $A$ , на соответствующие выходные регистры (например, регистры параллельных портов, входные регистры цифро-аналоговых преобразователей, входные регистры программируемых счетчиков при ШИМ-управлении и т. п.).

Сравним алгоритмы работы ЦТР и традиционного цифрового регулятора по числу операций, выполняемых за один период регулирования при использовании параллельного доступа к памяти. Сравнение проведём на примере цифровой трёх-

контурной СПР на базе двигателя постоянного тока с П-регулятором положения, ПИД-регулятором скорости и ПИ-регулятором тока. Как ЦТР, так и традиционный цифровой регулятор реализованы на базе восьмиразрядного микроконтроллера, а традиционный цифровой регулятор работает по рекуррентным алгоритмам [3] (табл. 2).

Сравнив число операций, которые должен выполнить микроконтроллер на каждом такте работы САР, при реализации традиционного цифрового регулятора и ЦТР, видим, что число операций при реализации алгоритма ЦТР значительно ниже, чем при реализации алгоритма традиционного цифрового регулятора, что повышает быстродействие САР на основе ЦТР.

**Заключение.** Рассмотренное выше позволяет сделать выводы о высокой эффективности ЦТР на этапе исполнения построенной таблицы. Но остаются проблемы по методам заполнения таблицы, на решение которых необходимо направить усилия по разработке теории и практики создания ЦТР.

**Библиографические ссылки**

1. Лукинов А.П., Лукинов П.А. Табличные цифровые регуляторы САР мехатронными приводами. VII науч. конф. МГТУ «Станкин» и Учебно-научного центра математического моделирования МГТУ – ИММ РАН»: Сб. докл. / Под ред. О.А. Казакова. М.: Янус-К, ИЦ ГОУ МГТУ «Станкин», 2005. 248 с.
2. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника. СПб.: ВНУ-Петербург, 2004. 528 с.
3. Олссон Г., Пиани Дж. Цифровые системы автоматизации и управления. СПб.: Невский диалект, 2001. 557 с.



УДК [004:316]:004.4'22:004.738.52

**О.В. Клементьева** (Санкт-Петербургский государственный политехнический университет)

[o.klementyeva@spbmrc.ru](mailto:o.klementyeva@spbmrc.ru)

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ МОНИТОРИНГА ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Рассмотрена проблема отсутствия комплексного информационного обеспечения субъектов инновационной деятельности в регионе. В качестве мер государственной поддержки инновационной деятельности предложено создать единую информационную систему мониторинга инновационной деятельности с применением автоматизированных систем управления, основанных на наукоёмких высоких информационных технологиях, новейших методах хранения, сбора и анализа информации, с применением методики Web 2.0.*

**Ключевые слова:** информационное обеспечение, автоматизированное управление, информационная система, мониторинг инновационной деятельности.

*Absence problem of the complex information security for innovative activities subjects is considered. As measure of the innovative activities state supporting is offered to create united information system for innovative activities monitoring with automatic control systems application. These systems are based on the science intensive high informational technologies, newest methods of the information storage, collection and analysis with application of the method Web 2.0.*

**Key words:** information security, automatic control, information system, innovative activities monitoring.

Информационное обеспечение оказывает существенное влияние на все процессы социально-экономического развития общества. Уровень развития информационного обеспечения государства следует рассматривать как одно из стратегических направлений повышения эффективности деятельности на отраслевом, региональном и международном уровнях. Увеличение интенсивности и рост масштабов компьютеризации во всех отраслях народного хозяйства, а также комплексная автоматизация интегрированного управления процессами приводят к необходимости распространения положительного опыта этих внедрений в государственное управление. В связи с этим формирование единого информационного пространства и обеспечение на этой основе эффективного государственного управления приобрели статус приоритетной задачи. Единое информационное пространство в масштабах России должно представлять собой систему организационно и методически увязанных, синхронизированных во времени, национальных информационных ресурсов в области социально-экономической, правовой, научно-технической, банковской, экологической и другой информации (Государственная дума Ставропольского края: [сайт]. URL: <http://www.dumask.ru>). Внедрение централизованных систем информационной поддержки актуально и для решения приоритетной задачи — перехода экономики на инновационный путь развития. В этой области необходимо

комплексное решение проблем, в том числе связанных с отсутствием единой системы информационной поддержки инновационной деятельности в регионе.

Мониторинг и исследования потребностей рынка, необходимость постоянного и оперативного обновления выпускаемой инновационной продукции требуют придания первостепенного значения системам информационной поддержки и их автоматизации в инновационной экономике. Наличие указанных выше проблем подтверждает актуальность разработки информационной системы специального назначения, которая нацелена на создание и развитие информационной инфраструктуры между субъектами инновационной деятельности.

Основные задачи предлагаемой информационной системы:

информационное обеспечение ведения инновационной деятельности, в том числе информационная поддержка и предоставление сведений об актуальной законодательной базе и мероприятиях государственной поддержки инновационной деятельности;

формирование перечня актуальных научно-технических разработок;

мониторинг выполнения НИОКР гражданского назначения, реализованных инновационных проектов;

формирование актуальной базы данных активных участников инновационной деятельности;

формирование виртуального коммуникационного пространства субъектов инновационной деятельности;

осуществление отраслевой или тематической коммуникации внутри объединений;

продвижение и развитие региональной инновационной системы;

распространение положительного опыта ведения инновационной деятельности её субъектами.

Создание на научной основе автоматизированных систем управления технологическими процессами и производством, их последовательная увязка по иерархическим уровням и интеграция в единую систему сбора и обработки данных повышают качество и эффективность всех звеньев управления в народном хозяйстве (Гамидов Г.С., Исмаилов Т.А., Туккель И.Л. Инновационная экономика: стратегия, политика, решения. СПб.: Политехника, 2007. 356 с.).

Автоматизированная информационная система мониторинга ведения инновационной деятельности представляет собой также и информационно-аналитический ресурс для мониторинга инновационной деятельности региона, который позволяет осуществлять централизацию процессов коммуникации между субъектами инновационной деятельности. Например, данный ресурс даёт возможность упростить поиск актуальных программ государственной поддержки инновационной деятельности. Предполагается, что система содержит актуальную информацию о реализуемых инновационных проектах, научно-технических разработках и реальных потребностях предприятий в передовых технологиях. Это позволит создать единую информационную платформу для мощного развития инновационной деятельности.

Реальное воплощение предложенной системы должно быть основано на передовых технологиях с применением новейших методов сбора, хранения и анализа информации, с обязательным условием возможности перевода процесса коммуникации на интерактивную основу, что на данный момент является фактором успеха во многих отраслях. Автоматизированные системы управления с широким применением наукоёмких информа-

ционных технологий являются сердцевинной инновационной экономики. Стремительно приобретающая популярность во всём мире методика Web 2.0, которая появилась в начале 2000-х гг., базируется на изменении способа работы с Интернетом. Основные пункты этой методики – социальность и адаптивность системы к требованиям пользователя, формирование структуры данных пользователем, совершенствование работы системы при увеличении числа пользователей. Данная методика широко применяется при построении виртуальных социальных сетей, подтвердивших свою эффективность в активизации процессов коммуникации между пользователями системы, а также при анализе их взаимодействия.

Автоматизированную информационную систему мониторинга ведения инновационной деятельности региона предлагается реализовать с использованием указанной методики. Этот инструментальный позволит добиться интерактивности информационного ресурса, что является одним из приоритетов в его архитектуре. Основной структурной составляющей предлагаемой информационной системы служит развитая социальная сеть, авторами которой являются субъекты инновационной деятельности. Поэтому для анализа данной системы применимы подходы к исследованию сетей, основанные на изучении их структуры и свойств, в том числе с применением аппарата математического моделирования. Моделирование увеличивает эффективность достижения основной цели исследования сетей – разработку алгоритмов для управления, автоматизации и предсказания процессов в сетях.

Использование данной системы в государственном управлении позволит повысить эффективность работы органов государственной власти, оптимизировать бюджетные расходы, благодаря анализу статистических данных системы. Предлагаемая информационная система призвана стать единой коммуникационной платформой для взаимодействия субъектов инновационной деятельности региона, а также решать ряд проблем в сфере управления региональной инновационной системой.

## Вниманию авторов!

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



## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 638.52.011.2:336.26

**Д.М. Комаров** (Астраханский газоперерабатывающий завод),  
**М.П. Комаров**, канд. физ.-мат. наук, доц.  
 (Астраханский государственный технический университет)

### ПЛАНИРОВАНИЕ ОКУПАЕМОСТИ ПРИ МНОЖЕСТВЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ АССОРТИМЕНТА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Решена задача расчёта точек безубыточности при множественной модификации выпускаемого изделия, состоящей в поочередной смене его модификации. Разработаны методика и программа для решения этой задачи.*

**Ключевые слова:** планирование окупаемости, прогнозирование сбыта, аппроксимация.

*Task of profitability calculating points for produced article multiple modification is decided. Multiple modification is characterized by alternate change article modification. Method and program for this task decision are devised.*

**Key words:** recoupment planning, market prediction, approximation.

**Введение.** Конкуренция на рынке аналогичных товаров приводит к их неизбежному моральному старению и необходимости перехода на новые модели. Экономически наилучшие сроки, степень и масштабы обновления ассортимента товаров зависят от рыночных тенденций, покупательной способности потребителей, технических и финансовых возможностей предприятия и т. д.

Пусть принято решение о проведении обновления в форме модификации, состоящей в улучшении выпускаемого изделия без принципиального изменения его потребительских свойств. Основы теории модификации (одинарной) приведены в работе [1]. В развитие этой теории в работе [2] поставлена и решена задача о множестве последовательных модификаций выпускаемого изделия. В работе [3] предложена методика расчёта такого важного аспекта работы предприятия как момент наступления полной окупаемости применительно к одинарной модификации.

В статье рассмотрена общая методика расчёта, применимая во всех случаях, связанных с модификацией. Методика реализована в виде программы для ЭВМ на алгоритмическом языке Бейсик, которая иллюстрируется решением примеров.

**Решение задачи.** Введём следующие обозначения:

$[T_1; T_2]$  – плановый период производства существующей модели;

$T_3$  – момент снятия с производства последней модификации существующей модели,  $T_1 \geq T_2$ ;

$\tau_i$  – планируемый момент начала производства  $i$ -й модификации существующей модели ( $i = 1, 2, \dots, k$ ;  $\tau_i < \tau_{i+1}$ ;  $\tau_i > T_1$ ;  $\tau_k < T_3$ );

$p_0, c_0, f(t)$  – соответственно цена, себестоимость (переменные затраты) и функция прогнозирования объёма сбыта существующей модели во времени,  $t \in [T_1; T_2]$ ;

$T_1, T_2 \leq T_4$  – длительность жизненного цикла данной модели, т. е.  $f(T_4) = 0$ ;

$p_i, c_i, f_i(\tau_i, t) = (1 + k_i \tau_i) f(t)$  – соответственно цена, себестоимость (переменные затраты), функция прогнозирования объёма сбыта  $i$ -й модификации во времени,  $t \in [T_{i-1}; T_i]$ ;  $k_i$  – относительный коэффициент качества  $i$ -й модификации;

$C_{mi}$  – инвестиционные затраты на разработку и создание образца  $i$ -й модификации;

$t_{mi}$  – продолжительность всей работы по проведению  $i$ -й модификации;

$t_{0i} = \tau_i - t_{mi}$  – момент начала работы по проведению  $i$ -й модификации или момент инвестирования средств  $C_{mi}$ ,  $t_{0i} > T_1$ ;

$\alpha(t) = e^{-rt}$  – дисконтирующая функция для учёта инфляции финансовых средств;  $r$  – норма дисконта;

$C_{0i}$  – сумма постоянных затрат (управленческие, коммерческие расходы и т. п.), относимых к плановому моменту  $t_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $t_1 = T_1$ ;  $t_n = T_3$ ).

В принятых обозначениях в момент времени  $t$  объёмы сбыта существующей модели ( $i = 0$ ,  $k_0 = 0$ ,  $\tau_0 = T_1$ ,  $\tau_0 \leq t < \tau_1$ ) и  $i$ -й модификации ( $i \geq 1$ ,  $\tau_{k+1} = T_3$ ,  $\tau_i \leq t < \tau_{i+1}$ ) определяются по единой формуле

$$N_i(T_i, t) = (1 + k_i \tau_i) \int_{\tau_i}^t f(z) \alpha(z) dz. \quad (1)$$

Тогда прибыль за весь плановый период  $[T_1; T_3]$  определяется по формуле

$$\begin{aligned} \Pi = & \sum_{i=0}^k (p_i - c_i) N_i(\tau_i, \tau_{i+1}) - \\ & - \sum_{i=1}^k C_{mi} \alpha(t_{0i}) - \sum_{i=1}^n C_{0i} \alpha(t_i). \end{aligned} \quad (2)$$

Для циклической автоматизации дальнейших вычислений на ЭВМ рассмотрим несколько вспомогательных массивов чисел.

Сравнивая число  $\tau_1$  со значениями  $t_1, t_2, \dots$ , определяем два смежных числа, между которыми находится число  $\tau_1$ , и присваиваем ему номер второго числа. Номера последующих чисел массива  $t_i$  увеличиваем на единицу, начиная с конца. Такая процедура осуществляется со всеми числами массивов  $\tau_i$ ,  $t_{0i} > t_1$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ). В результате получаем упорядоченный (возрастающий) массив времени  $t_j^*$ , ( $j = 1, 2, \dots, n + 2k$ ), где  $t_1^* = t_1$ ,  $t_{n+2k}^* = t_n$ .

Сравнивая каждое число  $\tau_i$  с числами  $t_1^*, t_2^*, \dots$  до совпадения с одним из них, находим новый номер (адрес)  $n_i$  числа  $\tau_i$  в массиве  $t_j^*$ ;  $n_0 = 1$ .

Сравнивая каждое число  $t_{0i}$  с числами  $t_1^*, t_2^*, \dots$  до совпадения с одним из них, находим новый номер  $j$  числа  $t_{0i}$  и полагаем  $C_{0j}^* = C_{0i}$ . Остальные элементы массива  $C_{0j}^*$  ( $j = 1, 2, \dots, n + 2k$ ) заполняем нулями. Точно так же создаём аналогичные массивы  $t_{0j}^*$  и  $C_{mi}^*$ , дополняющие массивы чисел  $t_{0i}$  и  $C_{mi}$  нулями.

Теперь прибыль в моменты  $t_j^*$  и  $t \in (t_j^*; t_{j+1}^*)$  можно определить по формулам

$$\Pi(t_j^*) = E_{i-1} + (p_i - c_i) N_i(\tau_i, t_j^*) - F_{j-1}; \quad (3)$$

$$\Pi(t) = E_{i-1} + (p_i - c_i) N_i(\tau_i, t) - F_j, \quad (4)$$

$$\text{где } E_{i-1} = \sum_{s=0}^{i-1} (p_s - c_s) N_s(\tau_s, \tau_{s+1}), E_{-1} = 0,$$

$$F_{j-1} = \sum_{s=1}^{j-1} [C_{ms} \alpha(t_{0s}^*) + C_{0s} \alpha(t_s^*)], F_0 = 0,$$

$$\Pi(t_1^*) = -C_{01} \alpha(t_1^*), (n_i \leq j < n_{i+1}; i = 0, 1, 2, \dots, k). \quad (5)$$

Решение вопроса об окупаемости состоит в определении точек безубыточности. На промежутках времени  $(t_j^*; t_{j+1}^*)$  они являются корнями уравнения

$$\Pi(t) = 0, \quad (6)$$

где функция  $\Pi(t)$  выражается формулой (4).

В процессе вычисления прибыли по формуле (3) в точках  $t_j^*$  ( $j = 1, 2, \dots, n + 2k$ ) проверяем условие  $\Pi(t_j^*) \Pi(t_{j+1}^*) \leq 0$ . Если оно выполняется, то на промежутке  $(t_j^*; t_{j+1}^*)$  существует корень уравнения (6). Для его нахождения с нужной точностью целесообразно применение метода половинного деления найденного промежутка, что описано в работе [3]. Таким образом находятся все корни уравнения (6) на всём плановом периоде  $[T_1; T_3]$ .

Согласно формулам (3) и (4) при переходе через точку  $t_j^*$ , прибыль может претерпевать скачок, равный  $C_{mj} \alpha(t_{0j}^*) - C_{0j} \alpha(t_j^*)$  т. е. прибыль может измениться в знаке или обратиться в ноль. Следовательно,  $t_j^*$  – точка безубыточности.

Моменты времени  $\tau_j$  заранее неизвестны. Они планируются так, чтобы функция от  $k$  переменных (2) достигала своего наибольшего значения. Для этого применялся метод покоординатного спуска, что описано в работе [2].

Отдельные моменты времени  $t_{0i}$  могут быть отрицательными. Такая ситуация является противоречивой. Расчёт на этом заканчивается и его результаты анализируют менеджеры для принятия определённого решения. Если оказывается, что  $0 < t_{0i} < t_1$  (знак равенства практически невозможен), то затраты  $C_{mi} \alpha(t_{0i})$  можно отнести к моменту  $t_1$  и они включаются в формулу (5).

Функция  $f(t)$  задаётся в табличном виде. По этим данным строится её формула посредством аппроксимации алгебраическим многочленом или тригонометрическим многочленом Фурье с помощью метода наименьших квадратов (с квадратичной интерполяцией в первом случае [4] и с готовым результатом во втором случае [5]).

Предусмотрено аналитическое и численное (по методу Симпсона) нахождение интегралов (1), что показано в работах [2, 3].

*Пример 1.* Одна модель калькулятора и планируемые ей на смену две модификации характеризуются следующими данными:  $t_i = 0, 1, \dots, 9$  мес.;  $f(t_j) = 0; 12; 20; 24,5; 32; 43; 37; 27; 15; 0$  тыс. шт.;  $k_1 = 0,1$ ,  $k_2 = 0,2$ ;  $r = 0,12$ ;  $p_0 = 700$ ,  $p_1 = 760$ ,  $p_2 = 810$ ;  $c_0 = 247,6$ ,  $c_1 = 261,25$ ,  $c_2 = 266,75$  тыс. руб. за 1000 шт.;  $C_{m1} = 150$ ,  $C_{m2} = 208$  тыс. руб.;  $t_{m1} = 1$ ,  $t_{m2} = 1,5$  мес.;  $C_{0i} = 20; 8; 8; 17; 8; 25; 12; 9; 10; 6$  тыс. руб.

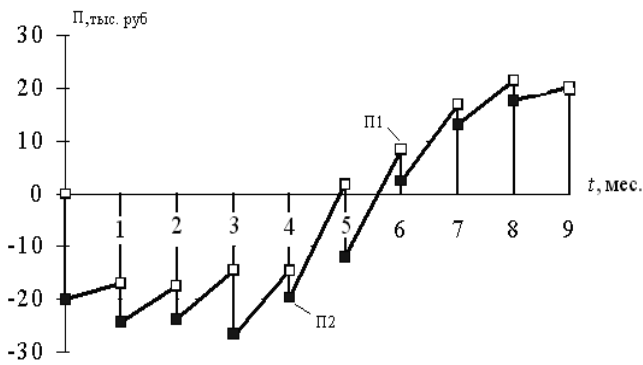


Рис. 1. Функция прибыли при двойной модификации модели

Получены следующие результаты:

$$f(t) = 37,015 \sin(\pi/9) - 5,202 \sin(2\pi/9) - 0,192 \sin(3\pi/9) + 2,788 \sin(4\pi/9) + 1,214 \sin(5\pi/9);$$

$\tau_1 = 1,68$ ,  $\tau_2 = 3,89$  мес.; максимальная (стратегически) прибыль за весь жизненный цикл составила 18,046 тыс. руб.; точки безубыточности: 4,92; 5; 5,73 мес. На рис. 1 П1 и П2 – значения прибыли в данной точке и при переходе через неё (П2 меньше П1 на величину постоянных затрат).

**Пример 2.** Одна модель автомобильных дисков и планируемая ей на смену модификация характеризуются следующими данными:

$t_i = 3, 4, \dots, 9$  мес.;  $f(t_i) = 18; 21; 29; 23; 17; 13; 7$  тыс. шт.;  $k_1 = 0,15$ ;  $r = 0,12$ ;  $p_0 = 5$ ,  $p_1 = 6$ ,  $c_0 = 1,4$ ,  $c_1 = 1,6$  тыс. руб. за шт.;  $C_{m1} = 200$  тыс. руб.;  $t_{m1} = 1$  мес.;  $C_{oi} = 170; 70; 85; 115; 55; 65; 65$  тыс. руб.

Получены следующие результаты:

$$f(t) = 18 - 7,93(t-3) + 20,518(t-3)^2 + 1,965(t-3)^4 - 0,126(t-3)^5; \tau_1 = 3,45 \text{ мес.};$$

максимальная (стратегически) прибыль за весь плановый период составила 48,868 тыс. руб.; точки безубыточности: 4,98; 5; 5,45; 6; 6,12 мес. На рис. 2 представлен график функции прибыли рассматриваемой модели с учётом её модификации.

**Заключение.** Для проверки методики и отладки программы использовались известные решения [1–5], а также внутренние возможности контроля

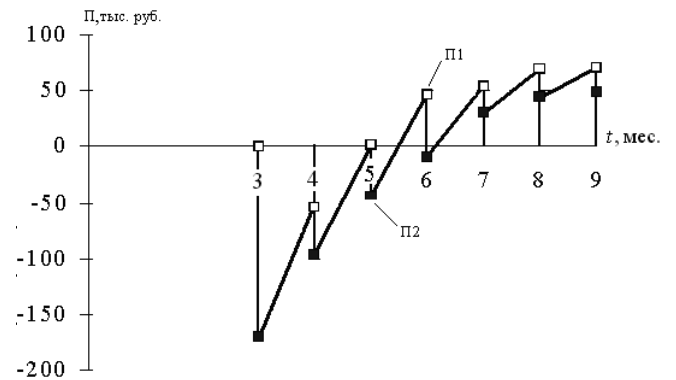


Рис. 2. Функция прибыли при одинарной модификации модели

правильности вычислений, предоставляемые программой. В частности, для решения одного и того же примера применялись аналитическое и численное интегрирование, алгебраический и тригонометрический многочлены.

Данная программа позволяет автоматизировать расчёт окупаемости при модификации ассортимента промышленного предприятия в производственных условиях.

#### Библиографические ссылки

1. Белоусов В.Л., Шакирханов Б.Р. Модификация ассортимента машиностроительного предприятия // Автоматизация и современные технологии. 2002. № 4. С. 24–26.
2. Комаров Д.М., Комаров М.П. Планирование стратегии множественной модификации промышленного предприятия. Междунар. науч.-техн. конф. «Экономические реформы в России». СПбГПУ. 22–23 июня 2006. С. 72–74.
3. Комаров Д.М., Комаров М.П. Планирование окупаемости при модификации ассортимента промышленного предприятия // Вестник АГТУ. 2006. № 2. С. 37–41.
4. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ. М.: Наука, 1987. 410 с.
5. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ. М.: Мир, 1982. 235 с.

**ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ**

УДК 621.002.51

**По страницам журналов**

**Проектирование технических средств обработки данных с учётом требований автоматизации сборки.** *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2009. № 8.

Описана методика проектирования устройств, позволяющая упростить сборочные операции и уменьшить число собираемых компонентов. Она предусматривает выделение съёмных частей устройства, составление перечня всех функций, выполняемых проектируемым устройством, а также всех деталей и промежуточных сборочных узлов по степени их важности для выполнения функций проектируемого изделия.

**Поперечный изгиб и свободные колебания упругих треугольных пластинок.** *Инженерный журнал «Справочник».* 2009. № 8.

Показано, что между максимальным прогибом пластинок в виде равнобедренных треугольников с любыми граничными условиями, нагруженных равномерно распределённой нагрузкой, и квадратом периода их колебаний по основному тону в ненагруженном состоянии существует линейная связь. На основе численных решений построены аппроксимирующие функции «максимальный прогиб – угол при вершине треугольника», «основная частота колебаний – угол при вершине». Рассмотрен способ определения максимального прогиба и основной частоты колебаний пластинок в виде произвольного треугольника с использованием метода интерполяции по коэффициенту формы.

**Экспериментальная установка для изучения тепловых процессов в динамическом контакте твёрдых тел.** *Трение и смазка в машинах и механизмах.* 2009. № 8.

Описаны принцип действия и устройство экспериментальной установки для исследования тепловых процессов в зоне высокоскоростного фрикционного контакта. Приведены результаты исследования температурных полей при трении сапфира и кварцевого стекла по металлам, а также при распиливании сапфира и алмаза.

**Влияние износостойких покрытий инструмента на параметры процесса резания.** *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2009. № 8.

Исследовано влияние износостойких покрытий с различными коэффициентами трения на параметры процесса резания, в частности на силу

резания, коэффициент утолщения стружки, коэффициент трения стружки о переднюю поверхность инструмента, температуру в зоне резания. Рассмотрено влияние различных покрытий на работоспособность режущего инструмента.

**Физико-технологические основы применения наноразмерной ионно-лучевой технологии при создании изделий микро- и наносистемной техники.** *Нано- и микросистемная техника.* 2009. № 8.

Представлены результаты разработки комплекса технологических операций на основе острофокусированного ионного пучка, включающего наноразмерное прецизионное локальное ионно-лучевое травление, ионно-стимулированное химическое травление и ионно-стимулированное осаждение различных материалов. Определена связь основных параметров ионного пучка с достигаемыми характеристиками процессов локального травления и нанесения базовых материалов электронной техники. Приведены примеры практического применения FIB-технологии при создании, модификации и препарировании приборов нано- и микросистемной техники.

**Аналитический подход к проблеме монтажных искажений быстровращающейся опоры гироскопа.** *Мехатроника, автоматизация, управление.* 2009. № 8.

Рассмотрена ключевая задача для технологической проблемы монтажных искажений быстровращающейся опоры и связанной с ней проблемы стабильности точностных характеристик при создании и совершенствовании класса высокоточных приборов. Применён математический аппарат теории упругости. Проблема сформулирована как краевая задача, для которой определён метод решения. Полученное приближённое аналитическое решение позволяет осуществлять поиск конструктивных решений, защищающих беговую дорожку высокоскоростного подшипника от монтажных искажений.

**Акустопругость – новый перспективный метод измерения механических напряжений в материале трубопроводов.** *Контроль. Диагностика.* 2009. № 8.

Рассмотрены некоторые результаты разработки импульсного акустического метода определения двухосных напряжений с помощью объёмных упругих волн. Приведена система уравнений акустопругости для определения главных напряже-

ний по результатам измерения времени распространения сдвиговых и продольной ультразвуковых волн. Эффективность применения акустоупругого метода измерения механических напряжений в магистральных трубопроводах большого диаметра при гидроиспытаниях заглушенных трубных плетей под воздействием внутреннего давления подтверждена экспериментально.

**Информационная база для автоматизированного проектирования схем систем управления технологическими объектами.** *Информационные технологии.* 2009. № 8.

Рассмотрена модель процесса создания схем систем управления технологическими объектами. Приведена иерархическая декомпозиция системы управления в виде теоретико-множественных описаний подсистем, цепей и элементов. Выделены иерархические свойства сигналов входов-выходов элементов, позволяющие осуществить автоматический синтез принципиальных схем.

**Анализ напряжённо-деформированного состояния металла на начальной стадии обратного прессования.** *Заготовительные производства в машиностроении.* 2009. № 8.

Методом линий скольжения проанализировано напряжённо-деформированное состояние заготовки в области, примыкающей к матрице, на начальной стадии её распрессовки обратным способом. Предложена зависимость для определения максимальной силы распрессовки заготовки, обеспечивающей ведение прессования с активным трением в заданных кинематических условиях.

**Математическая модель процесса подготовки измелчённой руды.** *Горное оборудование и электромеханика.* 2009. № 8.

Получено математическое описание стадий обработки руды от поступления исходного материала на участок дробления до получения готового продукта с участка гидроциклонной классификации, позволяющее установить массовое содержание руды мелкой и крупной фракции после обработки её в соответствующих агрегатах дробления и измельчения, спрогнозировать качество классификации пульпы по крупности и использовать полученные результаты при разработке автоматизированной системы управления комплексом рудоподготовки горно-обогадательного комбината.

**Проектирование логистических систем в управлении цепочками поставок.** *Вестник машиностроения.* 2009. № 8.

Рассмотрены вопросы проектирования логистических систем. Показано, каким образом руководство компаний может использовать данный инструмент в процессе принятия управленческих решений. Подробно описана базовая структура цепочки поставок, представлен перечень входящих данных, используемых при моделировании

объектов логистической инфраструктуры и связывающих их логистических потоков, а также перечислены основные преимущества, которые получают компании от практической реализации данной концепции.

**Автоматизированная система управления экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса.** *Вестник компьютерных и информационных технологий.* 2009. № 8.

Представлена модель автоматизированной системы управления экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса, основанная на новом представлении объекта управления и идее адаптивности к изменениям, происходящим в окружающей среде и самом объекте. Модель реализована включением в состав системы экспертно-информационной подсистемы, наделённой свойствами искусственного интеллекта.

**Модели вакуумных ионно-плазменных процессов и описание реактивного напыления покрытий триботехнического назначения.** *Трение и смазка в машинах и механизмах.* 2009. № 9.

Для рассмотрения динамических и стационарных процессов формирования покрытий методами реактивной вакуумной ионно-плазменной технологии предложен подход, основанный на применении ряда безразмерных параметров, возможность использования которого связана с масштабной инвариантностью рассматриваемого типа физических явлений, ведёт к существенному упрощению исследуемой модели и позволяет в ряде случаев получить решения в аналитическом виде. Предложенный подход даёт возможность оценить роль отдельных технологических параметров и физических процессов, например таких, как эффект «обратной связи», возникающий при напылении в многокомпонентных активных атмосферах. Показана также возможность рассмотрения с единых позиций всего спектра вакуумных ионно-плазменных технологий.

**Комплексный автоматизированный контроль качества изготовления и сборки трансмиссий на основе передач зацеплением по виброакустическим параметрам.** *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2009. № 9.

Показано, что использование комплексного автоматизированного контроля качества изготовления и сборки трансмиссий на основе передач зацеплением по параметрам шума и вибраций не только обеспечивает существенное расширение возможностей оценки соответствия этих параметров требованиям нормативной документации, но и в ряде случаев позволяет оценить реальную динамическую нагруженность, наличие крутильных резонансных колебаний и условия смазки зубчатых колёс, во многом определяющие их ресурс в эксплуатации.