

Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Главный редактор
В.Л. Белоусов

8

2013

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

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

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

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

ООО «Издательство Машиностроение»

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Константинов Ю.А., Первадчук В.П. Автоматизация производства специальных волоконных световодов с применением эмуляторов физических процессов обратного рассеяния	3
Сердобинцев С.П., Ханевич В.С. Метод анализа иерархий для распределения рыбного сырья по видам переработки	10
Гданский Н.И., Карпов А.В., Гданская Ю.А. Упрощённый метод интерполяции траектории перемещения по узловым точкам с использованием кубических сплайнов	15

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Смирнов В.А., Гусев М.Н., Фархадов М.П. Функция лингвистического процессора в системе автоматического анализа неструктурированной речевой информации	20
Головешкин В.А., Пономарёв А.В., Ульянов М.В. О возможном матричном представлении аналитического нелинейного рекуррентного соотношения	29
Шарипов М.А. Современные особенности проектирования интегрированных систем управления категории ERP	33
Соколов А.В. О классификации, максимально совместимой с нечёткой классификацией	37

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Попов А.П. Структурно-функциональная модель производственной системы	43
---	----

ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

«Металлообработка–2013».....	46
------------------------------	----

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

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

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Konstantinov Yu.A., Pervadchuk V.P. Production automation of the special optical light guides through the use of the backscattering physical processes emulators	3
Serdobintsev S.P., Khanevich V.S. The hierarchy analysis method for fish raw materials distribution by types of processing	10
Gdanskiy N.I., Karpov A.V., Gdanskaya Yu.A. Interpolation simplified method of the movement trajectory on the main points using the cubic splines	15

MODERN TECHNOLOGIES

Smirnov V.A., Gusev M.N., Farkhadov M.P. Linguistic processor function in system of the unstructured speech information automatic analysis	20
Goloveshkin V.A., Ponomarev A.V., Ulyanov M.V. About possible matrix representation of an analytical nonlinear recurrent ratio	29
Sharipov M.A. Modern design features of the integrated control systems for category ERP	33
Sokolov A.V. About the classification which is most compatible to fuzzy classification	37

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC AKTIVIES

Popov A.P. Structural-functional model of the production system	43
--	----

EXHIBITIONS AND PRESENTATIONS

«Metalworking–2013»	46
---------------------------	----

SURVEY OF PERIODICALS

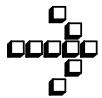
Periodicals review	47
--------------------------	----

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); телефоны для справок: (499) 269 6600, 269 5298

Сдано в набор 30.05.13. Подписано в печать 26.07.13.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная

Отпечатано в ООО «Белый ветер»
115407, Москва, Нагатинская наб., 54

**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**



УДК 006:658

Ю.А. Константинов, В.П. Первадчук, д-р техн. наук, проф.

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)

nworhm@rambler.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭМУЛЯТОРОВ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

Рассмотрены программные и аппаратные элементы автоматизированных систем технического контроля качества специальных волоконных световодов, главный из которых основан на совместном функционировании прибора обратного рассеяния и его программного эмулятора, моделирующего физические процессы обратного рассеяния в световоде. Описаны элементы системы, обеспечивающие автоматизацию контроля качества световодов в процессе производства, а также подходы к хранению и преобразованию технологической и исследовательской информации.

Ключевые слова: рефлектометрия, автоматизация, контроль качества, специальные волоконные световоды.

Automated systems software and hardware elements for quality technical control of the special optical light guides are considered. The main light guide is based on the combined functioning of the backscattering apparatus and its software emulator modeling the backscattering physical processes in the lightguide. System elements providing the light guides quality control automation during the production process and approach to storage and transformation of the technological and research information are described.

Key words: reflectometry, automation, quality control, special fibrous light guides.

Технический контроль качества специальных волоконных световодов (СВС) ввиду сложности и разнообразия технологий их производства является одной из важнейших задач при производстве волоконно-оптических компонентов и датчиков. Большое количество конструкций СВС требует постоянного развития существующих и создания новых методик контроля.

Ввиду малых объёмов производства отдельно взятого типа СВС необходима гибкость автоматизированной системы технического контроля качества, способность её быстрой перестройки с одного вида СВС на другой. Сложная по сравнению с телекоммуникационными волоконными световодами конструкция СВС требует совершенствования существующих методик и методов технического контроля качества. Особенность процесса производства на всех стадиях требует обработки большого количества параметров технологического процесса (ТП), сопоставления их с данными, полученными в исследовательской лаборатории. Необходимость контроля каждого образца, возникающая при отработке технологии производства нового типа СВС, увеличивает длительность процесса исследования. При этом объёмы получае-

мых данных осложняют унификацию, сохранение, отображение, визуализацию и анализ данных, делают невозможным в ручном режиме принимать решение об изменении параметров ТП.

Автоматизация операций технического контроля на этапах производства СВС является актуальной задачей.

Известные автоматизированные системы технического контроля (АСТК) решают задачи контроля отдельных исследовательских или технологических операций [1], но без проведения анализа параметров ТП и операций контроля на других стадиях.

Системы, управляющие контролем качества на всех главных этапах производства СВС, в известной литературе не описаны.

Модели рефлектограмм представляют собой сложные имитационные модели, точно описывающие лишь один из видов рассеяния, при этом не учитывают возможное нестационарное состояние любого из участков СВС или нелинейные оптические эффекты, а также инструментальные погрешности конкретных моделей рефлектометров. Поэтому они не применяются в АСТК качества СВС.

Автоматизация процессов технического контроля качества СВС на этапах производства предусматривает создание модифицированных методов контроля параметров СВС и их заготовок, модели процесса рефлектометрии СВС, объединение их в рамках пилотной версии АСТК качества СВС.

Технический контроль качества СВС включает как текущий контроль параметров заготовок СВС, так и итоговый контроль готовых СВС. Изготовление СВС, в том числе анизотропных типа «Панда» (рис. 1), является сложным процессом и требует определения связей дефектов СВС с отклонениями параметров ТП, а также отбраковки некондиционной продукции на ранних стадиях ТП.

На этапах производства заготовки СВС методом модифицированного химического парофазного осаждения (Modified Chemical Vapour Deposition – MCVD) и контроля профиля показателя преломления (ППП) необходимо применять модифицированные корреляционные методы, повышающие точность локализации границ в заготовках СВС.

Рефлектометрия является важным элементом технического контроля СВС, позволяющим исследовать их характеристики на каждом участке. Процесс рефлектометрии, применяемый к СВС, во многих случаях нуждается в улучшении точностных характеристик, адаптации под отдельные типы световодов, внедрении автоматических операций. Таким образом, ставится задача создания

модифицированных методов технического контроля качества оптических параметров СВС, обеспечивающих достижение необходимой точности результатов контроля. Установлено, что для установления причин появления дефектов в СВС необходимо комплексное исследование рефлексограмм и данных ТП [2].

Для автоматической отбраковки некондиционных образцов СВС, а также создания моделей рефлексограмм, предназначенных для верификации модифицированных корреляционных методов цифровой обработки сигнала, необходимо разработать программный эмулятор оптического рефлектометра, т. е. разработать новую модель процесса рефлектометрии волоконного световода. Эта модель должна учитывать возможное нестационарное состояние любого из участков световода и имитировать при этом спектральные характеристики реальных рефлексограмм. Также немаловажным является возможность учёта нелинейных оптических эффектов в СВС.

АСТК должна быть расширяемой и доступной для интеграции новых типов приборов (рефлектометры Рамана и Бриллюэна). При создании модели необходимо учесть инструментальные погрешности конкретных типов рефлектометров.

Входными параметрами модели являются показатель преломления сердцевины и отражающей оболочки, диаметр сердцевины в каждой точке СВС, мощность источника излучения, рабочая

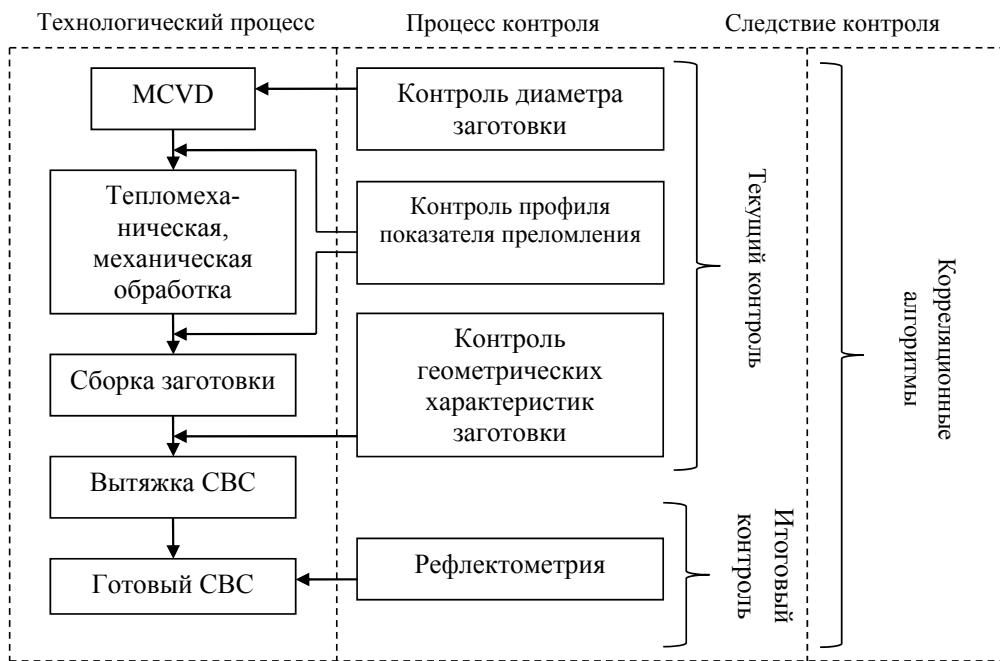


Рис. 1. Взаимодействие технологического процесса и процесса комплексного контроля специальных волоконных световодов

длина волны, длительность и форма зондирующего импульса, форма спектра шумов фотоприёмника. На выходе модели – рефлектограмма СВС, представляющая собой функцию мощности обратного рассеяния от координаты СВС. В разработанной АСТК модель необходима для генерации эталонных рефлектограмм, полученными на этапе технического контроля готовых СВС: вычисляется коэффициент корреляции спектров реальной и смоделированной рефлектоограммы.

В модели приняты следующие допущения [3]: СВС и световедущая жила внутри него обладают цилиндрической симметрией; СВС условно разделён на фрагменты (рис. 2), внутри которых оптические и геометрические свойства приняты постоянными; отражения Френеля, идущие в направлении, обратном направлению зондирования, не претерпевают вторичных отражений на пути следования; длина когерентности источника не превышает длины фрагмента.

Мощность светового импульса, идущего в прямом направлении, обозначена F , а в обратном – B . Способность каждого фрагмента пропускать свет – f , а отражать – b . На рис. 2 по оси абсцисс отложено расстояние L (разбитое на фрагменты), по оси ординат – мощность P (см. рис. 2, *a*), время T (см. рис. 2, *б*). Первый фрагмент – часть буферного световода, через который излучение мощностью F_0 вводится в исследуемый СВС. Затухание сигнала в СВС можно записать в виде

$$F_1 = F_0 f_2, \quad F_2 = F_1 f_3, \dots \quad F_5 = F_4 f_6. \quad (1)$$

Выражением (1) описывается изменение мощности фрагмента импульса при следовании к дальнему (от источника) торцу СВС. В каждой точке СВС происходит отражение света в обратном направлении:

$$\begin{aligned} B_0 &= F_0 b_1 & B_1^I &= B_1 f_2 \\ B_1 &= F_1 b_2 & B_2^I &= B_2 f_3 \\ B_2 &= F_2 b_3 & B_3^I &= B_3 f_4 \dots & B_4^{IV} &= B_4^{III} f_2 \\ B_3 &= F_3 b_4 & B_4^I &= B_4 f_5 & B_5^{IV} &= B_5^{III} f_3 \\ B_4 &= F_4 b_5 & B_5^I &= B_5 f_6 \\ B_5 &= F_5 b_6 \\ B_5^V &= B_5^{IV} f_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Выделим в предложенной схеме моменты T_2-T_n . Для них справедливо следующее. В обратном направлении первый фрагмент СВС проходят различные части импульса, которые могут

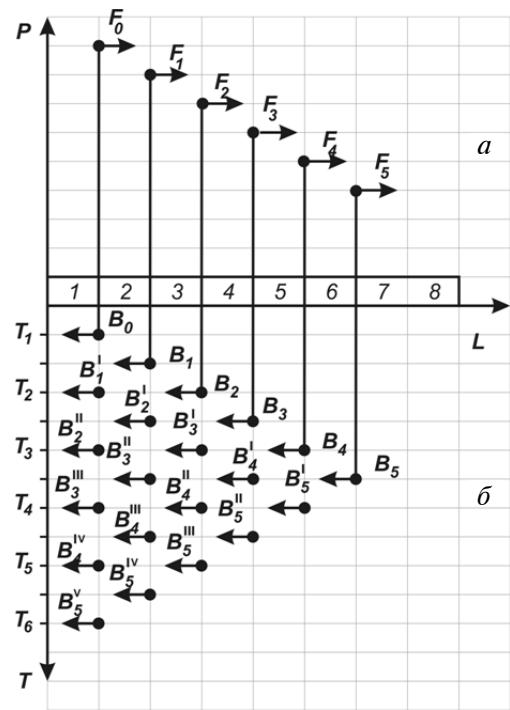


Рис. 2. Фрагменты специального волоконного световода

быть представлены компонентами обратного рассеяния:

$$\begin{aligned} T_2 : B_1^I &= B_1 f_2 = F_1 b_2 f_2 = F_0 f_2 b_2 f_2; \\ T_3 : B_2^{II} &= B_2 f_3 = B_2 b_3 f_3 f_2 = F_2 b_3 f_3 f_2 = \\ &= F_1 f_3 b_3 f_3 f_2 = F_0 f_2 f_3 b_3 f_3 f_2; \\ &\dots \\ T_6 : B_5^V &= F_0 f_2 f_3 f_4 f_5 f_6 b_6 f_6 f_5 f_4 f_3 f_2. \end{aligned} \quad (3)$$

Тогда для T_n выражение можно записать следующим образом:

$$T_n : B_{n-1} = F_0 b_{n-1} \prod_{i=2}^n (f_i)^2. \quad (4)$$

Полученное выражение может быть представлено графически в виде рефлектограммы. В статье показано, что малая длина когерентности источника излучения позволяет складывать мощности обратного рассеяния от разных частей зондирующего импульса. В модели учтена возможность зондирования длительными импульсами. Показано, что предлагаемая модель может учитывать нелинейные оптические эффекты. Программная реализация модели позволяет задать любой тип зависимости показателя преломления от мощности $n(P)$. При исследовании других видов рассеяния коэффици-

енты f и b заменяются на другие параметры, закон изменения которых от фрагмента к фрагменту заранее известен. Так могут быть рассчитаны параметры рассеяния Мандельштама – Бриллюэна, Рамана. Нестационарность задана зависимостью показателя преломления от времени $n(t)$.

Параметры среды рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned} x \in [0; l] : & \quad x \in (l, \infty) : \\ n_{core}(x) = n_1 \pm N(\mu, \sigma^2) & \quad n_{core}(x) = n_{air}, \\ n_{clad}(x) = n_2 \pm N(\mu, \sigma^2) & \quad n_{clad}(x) = n_{air}, \\ d_{core}(x) = d \pm N(\mu, \sigma^2) & \quad d_{core}(x) \rightarrow \infty \end{aligned} \quad (5)$$

где x – координата по длине световода; $n_{core}(x)$ – показатель преломления сердцевины световода; $n_{clad}(x)$ – показатель преломления отражающей оболочки световода; $d_{core}(x)$ – диаметр сердцевины световода; l – длина световода (как и n_1, n_2, d , является входным параметром); участок l, ∞ – область, в которой импульс попадает в окружающую среду (воздух); n_{air} – показатель преломления воздуха; $N(\mu, \sigma^2)$ – нормальное распределение с математическим ожиданием μ и дисперсией σ^2 .

Шумовые характеристики рефлектометров разных типов исследовались спектральным анализом. Шумы моделей рефлектограмм генерировались, исходя из данных этого анализа.

Адекватность модели и выбор исходных данных подтверждены вычислением критерия Стьюдента ($t_{\text{расч}} = 3,205$, $t_{\text{табл}} = 3,106$ при доверительной вероятности $p = 0,998$ и количестве степеней свободы $f_t = 500$). Закон распределения данных предварительно проверен на нормальность известными критериями. Ниже представлены примеры спектров реальной и смоделированной рефлектограмм (годный СВС и его модель; отличия на $0,25 \text{ м}^{-1}$ обусловлены условиями ввода излучения).

Для оценки эффективности модели введён расчёт коэффициента взаимной корреляции спектров. Это обусловлено тем, что при решении поставленных задач схожесть спектров рефлектограмм, наряду с затуханием СВС, является одним из определяющих факторов оценки качества СВС. Применение коэффициента корреляции для оценки схожести спектров сигналов подтверждено исследователями [4], а в рамках разработанной структуры АСТК – успешно проведено на действующем производстве. Совпадение спектров необходимо и для отработки модифицированных методов корреляционного анализа рефлектограмм, реализованных в пилотной АСТК. Коэффициент корреляции спектров рефлектограмм кондиционного СВС и его модели равен 0,95. Высокий коэффициент корреляции обусловлен корректным применением модели, правильным заданием оптических характеристик СВС,

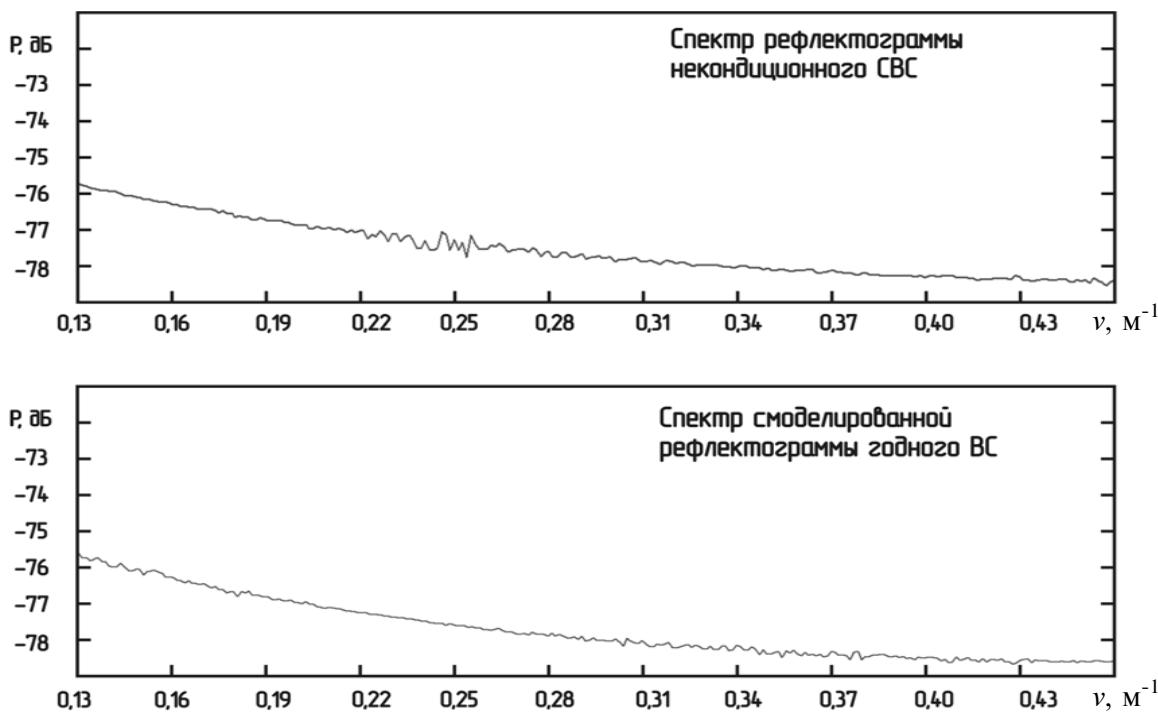


Рис. 3. Спектры реальной и смоделированной рефлектограмм:
 P – обратно-рассеянная мощность; ν – частота периодической составляющей рефлектограммы

близостью спектров смоделированного и реального шумов рефлектометров. Неполное совпадение спектров объясняется наличием мелких периодических дефектов (появление которых может быть связано как с отклонениями от технологического режима, так и с особенностями намотки СВС) и инструментальными погрешностями измерения.

Ниже описан модифицированный метод проведения измерения и обработки данных [5, 6]. К разработанной модификации поляризационного рефлектометра через балластную катушку при помощи иммерсионной жидкости присоединён исследуемый анизотропный СВС. После каждого измерения световод поворачивался вокруг центральной оси на фиксированный угол. Для дальнейшего исследования рефлектограмм, представляющих собой после первичного преобразования дискретные функции линейной координаты световода, определялся коэффициент их взаимной корреляции. Общая горизонтальная ось всех рефлектограмм была разбита на отрезки одинаковой длины. Коэффициенты корреляции Пирсона рассчитывались для каждой пары рефлектограмм на каждом из отрезков. Предполагалось, что в отсутствие «события» на выбранном участке СВС рефлектограммы не коррелированы из-за случайности процесса рассеяния (участок однороден). Напротив, относительно высокое значение коэффициента корреляции на каком-либо отрезке СВС предполагает наличие неоднородности, регулярно меняющей соответствующие рефлектограммы. Коррелограмма представляет собой функцию распределения коэффициента взаимной корреляции рефлектограмм по длине СВС. Для дальнейших расчётов предлагается использовать те рефлектограммы, на которых была установлена связь «событий».

Ниже представлен модифицированный метод корреляционной обработки рефлектограмм, который может быть применён и для данных с рэлеевских рефлектометров. Суть метода заключается в том, что при исследовании нового типа СВС для нахождения оптимальных интервалов разбиения рефлектограммы (т. е. фактически характерных размеров неоднородностей) происходит обучение автоматизированной системы. Система исследует фрагменты СВС с дефектами и без них, а затем формирует массив с интервалами, рекомендуемыми для дальнейшей работы с такими СВС и/или параметрами зондирования. Таким образом можно выбрать один оптимальный интервал. Однако система может функционировать в режиме, когда данные о расчёте корреляции на разных длинах интервалов сводятся в одну коррелограмму с использованием

весовых коэффициентов, рассчитанных системой в процессе обучения [7]:

$$R = \sum_{\Delta=m}^n k_{\Delta} \left[\sum_{i=s}^{s+\Delta} (u_i - \bar{u}_s^{-s+\Delta}) (v_i - \bar{v}_s^{-s+\Delta}) \times \right. \\ \times \left(\sum_{i=s}^{s+\Delta} (u_i - \bar{u}_s^{-s+\Delta})^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \times \\ \times \left. \left(\sum_{i=s}^{s+\Delta} (v_i - \bar{v}_s^{-s+\Delta})^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \right], \quad (6)$$

где R – значения результирующей коррелограммы; $\bar{u}_s^{-s+\Delta}$, $\bar{v}_s^{-s+\Delta}$ – средние значения массивов рефлектограмм u и v с первым значением в точке рефлектограммы s и последним в точке $s+\Delta$; k_{Δ} – весовой коэффициент коррелограммы, рассчитанной с разбиением на интервалы длиной Δ .

Показано, что для данного СВС (изотропный, одномодовый, высокопрочный) и данных параметров зондирования (2 мВт, прямоугольный импульс 1 м) описанная модификация корреляционного метода обработки рефлектограмм даёт большую точность локализации дефектов, чем усреднение, выполняемое стандартными рефлектометрами. Исследование проводилось сначала на моделях рефлектограмм, затем на рефлектограммах действительных образцов. Дефекты создавались изгибами СВС вокруг оправок разных диаметров (рис. 4).

На рис. 4 пунктиром обозначены данные, рассчитанные по модели, сплошной линией – данные эксперимента. Изгиб в 20 мм локализуется только при обработке предложенным модифицированным методом. Применение разработанного модифицированного метода к поляризационным рефлектограммам показало повторяемость дефектов при зондировании СВС с двух сторон. Это свидетельствует о достоверной регистрации внутренних отклонений параметров анизотропии СВС. Анализ коррелограмм показал улучшение отношения сигнал – шум. Это обусловлено тем, что все коррелограммы, рассчитанные с интервалом Δ , близким к оптимальному, имеют гарантированный всплеск в области «события», в то время как шумовые участки коррелируют по-разному.

Ниже представлена упрощённая структура и общий алгоритм функционирования АСТК качества СВС в процессе производства: нижний уровень содержит датчики технологических установок, метрологическое оборудование; верхний –

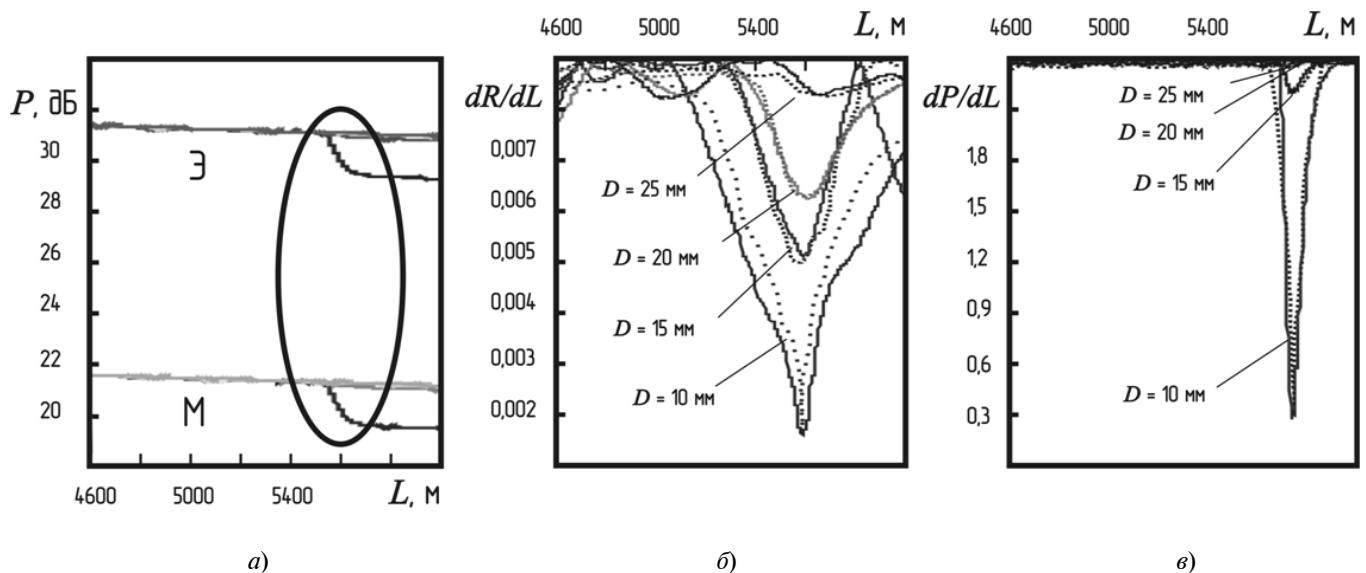


Рис. 4. Корреляционный анализ рефлектоограмм:

a – рефлектоограммы: Э – реальная (смещена по вертикали для наглядности), М – модель; *б* – производная от усреднённых коррелограмм, рассчитанных по выражению (6); *в* – производная от усреднённых рефлектоограмм

сервер с БД и установленным прикладным ПО. Программная структура АСТК состоит из подсистем и модулей. Функциональная структура АСТК содержит:

подсистему, разработанную авторами и предназначенную для измерения диаметра заготовок СВС. В ходе ТП на установке MCVD в соответствии с данными пирометра выбирается шаблон, содержащий характерное для данного этапа ТП распределение яркости по сечению заготовки в месте её контакта с окружающей средой. Границы находятся модифицированным методом, заключающимся в вычислении коэффициента корреляции шаблона с различными участками получаемого с видеокамеры изображения [8];

разработанную подсистему корреляционного анализа границ слоёв в заготовках СВС. Шаблон, загруженный из постоянно пополняемой БД, сканирует ППП, полученный анализатором. Рассчитанная коррелограмма анализируется совместно с ППП. По результатам анализа строится так называемый эквивалентный профиль показателя преломления (ЭППП) [9];

подсистему автоматизации процесса рефлектометрии, включающую модули управления рефлектометрической техникой, обработки данных модифицированными корреляционными методами. Подсистема достаточно многофункциональна [10].

Пилотная версия АСТК качества СВС функционирует в следующих режимах:

режим контроля качества на этапах производства. По завершении или во время каждого из производственных или контролирующих этапов

данные с различных единиц оборудования сохраняются в форматах, установленных производителями. Фоновое приложение импортирует необходимые для анализа данные в главный модуль, сравнивает с параметрами технического задания. На основании сравнения система либо пропускает изделие (при необходимости отмечая некоторые отклонения от режимов), либо бракует его, сообщая о необходимости остановки процесса. Далее программа преобразовывает данные в единую систему координат и сохраняет файл с индивидуальным именем, соответствующим названию образца;

режим снятия рефлектоограммы. Программа управляет рефлектометром и микроподвижками через приложение, созданное с использованием SDK в среде разработки Delphi. Управление микроподвижками сводится к заданию корректного угла и других условий ввода излучения в СВС. Такой режим позволяет снимать и сохранять рэлеевские и поляризационные рефлектоограммы. Далее система загружает сохранённую модель рефлектоограммы (если для данного типа СВС нет сохранённой модели, запускается программный эмулятор рефлектометра). Определяется затухание и дисперсия, осуществляется сравнение спектров реальной и смоделированной рефлектоограмм корреляционным методом, делаются выводы о годности готового образца;

режим обработки и анализа данных. За основу подхода к редактированию данных взята структура многодорожечного звукоинженерного программного обеспечения. Каждую дорожку (рефлектоограмму) можно отдельно загрузить, отмас-

штабировать, разделить на части. Свободная дорожка может быть как заполнена новой рефлектоограммой из файла, так и рассчитана по имеющимся данным. Расчёт осуществляется после выбора исходных рефлектоограмм и загрузки модуля. Модули имеют следующие функции: разворот рефлектоограммы; вычитание одной рефлектоограммы из другой; производная; вторая производная; быстрое преобразование Фурье; вычисление коэффициентов корреляции Пирсона; вычисление «модифицированного» коэффициента корреляции по предложенным алгоритмам; автокорреляционная функция. В программу можно загрузить не только данные с рэлеевских, бриллюэновских, рамановских и поляризационных рефлектометров, но и данные процесса вытяжки оптического волокна, корреляция которых с показаниями приборов обратного рассеяния представляет информацию о природе появления тех или иных неоднородностей на рефлектоограмме. Реализованные средства позволяют исследователю получить модифицированный инструментарий обработки данных, позволяют автоматизировать представление данных оптических рефлектометров. Модульная конструкция программного обеспечения позволяет совершенствовать способы обработки данных и интегрировать в систему модули новых или доработанных методик.

Выходы. Отдельные подсистемы и программные модули, а также пилотная версия системы внедрены на производстве СВС в ОАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», что позволило оценить возможность функционирования и расширения данной системы, а также запустить процесс накопления технологических и исследовательских данных. В виде пилотной версии система позволяет уменьшать время технологического процесса и процент некондиционной продукции.

Накопленные данные позволяют создать базу для дальнейшей автоматизации всего производства. Модульная конструкция ПО и унифицированный формат хранения данных позволяют интегрировать в систему новые функции обработки.

Библиографические ссылки

1. Азаров А.А. Система автоматического контроля параметров оптических волокон и волоконно-оптических кабелей: дис. канд. техн. наук. М.: 2001. 114 с.
2. Автоматизация и сбор данных при исследовании характеристик волоконных световодов на этапах производства / Ю.А. Константинов, И.И. Крюков, М.М. Пос-кребышев, Н.А. Харламова // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского гос. политехн. ун-та. 2011. № 6–2 (138). С. 30–34.
3. Константинов Ю.А., Крюков И.И. Программный эмулятор оптического рефлектометра в исследовательском и образовательном процессе // Телематика – 2011: тр. XVIII Всерос. научно-метод. конф. (СПб., 20–23 июня 2011 г.) СПб.: 2011. Т. 2. С. 325–326.
4. Мельникова Е.Ю. Разработка критериев диагностирования насосно-компрессорных труб вибраакустическим методом в промысловых условиях: дис. канд. техн. наук. Уфа: 2002. 150 с.
5. Поляризационная рефлектометрия анизотропных волоконных световодов / Ю.А. Константинов, И.И. Крюков, В.П., Первадчук, А.Ю. Торошин // Квантовая электроника. 2009. № 39 (11). С. 1068–1070.
6. Экспериментальные методики рефлектометрии волоконных световодов типа «Панда» / Ю.А. Константинов, И.И. Крюков, В.П. Первадчук, А.Ю. Торошин // Фотон-Экспресс. 2009. № 6 (78). С. 152.
7. Константинов Ю.А., Мазунина Т.В. Разработка модифицированного корреляционного метода локализации дефектов в волоконных световодах // Фотон-Экспресс. 2011. № 6 (94). С. 179–180.
8. Телевизионная система измерения размеров заготовки волоконных световодов в ходе процесса химического парофазного осаждения / Ю.А. Константинов, И.И. Крюков, М.М. Поскребышев, Н.А. Харламова // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского гос. политехн. ун-та. 2010. № 6 (113). С. 155–158.
9. Константинов Ю.А. Корреляционный анализ, применённый для локализации границ слоёв в заготовках волоконных световодов // Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности: тр. междунар. конф. СПб., 2011. Т. 3. С. 239–240.
10. Константинов Ю.А., Мазунина Т.В., Торошин А.Ю. Адаптивная система оптимизации параметров оптической рефлектометрии волоконных световодов // Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности: тр. междунар. конф. СПб., 2011. Т. 1. С. 118–120.

Вниманию авторов!

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

УДК 664.95:681.3(06)

С.П. Сердобинцев, д-р техн. наук, проф., **В.С. Ханевич**
(Калининградский государственный технический университет)

hvsvs@mail.ru

МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЫБНОГО СЫРЬЯ ПО ВИДАМ ПЕРЕРАБОТКИ

Рассмотрено решение задачи рационального распределения рыбного сырья по видам переработки методом анализа иерархий.

Ключевые слова: рыбопереработка, рыбное сырьё, виды переработки, метод анализа иерархий, критерий, альтернатива, шкала отношений, матрица парных сравнений, вектор приоритетов.

Task desision of the fish raw materials rational distribution by types of processing using the hierarchy analysis method is considered.

Key words: fish processing, fish raw materials, types of processing, hierarchy analysis method, criteria, alternative, relations scale, matrix of pair comparisons matrix, priority vector.

Введение. При принятии управленческих решений и прогнозировании ближайших результатов и перспектив развития предприятия лицо, принимающее решение (ЛПР), обычно сталкивается с проблемой анализа сложной системы взаимозависимых элементов (ресурсов, видов сырья, желаемых целей). При принятии управленческих решений важно выбрать варианты по многим критериям.

В работах [1] и [2] указывалось, что распределение рыбного сырья по видам переработки имеет существенное экономическое и социальное значение, а специфика производства и сбыта рыбной продукции связана с профессиональными понятиями, субъективными оценками экспертов, необходимостью точно следовать рекомендациям технологов, учитывать нестабильность рыночных условий, опираться на качественный (лингвистический, вербальный) характер оценки поступающей информации.

Математическим инструментом системного подхода к сложным проблемам принятия решений является метод анализа иерархий (МАИ). Цель метода – разработка теории и методологии

для моделирования неструктурированных задач в экономике, управлении и социальных науках.

МАИ не даёт готового решения, а позволяет ЛПР в интерактивном режиме найти вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с проблемой и требованиями для её решения, учитывает многокритериальность и неопределенность задачи, позволяет выбрать решение из множества вариантов различного типа на основании критериев, выражющихся как количественными, так и качественными характеристиками [3].

Метод состоит в иерархической декомпозиции системы на более простые составляющие с последующей обработкой последовательности суждений ЛПР (рис. 1).

Метод включает следующие этапы:

структуризация задачи: элементы задачи и связи между ними выражаются в виде многоуровневой иерархической структуры;

парное сравнение элементов каждого уровня;

математическая обработка экспертных оценок;

выбор наилучшей альтернативы на основе результатов обработки экспертных оценок.

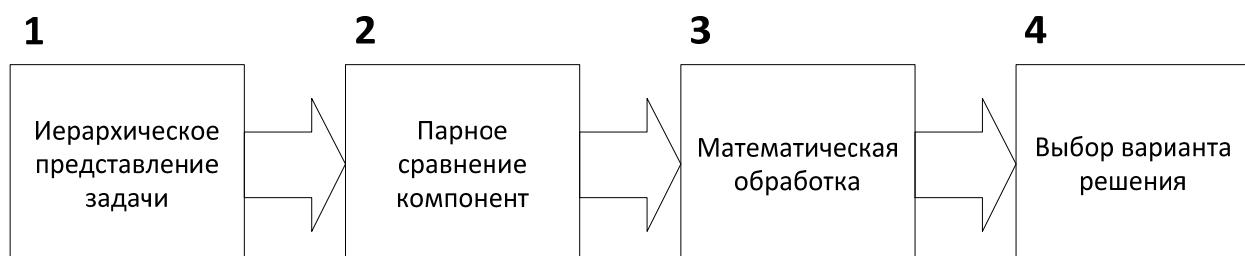


Рис. 1. Основные этапы реализации метода анализа иерархий

Пример применения МАИ. Реализацию МАИ рассмотрим на примере распределения рыбного сырья по видам переработки. Предположим, что рыбоперерабатывающее предприятие выпускает четыре вида рыбной продукции: копчёная рыба, рыбные консервы, солёная рыба, замороженная рыба.

Построим иерархическую декомпозицию системы. На рис. 2 приведена иерархия, включающая цель (конкурентоспособность продукции), расположенную в её вершине, промежуточные уровни (критерии) и альтернативы, находящиеся на самом нижнем уровне.

Для установления приоритетов отдельных критериев формируем матрицу парных сравнений. Для получения каждой матрицы ЛПР выносит $n(n - 1)/2$ суждений, где n – порядок матрицы парных сравнений. Элементы в матрице сравниваются попарно по мере их влияния на общий

критерий. Для перевода качественной информации в числа используем вербально-числовую шкалу отношений (табл. 1), содержащую численные значения с соответствующими обоснованиями данных градаций. Шкала отношений позволяет ставить в соответствие степени предпочтения одного показателя над другим определённые числа. Парные сравнения показателей ведутся в терминах доминирования одного показателя над другим (какой из них наиболее значим с точки зрения ЛПР). Сравнивая две группы показателей по степени их значимости, ЛПР в соответствии с табл. 1 ставит целые числа от 1 до 9 или обратные числа [4]. МАИ позволяет сравнивать относительную важность левых элементов матрицы с элементами наверху. Поэтому, если элемент слева важнее элемента наверху, то в ячейку заносится отношение (например, 3/1), в противном случае – обратное число (например, 1/3).

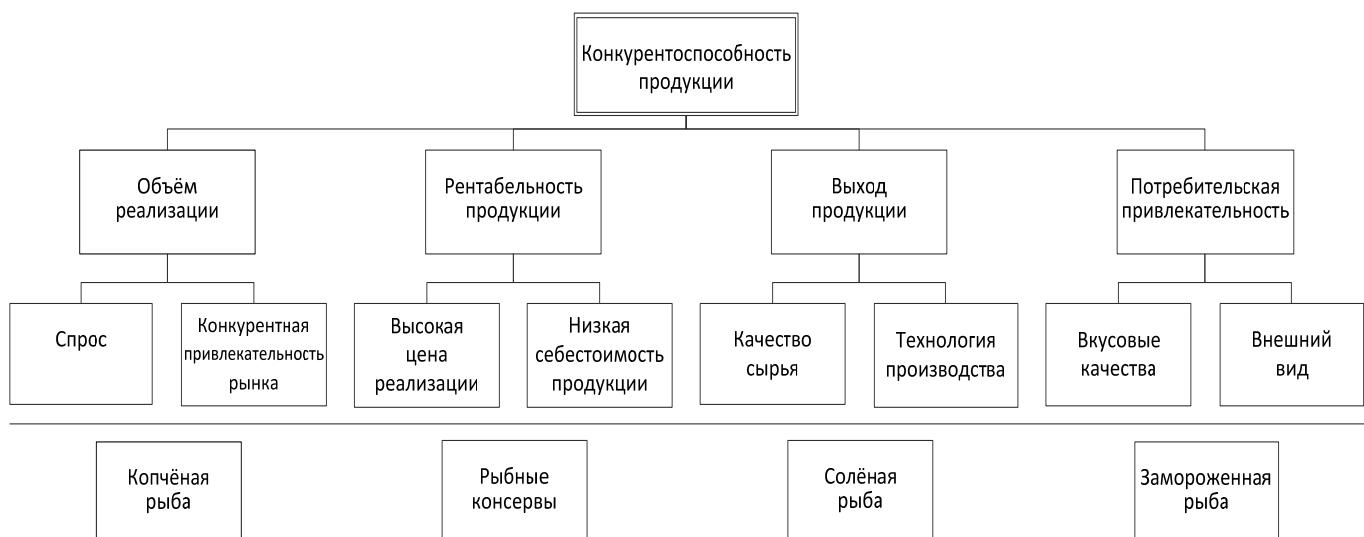


Рис. 2. Иерархическая декомпозиция системы

Таблица 1

Вербально-числовая шкала отношений для матрицы парных сравнений

Степень важности	Определение
1	Одинарная значимость
3	Некоторое преобладание значимости одного действия перед другим (слабая значимость)
5	Существенная или сильная значимость
7	Очень сильная или очевидная значимость
9	Абсолютная значимость
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения между соседними значениями шкалы
Обратные величины	Если критерию i при сравнении с критерием j ставится в соответствие одно из приведённых выше чисел, то обратному действию сравнения приписывается обратная величина

Отличительными особенностями матрицы парных сравнений и всей системы оценки являются устойчивость и гибкость: при удалении или добавлении иерархических ветвей приоритеты альтернатив не претерпевают качественных изменений. Небольшие изменения значений качественных показателей приводят к незначительным изменениям количественных показателей приоритетов альтернатив, что доказывает устойчивость метода.

Матрица парных сравнений относительной важности критериев второго уровня приведена в табл. 2.

Дальнейшая процедура включает вычисление вектора приоритетов, максимального собственного значения λ_{\max} , индекса согласованности и отношения согласованности.

Вектор приоритетов вычисляется следующим образом: элементы каждой строки суммируются и нормализуются делением каждой суммы на сумму всех элементов; сумма полученных результатов будет равна единице (табл. 3). На основании вектора приоритетов проводим ранжирование критериев, анализируемых с использованием каждой матрицы парных сравнений.

Для вычисления собственного значения матрицы парных сравнений (см. табл. 2) сначала суммируется каждый столбец матрицы, затем сумма первого столбца умножается на величину первой компоненты нормализованного вектора приоритетов (см. табл. 3), сумма второго столбца – на вторую компоненту и т. д. Затем полученные числа суммируются (табл. 4) и получается наибольшее собственное значение λ_{\max} матрицы [5].

Собственное значение матрицы парных сравнений (см. табл. 4) $\lambda_{\max} = 4,24$.

Качество принимаемого решения зависит от согласованности суждений ЛПР. Отклонение от согласованности (однородность суждений) может быть выражено индексом согласованности (ИС):

$$IS = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}.$$

Для вычисления отношения согласованности (ОС) разделим ИС на случайную согласованность (СС) матрицы того же порядка:

$$OC = \frac{IS}{CC}.$$

Таблица 2

Матрица влияния факторов второго уровня на первый (цель)

Критерии	Объём реализации	Рентабельность продукции	Выход продукции	Потребительская привлекательность
Объём реализации	1	1/3	4	2
Рентабельность продукции	3	1	5	6
Выход продукции	1/4	1/5	1	1/2
Потребительская привлекательность	1/2	1/6	2	1

Таблица 3

Вычисление вектора приоритетов матрицы

Критерии	Объём реализации	Рентабельность продукции	Выход продукции	Потребительская привлекательность	Сумма	Вектор
Объём реализации	1	1/3	4	2	7,33	0,26
Рентабельность продукции	3	1	5	6	15	0,54
Выход продукции	1/4	1/5	1	1/2	1,95	0,07
Потребительская привлекательность	1/2	1/6	2	1	3,67	0,13
СУММА					29,7	1

Таблица 4

Определение собственного значения матрицы парных сравнений

Критерии	Объём реализации	Рентабельность продукции	Выход продукции	Потребительская привлекательность	Вектор	Умножение матрицы на вектор
Объём реализации	1	1/3	4	2	0,26	0,98
Рентабельность продукции	3	1	5	6	0,54	2,46
Выход продукции	1/4	1/5	1	1/2	0,07	0,31
Потребительская привлекательность	1/2	1/6	2	1	0,13	0,49
СУММА						4,24

Значения СС для матриц различных размерностей [6] приведены в табл. 5. Сравнивая ИС и СС, можно оценить согласованность суждений для решения задачи.

В работе [4] показано, что величина ОС не должна превышать 0,1, чтобы быть приемлемой. Превышение ОС значения 0,1 свидетельствует о существенном нарушении логичности суждений, допущенном ЛПР при заполнении матрицы. Согласованность может быть улучшена пересмотром данных, использованных для построения матрицы.

В рассматриваемом примере ИС = 0,08, ОС = 0,09, поэтому данные можно считать согласованными.

Для определения влияния критериев последовательно сравнивается влияние критериев следующего уровня иерархии на каждый из критериев предшествующего уровня. Таким образом, получены четыре (по количеству критериев второго уровня) матрицы парных сравнений. Одна из них представлена в табл. 6.

Далее переходим к парным сравнениям на следующем уровне: по каждому критерию третьего уровня сравниваются виды рыбной продукции (табл. 7 и 8).

В итоге получаем четыре вектора приоритетов, которые сведены в матрицу (табл. 9).

Вывод о наиболее предпочтительном виде переработки рыбного сырья на основе матриц парных сравнений делается с использованием результирующего вектора приоритетов, для получения которого (табл. 10) матрицу из табл. 9 умножаем на вектор приоритетов, полученный при оценке влияния второго уровня на первый (в табл. 3 выделен жирным шрифтом).

Таким образом, наиболее предпочтительным видом рыбной продукции являются рыбные консервы.

Выводы. Применение МАИ позволяет разбить задачу принятия решения о рациональном распределении рыбного сырья по видам переработки на ряд малых самостоятельных задач, в результате

Таблица 5

Случайная согласованность

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Таблица 6

Матрица парных сравнений для определения влияния факторов критерия «объём реализации» на второй уровень иерархии

Критерии	Спрос	Конкурентная привлекательность
Спрос	1	1/2
Конкурентная привлекательность	2	1

Таблица 7

**Матрица парных сравнений видов продукции (четвёртый уровень)
по критерию «конкурентная привлекательность» (третий уровень)**

Альтернативы	Копчёная рыба	Рыбные консервы	Солёная рыба	Замороженная рыба
Копчёная рыба	1	1/7	1/2	1/9
Рыбные консервы	7	1	6	1/2
Солёная рыба	2	1/6	1	1/8
Замороженная рыба	9	2	8	1

Таблица 8

Определение влияния факторов группы «объём реализации» по видам переработки

Альтернативы	Критерии		
	Спрос	Конкурентная привлекательность	Вектор
Копчёная рыба	0,04	0,02	0,06
Рыбные консервы	0,09	0,19	0,27
Солёная рыба	0,07	0,21	0,27
Замороженная рыба	0,14	0,25	0,40

Таблица 9

Векторы приоритетов

Альтернативы	Критерии			
	Объём реализации	Рентабельность продукции	Выход продукции	Потребительская привлекательность
Копчёная рыба	0,06	0,26	0,21	0,17
Рыбные консервы	0,27	0,32	0,33	0,29
Солёная рыба	0,27	0,18	0,29	0,36
Замороженная рыба	0,40	0,24	0,17	0,18

Таблица 10

Результирующий вектор

Альтернативы	Вектор	Ранг альтернативы
Копчёная рыба	0,193	4
Рыбные консервы	0,304	1
Солёная рыба	0,235	3
Замороженная рыба	0,269	2

те чего ЛПР получает детальное представление о том, как именно взаимодействуют между собой элементы иерархии, какой из них и какими приоритетами обладает. Также МАИ позволяет оптимально использовать экспертные оценки, выявлять и устранять противоречия в имеющихся дан-

ных, помогает выявить не только наиболее предпочтительный вид переработки рыбного сырья, но и количественно выразить степень предпочтительности с помощью весовых коэффициентов. Это способствует полному и адекватному выявлению предпочтений ЛПР. Однако МАИ может

быть излишне громоздким для принятия решений в простых ситуациях из-за того, что для сбора данных требуется провести много парных сравнений. В этих случаях можно использовать подходы, изложенные в работах [1, 2].

Библиографические ссылки

1. Сердобинцев С.П., Ханевич В.С. Управление распределением рыбного сырья по видам переработки в рыночных условиях // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 11. С. 35–40.
2. Сердобинцев С.П., Ханевич В.С. Метод упорядочивания многокритериальных альтернатив для управ-
- ления распределением рыбного сырья // Автоматизация и современные технологии. 2013. № 5. С. 18–22.
3. Блюмин С.Л., Шуйкова И.А. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности. Липецк: ЛЭГИ, 2001. 138 с.
4. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 176 с.
5. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в Волшебных странах: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Логос, 2003. 296 с.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.

УДК 519.651

Н.И. Гданский, д-р техн. наук, проф. (Российский государственный социальный университет, г. Москва), **А.В. Карпов**, канд. техн. наук, доц., **Ю.А. Ганская**, канд. техн. наук (Московский государственный университет инженерной экологии)

al-kp@mail.ru

УПРОЩЁННЫЙ МЕТОД ИНТЕРПОЛИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПО УЗЛОВЫМ ТОЧКАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КУБИЧЕСКИХ СПЛАЙНОВ

Предложен метод частичного расчёта коэффициентов интерполяционных кубических сплайнов, требующий выполнения меньшего количества вычислительных операций по сравнению с традиционным методом, в котором применяются локальные кубические сплайны Эрмита и обычный метод прогонки.

Ключевые слова: сплайны, сплайн-аппроксимационные методы.

The partial calculation method of the interpolational cubic splines coefficients is proposed. This method requires the smaller number of computational operations implementation compared with the traditional method, in which local cubic spline Hermite and the usual method of passing employed.

Key words: splines, spline-approximation methods.

Введение. В цифровых системах управление вращательным движением при моделировании внешней нагрузки $M(t; \phi(t))$, действующей на рабочий вал привода вращательного движения, можно представить в виде набора постоянных коэффициентов модели \bar{M}^k , имеющих смысл усреднённых значений частных производных по времени t и углу поворота вала ϕ . При этом работа A , которую должен совершать двигатель на отрезке изменения времени $[t_i, t_{i+1}]$ как функция от t , будет определяться по формуле

$$A_i(t) = \int_{t_i}^{t_{i+1}} (\bar{M}^k, \bar{\phi}^k(t)) \phi'(t) dt.$$

Из общего вида формулы следует, что в неё входят только производные ϕ по t порядков от 1 до k . Исходная зависимость $\phi(t)$ не входит явно.

Это свойство решаемой задачи можно использовать для упрощения вспомогательной задачи интерполяции траектории перемещения вала по заданным узловым точкам.

Допустим, задан упорядоченный массив узловых точек $\bar{P}_i = (t_i; \phi_i)$ ($i = 0, \dots, n$), лежащих на траектории перемещения. Для построения кусочно-полиномиальной кривой второй степени гладкости, проходящей через заданные узловые точки, наилучшим решением являются интерполяционные кубические сплайны [1, 2], которые на промежутках между узлами представляют собой кубические параболы, непрерывно соединяющиеся в узловых точках с гладкостью 2-й степени.

Таким образом, искомая кривая $\phi(t)$ является искомой кусочно-полиномиальной и состоит из n кубических парабол $S_i(t)$, которые с гладкостью 2-й степени соединяются между собой в точках t_1, \dots, t_{n-1} , называемых внутренними узловыми

точками. В математической форме выражение кусочности функции $\varphi(t)$ можно представить в виде

$$\varphi(t) = S_i(t) \text{ при } t_{i-1} \leq t \leq t_i; i = 1, 2, \dots, n.$$

Полная совокупность геометрических условий, накладываемых на кубические параболы, имеет вид:

$S_i(t_{i-1}) = \bar{P}_{i-1}; S_i(t_i) = \bar{P}_i, i = 1, 2, \dots, n$ – условия прохождения ломаной через заданные узловые точки;

$S_i'(t_i) = S_{i+1}'(t_i), i = 1, \dots, n-1$ – гладкость первого порядка во внутренних точках;

$S_i''(t_i) = S_{i+1}''(t_i), i = 1, \dots, n-1$ – гладкость второго порядка во внутренних точках;

$S_1''(t_0) = S_n''(t_n) = 0$ – краевые условия в начальной и конечной узловых точках.

Задача построения кубических интерполяционных сплайнов наиболее просто решается с использованием локальных кубических сплайнов Эрмита. Данные сплайны имеют гладкость 1-й степени и у них, кроме значений y_i , во всех узловых точках x_i заданы также величины первых производных y'_i . Так как в рассматриваемой задаче величины y'_i не задаются, их рассматривают в качестве неизвестной задачи, для решения которой составляют линейную систему уравнений, у которой матрица трёхдиагональна. Это позволяет решать систему специальной упрощённой модификацией метода Гаусса (метода прогонки) [1, 2].

Найденная кусочная полиномиальная кривая $\varphi(t)$ является оптимальной с точки зрения уменьшения инерционных нагрузок, создаваемых при перемещении по заданным узловым точкам.

Постановка задачи и обоснование метода. Введём относительное время $\tau_i = t_i - t_0$. На плоскости $t\varphi$ задан набор из $(k+1)$ точек вида $\bar{P}_i = (\varphi_i, \tau_i)$, $i = 0, \dots, k$. Обозначим отрезки $l_i = (\bar{P}_i; \bar{P}_{i+1})$, $i = 0, \dots, k-1$.

Рассмотрим на отрезках l_i кубические сплайны:

$$S_i(\tau) = C_0^i + C_1^i \tau + C_2^i \tau^2/2 + C_3^i \tau^3/3, \\ i = 0, \dots, k-1. \quad (1)$$

Необходимо найти коэффициенты $\{C_1^i, C_2^i, C_3^i\}$ всех сплайнов $\{S_i(\tau)\}$ ($i = 0, \dots, k-1$) при заданных краевых условиях:

$$S_0''(0) = 0; S_{k-1}''(\tau_k) = 0. \quad (2)$$

Решение. Поскольку свободные коэффициенты C_0^i сплайнов $\{S_i(\tau)\}$ не требуется определять, рассматриваем вместо $S_i(\tau)$ их первые производные, которые являются квадратными параболами:

$$D_i(\tau) = (S_i(\tau))' = C_1^i + C_2^i \tau + C_3^i \tau^2. \quad (3)$$

Для решения задачи определения множества коэффициентов $\{C_1^i, C_2^i, C_3^i, i = 0, \dots, k-1\}$ применим упрощённый по сравнению с расчётом коэффициентов кубических сплайнов $\{S_i(\tau)\}$ метод построения соответствующих им парабол $\{D_i(\tau)\}$. Для определённости параболу $D^0(\tau)$ будем называть *начальной*, параболы $D^1(\tau) - D^{k-2}(\tau)$ – *внутренними*, $D^{k-1}(\tau)$ – *конечной*.

Как и в методе прогонки, при расчёте используем прямой и обратный ход.

Прямой ход. Основная идея прямого хода заключается в том, что старший коэффициент параболы $D^i(\tau)$ линейно выражается через старший коэффициент C_3^{i+1} параболы $D^{i+1}(\tau)$, а линейный C_1^i и квадратный C_2^i коэффициенты параболы $D^i(\tau)$ выражаются C_3^i :

$$C_3^i = A_3^i C_3^{i+1} + B_3^i; \quad C_1^i = A_1^i C_3^i + B_1^i; \\ C_2^i = A_2^i C_3^i + B_2^i. \quad (4)$$

Отдельно рассмотрим начальную параболу $D^0(\tau)$, внутренние параболы $D^1(\tau) - D^{k-2}(\tau)$ и конечную $D^{k-1}(\tau)$.

Начальная парабола $D^0(\tau)$. Из условия $S_0''(0) = 0$ следует: $(D^0(0))' = C_2^0 + C_3^0 \cdot 0 = 0$. Отсюда получаем $C_2^0 = 0$. При этом для коэффициента

$$C_2^0: A_2^0 = B_2^0 = 0. \quad (5)$$

Из условий прохождения сплайна $S^0(\tau)$ через точки $\bar{P}_0 = (\varphi_0, \tau_0 = 0)$ и $\bar{P}_1 = (\varphi_1, \tau_1)$

$$S_0(\tau_0 = 0) = C_0^0 = \varphi_0; S_0(\tau_1) = \\ = C_0^0 + C_1^0 \tau_1 + C_2^0 \tau_1^2/2 + C_3^0 \tau_1^3/3 = \varphi_1.$$

После вычитания из второго соотношения первого с учётом $C_2^0 = 0$ получим:

$$C_1^0 \tau_1 + C_3^0 \tau_1^3/3 = \Delta\varphi_0; \quad \Delta\varphi_0 = \varphi_1 - \varphi_0.$$

Из этого равенства выразим линейную зависимость C_1^0 (C_3^0):

$$C_1^0 = \Delta\varphi_0 / \tau_1 - C_3^0 \tau_1^2/3 = A_1^0 C_3^0 + B_1^0; \\ A_1^0 = -\tau_1^2/3; \quad B_1^0 = \Delta\varphi_0 / \tau_1. \quad (6)$$

Выражение (4) для коэффициента C_3^0 у начальной параболы определяется при анализе параболы $D^1(\tau)$.

Рассмотрим внутренние параболы $D^i(\tau)$, $i = 1, \dots, k-2$. К началу их анализа для предыду-

щей параболы $D^{i-1}(\tau)$ известны линейные зависимости:

$$\begin{aligned} C_1^{i-1} &= A_1^{i-1} C_3^{i-1} + B_1^{i-1}; \\ C_2^{i-1} &= A_2^{i-1} C_3^{i-1} + B_2^{i-1}. \end{aligned} \quad (7)$$

Условия гладкости 2-й степени в узле $\tau = \tau_i$ для сплайнов $S_{i-1}(\tau)$ и $S_i(\tau)$ имеют вид:

$$S_{i-1}'(\tau_i) = S_i'(\tau_i); \quad S_{i-1}''(\tau_i) = S_i''(\tau_i).$$

Отсюда получим:

$$\begin{aligned} C_1^{i-1} + C_2^{i-1} \tau_i + C_3^{i-1} \tau_i^2 &= C_1^i + C_2^i \tau_i + \\ + C_3^i \tau_i^2; \quad C_2^{i-1} + 2C_3^{i-1} \tau_i &= C_2^i + 2C_3^i \tau_i \end{aligned}$$

Умножая обе части второго соотношения на $(-\tau_i)$, складываем его с первым. При этом получим систему уравнений более простого вида:

$$\begin{aligned} C_1^{i-1} - C_3^{i-1} \tau_i^2 &= C_1^i - C_3^i \tau_i^2; \\ C_2^{i-1} + 2C_3^{i-1} \tau_i &= C_2^i + 2C_3^i \tau_i. \end{aligned}$$

Подставим в уравнения системы зависимости (7):

$$\begin{aligned} (A_1^{i-1} - \tau_i^2) C_3^{i-1} + B_1^{i-1} &= C_1^i - C_3^i \tau_i^2; \\ (A_2^{i-1} + 2\tau_i) C_3^{i-1} + B_2^{i-1} &= C_2^i + 2C_3^i \tau_i. \end{aligned} \quad (8)$$

Из условий $S_i(\tau_i) = \varphi_i$; $S_i(\tau_{i+1}) = \varphi_{i+1}$ получим уравнение:

$$\begin{aligned} C_1^i + C_2^i (\tau_i + \tau_{i+1})/2 + \\ + C_3^i (\tau_i^2 + \tau_i \tau_{i+1} + \tau_{i+1}^2)/3 &= \Delta \varphi_i / \Delta \tau_i, \end{aligned} \quad (9)$$

где $\Delta \varphi_i = \varphi_{i+1} - \varphi_i$, $\Delta \tau_i = \tau_{i+1} - \tau_i$.

Складывая уравнение (9) с первым уравнением (8) и вторым, умноженным на $(\tau_i + \tau_{i+1})/2$, получим соотношение, содержащее только коэффициенты C_3^{i-1} и C_3^i :

$$\begin{aligned} (A_1^{i-1} - \tau_i^2) C_3^{i-1} + B_1^{i-1} + (A_2^{i-1} + 2\tau_i) \times \\ \times C_3^{i-1} (\tau_i + \tau_{i+1})/2 + B_2^{i-1} (\tau_i + \tau_{i+1})/2 + \\ + C_3^i (\tau_i^2 + \tau_i \tau_{i+1} + \tau_{i+1}^2)/3 = \\ = \Delta \varphi_i / \Delta \tau_i - C_3^i \tau_i^2 + 2C_3^i \tau_i (\tau_i + \tau_{i+1})/2. \end{aligned}$$

Преобразуя это соотношение, выразим C_3^i через C_3^{i-1} :

$$\begin{aligned} C_3^{i-1} [A_1^{i-1} + A_2^{i-1} (\tau_i + \tau_{i+1})/2 + \tau_i \tau_{i+1}] &= \\ = C_3^{i-1} [-(\tau_i^2 + \tau_i \tau_{i+1} + \tau_{i+1}^2)/3 + \tau_i \tau_{i+1}] + \\ + \Delta \varphi_i / \Delta \tau_i - B_1^{i-1} - B_2^{i-1} (\tau_i + \tau_{i+1})/2; \\ C_3^i &= A_3^{i-1} C_3^{i-1} + B_3^{i-1}; \end{aligned}$$

где $A_3^{i-1} = -\Delta \tau_i^2 / (3K)$; $B_3^{i-1} = (\Delta \varphi_i / \Delta \tau_i - B_1^{i-1} - B_2^{i-1} (\tau_i + \tau_{i+1})/2) / K$;

$$K = A_1^{i-1} + A_2^{i-1} (\tau_i + \tau_{i+1})/2 + \tau_i \tau_{i+1}. \quad (10)$$

После подстановки выражения (10) в уравнения системы (8) получаем зависимости $C_1^i(C_3^{i-1})$ и $C_2^i(C_3^{i-1})$:

$$\begin{aligned} C_1^i &= (A_1^{i-1} - \tau_i^2) C_3^{i-1} + B_1^{i-1} + C_3^i \tau_i^2 = \\ &= (A_1^{i-1} - \tau_i^2) (A_3^{i-1} C_3^{i-1} + B_3^{i-1}) + \\ &+ B_1^{i-1} + C_3^i \tau_i^2 = A_1^i C_3^i + B_1^i, \end{aligned}$$

$$\text{где } A_1^i = A_3^{i-1} (A_1^{i-1} - \tau_i^2) + \tau_i^2; \quad B_1^i = B_3^{i-1} (A_1^{i-1} - \tau_i^2) + B_1^{i-1},$$

$$\begin{aligned} C_2^i &= (A_2^{i-1} + 2\tau_i) C_3^{i-1} + B_2^{i-1} - 2C_3^i \tau_i = \\ &= (A_2^{i-1} + 2\tau_i) (A_3^{i-1} C_3^{i-1} + B_3^{i-1}) + \\ &+ B_2^{i-1} - 2C_3^i \tau_i = A_2^i C_3^i + B_2^i; \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_2^i &= A_3^{i-1} (A_2^{i-1} + 2\tau_i) - 2\tau_i; \\ B_2^i &= B_3^{i-1} (A_2^{i-1} + 2\tau_i) + B_2^{i-1}. \end{aligned} \quad (11)$$

Соотношения (10) и (11) задают линейные зависимости $C_3^{i-1}(C_3^i)$, $C_1^i(C_3^i)$ и $C_2^i(C_3^i)$.

Конечная парабола $D^{k-1}(\tau)$. К началу анализа для предыдущей параболы $D^{k-2}(\tau)$ известны зависимости:

$$\begin{aligned} C_1^{k-2} &= A_1^{k-2} C_3^{k-2} + B_1^{k-2}; \\ C_2^{k-2} &= A_2^{k-2} C_3^{k-2} + B_2^{k-2}. \end{aligned} \quad (12)$$

Из условий гладкости 2-й степени в узле $\tau = \tau_{k-1}$ для сплайнов $S_{i-1}(\tau)$ и $S_i(\tau)$ ($S_{k-1}'(\tau_{k-1}) = S_{k-2}'(\tau_{k-1})$; $S_{k-1}''(\tau_{k-1}) = S_{k-2}''(\tau_{k-1})$) получим:

$$\begin{aligned} C_1^{k-2} + C_2^{k-2} \tau_{k-1} + C_3^{k-2} \tau_{k-1}^2 &= \\ = C_1^{k-1} + C_2^{k-1} \tau_{k-1} + C_3^{k-1} \tau_{k-1}^2; \end{aligned}$$

$$C_2^{k-2} + 2C_3^{k-2} \tau_{k-1} = C_2^{k-1} + 2C_3^{k-1} \tau_{k-1}.$$

Аналогично умножаем обе части второго соотношения на $(-\tau_{k-2})$, складываем его с первым и получаем систему более простого вида:

$$C_1^{k-2} - C_3^{k-2} \tau_{k-1}^2 = C_1^{k-1} - C_3^{k-1} \tau_{k-1}^2;$$

$$C_2^{k-2} + 2C_3^{k-2} \tau_{k-1} = C_2^{k-1} + 2C_3^{k-1} \tau_{k-1}.$$

Подставим в уравнения системы зависимости (12):

$$\begin{aligned} (A_1^{k-2} - \tau_{k-1}^2) C_3^{k-2} + B_1^{k-2} &= \\ &= C_1^{k-1} - C_3^{k-1} \tau_{k-1}^2; \\ (A_2^{k-2} + 2\tau_{k-1}) C_3^{k-2} + B_2^{k-2} &= \\ &= C_2^{k-1} + 2C_3^{k-1} \tau_{k-1}. \end{aligned} \quad (13)$$

Аналогично из условий $S_{k-1}(\tau_{k-1}) = \varphi_{k-1}$; $S_{k-1}(\tau_k) = \varphi_k$ получим уравнение:

$$\begin{aligned} C_1^{k-1} + C_2^{k-1} (\tau_{k-1} + \tau_k)/2 + C_3^{k-1} (\tau_{k-1}^2 + \\ + \tau_{k-1} \tau_k + \tau_k^2)/3 = \Delta \varphi_{k-1} / \Delta \tau_{k-1}, \end{aligned} \quad (14)$$

где $\Delta \varphi_{k-1} = \varphi_k - \varphi_{k-1}$; $\Delta \tau_{k-1} = \tau_k - \tau_{k-1}$.

Дополнительно для данной параболы из второго краевого условия (2) получим ещё одно уравнение:

$$C_2^{k-1} + 2C_3^{k-1} \tau_k = 0. \quad (15)$$

Уравнения системы (13) – (15) содержат четыре неизвестных коэффициента: C_3^{k-2} ; C_1^{k-1} ; C_2^{k-1} ; C_3^{k-1} . Найдём их величины.

Выразим из выражения (15) $C_2^{k-1}(C_3^{k-1})$:

$$C_2^{k-1} = A_3^{k-1} C_3^{k-1} + B_3^{k-1},$$

$$\text{где } A_3^{k-1} = -2\tau_k; B_3^{k-1} = 0. \quad (16)$$

Полученное выражение подставим во второе выражение (13) и определим зависимость $C_3^{k-2}(C_3^{k-1})$:

$$\begin{aligned} (A_2^{k-2} + 2\tau_{k-1}) C_3^{k-2} + B_2^{k-2} &= -2C_3^{k-1} \tau_k + \\ + 2C_3^{k-1} \tau_{k-1}; C_3^{k-2} &= A_3^{k-2} C_3^{k-1} + B_3^{k-2}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{где } A_3^{k-2} &= -2\Delta \tau_{k-1} / (A_2^{k-2} + 2\tau_{k-1}); \\ B_3^{k-2} &= -B_2^{k-2} / (A_2^{k-2} + 2\tau_{k-1}). \end{aligned} \quad (17)$$

Подставляя данную зависимость в первое уравнение (13), найдём выражение для $C_1^{k-1}(C_3^{k-1})$:

$$\begin{aligned} (A_1^{k-2} - \tau_{k-1}^2) [-(2\Delta \tau_{k-1} C_3^{k-1} + B_2^{k-2}) / \\ / (A_2^{k-2} + 2\tau_{k-1})] + B_1^{k-2} = C_1^{k-1} - \\ - C_3^{k-1} \tau_{k-1}^2; C_1^{k-1} = A_1^{k-1} C_3^{k-1} + B_1^{k-1}, \end{aligned}$$

где $A_1^{k-1} = [-2\Delta \tau_{k-1} (A_1^{k-2} - \tau_{k-1}^2) / (A_2^{k-2} + 2\tau_{k-1}) + \tau_{k-1}^2]$;
 $B_1^{k-1} = B_2^{k-2} (A_1^{k-2} - \tau_{k-1}^2) / (A_2^{k-2} + 2\tau_{k-1}) + B_1^{k-2}$. (18)

Подставляя зависимости (16) и (18) в уравнение (14), определим выражение для коэффициента C_3^{k-1} :

$$\begin{aligned} [-2\Delta \tau_{k-1} (A_1^{k-2} - \tau_{k-1}^2) / (A_2^{k-2} + 2\tau_{k-1}) + \\ + \tau_{k-1}^2] C_3^{k-1} + B_2^{k-2} (A_1^{k-2} - \tau_{k-1}^2) / (A_2^{k-2} + \\ + 2\tau_{k-1}) + B_1^{k-2} - 2C_3^{k-1} \tau_k (\tau_{k-1} + \tau_k) / 2 + \\ + C_3^{k-1} (\tau_{k-1}^2 + \tau_{k-1} \tau_k + \tau_k^2) / 3 = \Delta \varphi_{k-1} / \Delta \tau_{k-1}; \\ C_3^{k-1} = [\Delta \varphi_{k-1} / \Delta \tau_{k-1} - B_2^{k-2} (A_1^{k-2} - \tau_{k-1}^2) / \\ / (A_2^{k-2} + 2\tau_{k-1}) - B_1^{k-2}] / [-2\Delta \tau_{k-1} (A_1^{k-2} - \\ - \tau_{k-1}^2) / (A_2^{k-2} + 2\tau_{k-1}) + \Delta \tau_{k-1}^2 / 3]. \end{aligned} \quad (19)$$

Таким образом, для конечной параболы величина коэффициента C_3^{k-1} определяется не зависимостью вида (4), а формулой (19).

Обратный ход. Заключается в расчёте коэффициентов квадратных парабол $D^i(\tau)$, $i = 0, \dots, k-1$ и выполняется в обратной последовательности.

Так как коэффициент C_3^{k-1} конечной параболы определяется по формуле (19), то для неё линейный и квадратный коэффициенты рассчитываются отдельно.

Все коэффициенты парабол $D^{k-2}(\tau) - D^0(\tau)$ определяются по формулам (4) с использованием рассчитанных на прямом ходу массивов коэффициентов $\{A_3^i\}$, $\{B_3^i\}$, $\{A_1^i\}$, $\{B_1^i\}$, $\{A_2^i\}$, $\{B_2^i\}$.

Расчётный алгоритм. Начальные данные: координаты точек $\bar{P}_i = (\varphi_i, \tau_i)$, $(i = 0, \dots, k)$, $\tau_0 = 0$.

Необходимо определить массивы коэффициентов $\{C_1^i\}$, $\{C_2^i\}$, $\{C_3^i\}$ набора сплайнов $\{S_i(\tau)\}$ ($i = 0, \dots, k-1$), обеспечивающих гладкость 2-й степени при краевых условиях: $S_0'(0) = 0$; $S_{k-1}''(\tau_k) = 0$.

Начальные действия. Введём вспомогательные массивы $\{A_3^i\}$, $\{B_3^i\}$, $\{A_1^i\}$, $\{B_1^i\}$, $\{A_2^i\}$, $\{B_2^i\}$, в которых номера элементов изменяются от 0 до $k-1$.

Шаг 1. Расчёт вспомогательных коэффициентов $A_1^0, B_1^0, A_2^0, B_2^0$ для начальной параболы:

$$A_1^0 = -\tau_1^2/3; \quad B_1^0 = \Delta\phi_0/\tau_1;$$

$$A_2^0 = B_2^0 = 0.$$

Шаг 2. Цикл по внутренним параболам ($i = 1, \dots, k-2$). Расчёт вспомогательных коэффициентов $A_1^i, B_1^i, A_2^i, B_2^i$ для внутренней параболы $D^i(\tau)$, а также коэффициентов A_3^{i-1}, B_3^{i-1} для параболы $D^{i-1}(\tau)$:

$$\Delta\tau_i = (\tau_{i+1} - \tau_i); \quad \Delta\phi_i = (\phi_{i+1} - \phi_i);$$

$$\Delta\tau_{icp} = (\tau_i + \tau_{i+1})/2;$$

$$\Delta AB_1 = A_1^{i-1} + A_2^{i-1}\Delta\tau_{icp} + \tau_i\tau_{i+1};$$

$$A_3^{i-1} = -\Delta\tau_i^2/(3\Delta AB_1);$$

$$B_3^{i-1} = (\Delta\phi_i / \Delta\tau_i - B_1^{i-1} - B_2^{i-1}\Delta\tau_{icp})/\Delta AB_1;$$

$$\Delta AB_1 = (A_1^{i-1} - \tau_i^2); \quad \Delta AB_2 = (A_2^{i-1} + 2\tau_i);$$

$$A_1^i = A_3^{i-1}\Delta AB_1 + \tau_i^2;$$

$$B_1^i = B_3^{i-1}\Delta AB_1 + B_1^{i-1};$$

$$A_2^i = A_3^{i-1}\Delta AB_2 - 2\tau_i;$$

$$B_2^i = B_3^{i-1}\Delta AB_2 + B_2^{i-1}.$$

Шаг 3. Расчёт коэффициентов $C_1^{k-1}, C_2^{k-1}, C_3^{k-1}$ конечной параболы ($i = k-1$):

$$\Delta\tau_{k-1} = (\tau_k - \tau_{k-1}); \quad \Delta\phi_{k-1} = (\phi_k - \phi_{k-1});$$

$$\Delta AB_1 = (A_1^{k-2} - \tau_{k-1}^2)/(A_2^{k-2} + 2\tau_{k-1});$$

$$C_3^{k-1} = [\Delta\phi_{k-1} / \Delta\tau_{k-1} - B_2^{k-2}\Delta AB_1 - \\ - B_1^{k-2}] / [-2\Delta\tau_{k-1}\Delta AB_1 + \Delta\tau_{k-1}^2/3];$$

$$C_2^{k-1} = -2\tau_k C_3^{k-1};$$

$$C_1^{k-1} = [-2\Delta\tau_{k-1}\Delta AB_1 + \tau_{k-1}^2] C_3^{k-1} + \\ + B_2^{k-2}\Delta AB_1 + B_1^{k-2}.$$

Шаг 4. Цикл по параболам с номерами $i = k-2, \dots, 0$. Расчёт их коэффициентов C_1^i, C_2^i, C_3^i :

$$C_3^i = A_3^i C_3^i + B_3^i; \quad C_1^i = A_1^i C_3^i + B_1^i;$$

$$C_2^i = A_2^i C_3^i + B_2^i.$$

Замечание. Если необходимо найти свободные коэффициенты сплайнов C_0^i (например, для визуализации формы получаемых сплайнов с целью проверки качества получаемых решений), то их проще определить по формуле:

$$C_0^i = \phi_i - C_1^i \tau_i - C_2^i \tau_i^2/2 - C_3^i \tau_i^3/3,$$

$$i = 0, \dots, k-1. \quad (20)$$

Заключение. Предложенный метод частичного расчёта коэффициентов интерполяционных кубических сплайнов требует выполнения существенно меньшего количества вычислительных операций по сравнению с традиционным методом, в котором применяются локальные кубические сплайны Эрмита и обычный метод прогонки. Это упрощает применение данного метода интерполяции в задачах управления движением.

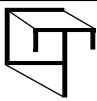
Библиографические ссылки

1. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. 632 с.

2. Гданский Н.И. Геометрическое моделирование и машинная графика. М.: МГУИЭ, 2003. 236 с.

Уважаемые читатели!

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



УДК 004.52

В.А. Смирнов (ООО «Спич Драйв», г. Санкт-Петербург), **М.Н. Гусев**, канд. техн. наук
(ФГУП «НИИ «Квант», г. Санкт-Петербург), **М.П. Фархадов**, д-р техн. наук
(Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва)

mais@ipu.ru

ФУНКЦИЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОРА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НЕСТРУКТУРИРОВАННОЙ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Поясняется назначение системы автоматического анализа неструктурированной речевой информации и описывается функция лингвистического процессора и его место в общей схеме автоматического анализа неструктурированной речевой информации. Раскрывается компонентный состав лингвистического процессора и даётся подробное описание работы каждого компонента. Приводится практический пример этапов работы лингвистического процессора.

Ключевые слова: лингвистический процессор, транскрибирование текстов, морфологические признаки, контекстные правила, автоматический анализ неструктурированной речевой информации.

The automatic analysis system setting of the unstructured speech information is explained and the linguistic processor function and its place in the automatic analysis general scheme of unstructured speech information is described. The linguistic processor component structure is opened and the each component work detailed description is adduced. The practical example of the linguistic processor operation stages is given.

Key words: linguistic processor, texts transcription, morphological signs, contextual rules, automatic analysis of the unstructured speech information.

Введение. Для эффективного решения задачи обработки речевой информации необходимо включить в систему компоненты, отвечающие за обработку и создание взаимосвязанных моделей разных уровней языка. Например, акустическое моделирование представляет собой модель фонетического уровня, а цифровая обработка сигналов — модель восприятия. Лингвистический процессор, или модуль автоматической обработки текста, предназначен для построения формального описания произвольных последовательностей предложений на определённом языке. Лингвистический процессор решает следующие основные задачи: нормализация текста, определение морфологических характеристик словоформ, разрешение омонимии, определение места словесного ударения, транскрибирование словоформ, определение места интонационного центра и типа интонации.

Обработку текста следует рассматривать как подраздел группы методов обработки естественного языка NLP (от англ. Natural Language Processing). Данная группа исследований охватывает множество направлений, таких как автоматический перевод текстов с языка на язык, системы

понимания текста и ведения диалога, автоматическое распознавание речи, распознавание текста, представленного в виде графического изображения и т. п. В современной науке выделяют два основных подхода к анализу естественного языка: глубокий (основанный на лингвистических знаниях) и поверхностный (основанный на методах машинного обучения). Первая группа методов основывается на создаваемых экспертами правилах и моделях порождения языковых явлений, вторая — на математических и статистических методах, позволяющих автоматически формировать правила с использованием обучающих корпусов лингвистических данных.

Представленное выше деление характерно и для лингвистического процессора. В настоящее время наибольшей популярностью пользуются статистические методы [1, 2]. Яркий пример использования статистических алгоритмов при обработке текста — это автоматическое определение частей речи [3]. Данные алгоритмы позволяют построить вероятностные модели на основе больших корпусов данных, содержащих ручную разметку, проведённую экспертами-лингвистами. Примерами таких корпусов являются Браунов-

ский корпус для английского языка [4] и Национальный корпус русского языка [5]. Благодаря подобным корпусам становится возможным обучение статистических контекстных правил, которые позволяют автоматически определять часть речи слов в зависимости от окружающих их словоформ и при этом принимать не «жёсткое» решение, а вероятностное. Наиболее распространённый метод основан на применении динамического программирования [6]. Статистические методы характеризуются высокой скоростью работы и достаточно высоким качеством производимого ими анализа. При этом их качество во многом зависит от объёма корпуса, используемого при обучении, а также варьируется от языка к языку.

Исторически первыми являются методы анализа, основанного на экспертных правилах. Подобные методы восходят к трансформационным (генеративным) грамматикам Н. Хомского [7]. Хомский предлагает анализировать текст путём последовательного выделения в выражении глубинной структуры — взаимосвязанных синтаксических единиц. В результате каждое предложение получает описание в виде дерева, «листьями» которого являются слова, а «ветвями» — элементы грамматики, например, NP (Noun Phrase — именная фраза) и VP (Verb Phrase — глагольная фраза). Ключевое отличие подобных систем от статистических состоит в том, что грамматические структуры создаются экспертами на основе их представления о структуре языка, в то время как статистические методы полностью игнорируют данные знания и основываются лишь на данных, извлекаемых из размеченного корпуса. При этом представительность корпуса и диапазон анализа определяют асимптоту по качеству и универсальности статистических методов. Разрабатываемые современными лингвистами методы глубинного анализа текста снимают эти ограничения, привнося, однако, при этом свою, в частности, вычислительную неэффективность. В настоящий момент интерес к экспертным системам сохраняется [8], а наибольших успехов добились исследователи направления HPSG (Head-driven phrase structure grammar — грамматическая структура высказывания, основанная на знаниях) [9]. Данный метод структурно включает в себя не только правила грамматики, но и словарь, содержащий, помимо собственно лексем, фонологическую, синтаксическую и семантическую информацию.

Описываемый в настоящей статье подход следует отнести именно к последней группе методик, поскольку в нём для анализа текста применяются структуры и модели, в основе которых лежат лингвистические знания. При этом важность роли статистических методов при создании

лингвистических процессоров не подвергается сомнению, и их будущее применение к данной системе рассматривается авторами как обязательный следующий шаг в развитии описываемого в настоящей статье функционала.

О системах анализа неструктурированной речевой информации. Система анализа неструктурированной речевой информации относится к классу систем интеллектуальной автоматизированной обработки неструктурированных данных. В настоящее время, когда поток информации становится чрезвычайно большим, подобные системы особенно востребованы, поскольку позволяют существенно сократить время обработки данных, а также предоставляют удобные аналитические инструменты, полезные при принятии управленческих решений в быстро развивающемся мире. Системы анализа неструктурированной речевой информации (далее — система АНРИ) получили широкое распространение в начале 21-го в. и используются десятками тысяч организаций по всему миру — в государственном и коммерческом секторе, колл-центрах, системах построения взаимоотношений с клиентами и службах безопасности. Поставщики данных систем — это в основном зарубежные компании (ср. www.nexidia.com и www.verint.com), при этом российские поставщики также предлагают ряд решений (ср. www.speechpro.ru и www.speech-drive.ru). Данный класс прикладных аналитических систем позволяет путём применения технологии распознавания речи обнаруживать ключевые слова и фразы в аудиозаписях переговоров и определять скрытые тенденции во взаимодействии с заказчиками, выявлять критические ситуации для бизнеса и государственных учреждений, контролировать качество обслуживания абонентов и т. п. Одно из основных преимуществ системы АНРИ — существенное снижение использования человеческого ресурса в механической и рутинной работе по анализу записей речевых данных. Ниже описан один из возможных вариантов использования системы.

Сотрудник организации, ответственный за обработку аудиозаписей, выбирает требующие анализа файлы. Для этого он использует специальное интерфейсное приложение. Одновременно с загрузкой файлов ответственный сотрудник при помощи клавиатуры задаёт ключевые слова для поиска в них. Например, «конкурент», «обманули», «личный интерес» и другие слова и словосочетания, которые требуется найти в обрабатываемых записях. В составе поисковых запросов может быть использован типовой для данной компании набор слов, либо каждый раз может использоваться новый набор. Система АНРИ принимает поисковый запрос и производит обработ-

ку звуковых файлов. В результате формируется индексный файл, и сотрудник получает возможность оперативно проанализировать обработанные данные.

Назначение лингвистического процессора. Основная задача лингвистического процессора (ЛП) в системах распознавания речи вообще и системе АНРИ в частности — обеспечивать перевод текста из орфографической формы записи в фонематическую. Среди вспомогательных функций ЛП можно назвать нормализацию текста, автоматическую генерацию форм слова.

С точки зрения решаемых при помощи ЛП задач в системе АНРИ можно выделить два основных направления: преобразование в последовательность фонем текстов, входящих в базы данных, используемые при акустическом моделировании и обучении верификатора, и преобразование в последовательность фонем слов и словосочетаний, вводимых пользователем при поиске ключевых слов в речевых данных. Первая задача несколько сложнее в силу того, что для акустического моделирования обычно используются записи целых предложений, т. е. синтаксически более сложных единиц, чем ключевые слова, однако ЛП включает в свой состав все необходимые блоки, помогающие ему эффективно решать данную задачу.

На рис. 1 представлена общая схема системы АНРИ и определены взаимосвязи ЛП с другими модулями и структурами данных.

Состав процессора. ЛП выполняет многоуровневую обработку текста слов и фраз. Это сложный программный комплекс со структурой, представленной на рис. 2. ЛП включает в себя: словарь, блок поиска словоформ, блок акцентуации словоформ, парсер, блок контекстного анализа, блок акцентно-интонационного транскриптора и лексикон.

Одна из самых важных задач лингвистического процессора — это определение места ударения в слове (подробнее об ударении см. [10]). Именно от места ударения зависит составляющая слово последовательность фонем, которая будет использоваться при акустическом моделировании и распознавании. Для определения места ударения в лингвистическом процессоре предусмотрены словарь, блок поиска и акцентуации.

Словарь представляет собой лингвистическую базу данных, позволяющую получить данные обо всех основных грамматических категориях слов (подробнее о грамматических категориях см. в работе [11]). В словаре для каждого слова определяется часть речной принадлежности, грамматические категории, положение ударения в зависимости от формы слова. Для каждой части речи используется свой набор признаков. Для существи-

тельных, прилагательных и количественных числительных — это число и падеж, для глаголов — число и лицо (для причастий указывается падеж), для числительных — падеж (для количественных), число и падеж (для порядковых). Для русского языка словарь может представлять собой в том или ином виде переработанный грамматический словарь русского языка А.А. Зализняка [12].

Блок поиска словоформ обеспечивает поиск словоформ в словаре и является интерфейсным модулем между словарём и остальными блоками лингвистического процессора.

Поиск словоформ в словаре осуществляется по следующим правилам:

словоформа ищется в исходном виде (т. е. такой, как встретилась в тексте после нормализации);

словоформа, содержащая прописные буквы, или полностью состоящая из них, перекодируется в строчные и ищется в словаре;

в словоформах, полностью состоящих из прописных букв (могут также встретиться дефис или апостроф), все буквы, кроме первой, перекодируются в строчные, после чего словоформа ищется в словаре;

словоформы, содержащие дефис и не найденные в словаре, разделяются на две части (до и после дефиса), которые ищутся в словаре как отдельные словоформы. Если обе части найдены, они считаются отдельными словоформами, а дефис между ними — знаком препинания.

Блок акцентуации предназначен для расстановки ударений в словоформах. При этом словоформы подразделяются на три класса:

словоформы, для которых есть словарная статья или статьи. Акцентуация опознанных словоформ выполняется по следующим правилам: определяется, к какой словарной статье относится словоформа (если статей несколько, в дальнейшем анализируются все гипотезы), определяется точная форма слова в соответствии со словоизменительной парадигмой, сохраняется место ударения в словоформе для передачи последующим блокам;

неопознанные словоформы. Для неопознанных словоформ применяется один из двух вариантов обработки: ударения выставляются на средний слог в словоформе, или каждый слог считается ударным;

исключения. Обработка исключений проводится согласно спискам исключений, и результат поиска по словарю для акцентуации не применяется.

Блок парсинга отвечает за лингвистическую обработку текста, для чего он обращается к различным компонентам ЛП. В настоящей статье опи-

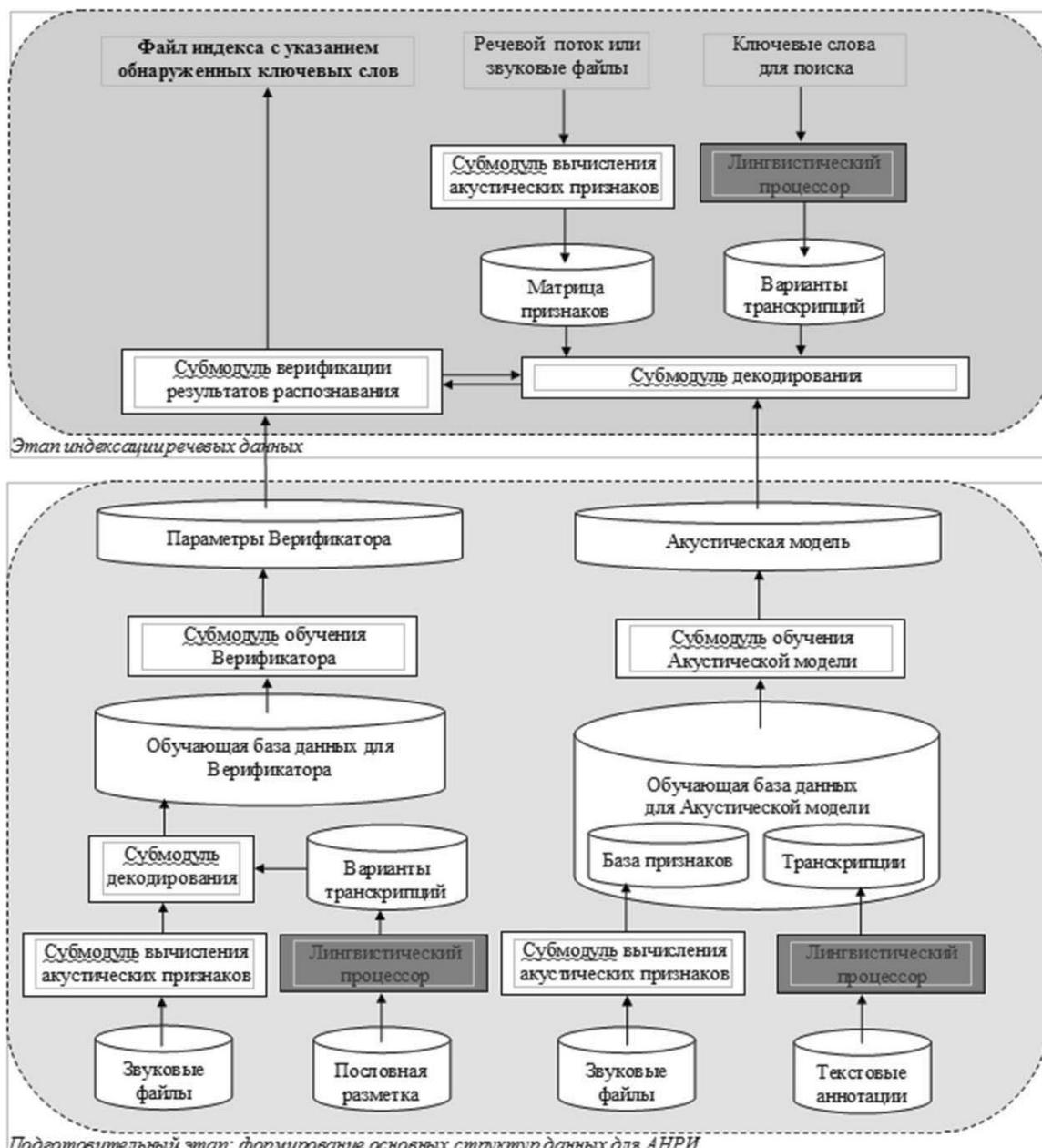


Рис. 1. Структура системы автоматического анализа речевой информации и функция лингвистического процессора

сыается парсер, целиком и полностью основанный на лингвистических знаниях и не использующий каких-либо статистических методов. Описание статистических парсеров см. в работах [13, 14]. Преимущество парсера, основанного на знаниях, в том, что для него не требуется подготовка обучающих данных и разработка средств машинного обучения. Отрицательной стороной такого парсера являются возможные затруднения при «портировании» его для обработки других языков.

На первом этапе работы парсера в него загружаются тексты. Предполагается, что тексты не

содержат пунктуации, что в них отсутствуют орфографические ошибки и что они не содержат символов, отличных от букв русского языка. Тем не менее, если подобные символы будут в текстах, тексты будут подвергнуты дополнительной процедуре нормализации, встроенной в блок парсинга (см. ниже).

Нормализованные тексты разбиваются на словоформы – цепочки знаков расширенного алфавита, разделённые цепочками иных знаков. Расширенный алфавит включает в себя знаки кириллицы, апостроф и дефис (вместе – обычные русские алфавитные знаки), слэш («дробь»), латин-

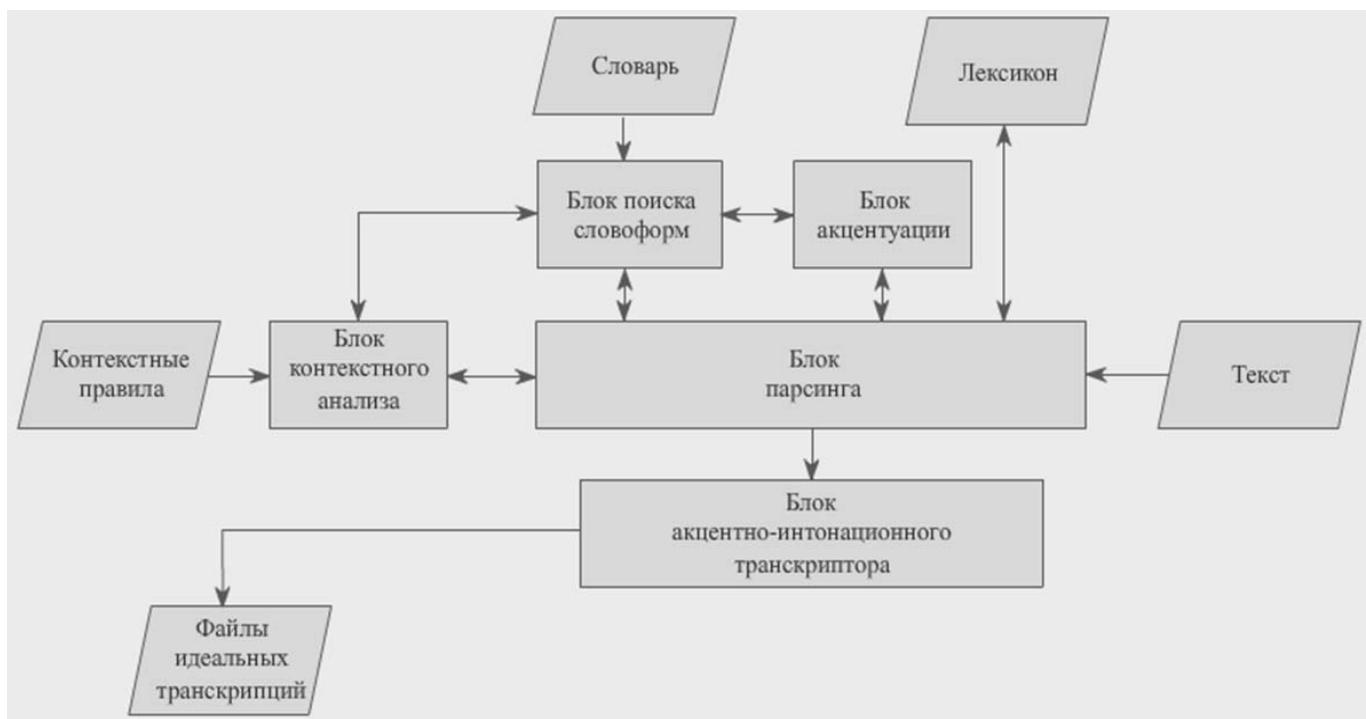


Рис. 2. Структура лингвистического процессора

ские буквы, десятичные цифры, условные знаки основного и дополнительного ударения, точку как часть сокращения. Выделяются следующие категории словоформ:

- обычные словоформы;
- сокращения (с точкой, со слэшем и иными не-алфавитными знаками);
- цифровые образования;
- буквенно-цифровые образования;
- словоформы, полностью написанные латиницей;
- словоформы, в которых присутствуют как латинские, так и русские буквы;
- словоформы, в которых присутствует смесь кириллицы, латиницы и цифр.

Для словоформ, не являющихся обычными, вызываются специальные процедуры обработки, приводящие их к обычному виду.

При обработке текста парсер также обращается к лексиону и проверяет наличие словоформ в этой структуре данных. В случае если для анализируемой словоформы лексикон содержит соответствующий элемент, то его значение сохраняется парсером для дальнейшей передачи другим блокам (например, указание на особое место ударения в словоформе передаётся, минуя блок акцентуации, акцентно-интонационному транскриптору, а указание нестандартной транскрипции – минуя акцентно-интонационный транскриптор – напрямую в файл идеальных транскрипций). После этого все остальные словофор-

мы ищутся в словаре и проходят процедуру акцентуации.

Затем парсер обращается к блоку контекстного анализа, выполняющему контекстный анализ текста для снятия омонимии (неоднозначности результатов поиска, см. в работе [14]). В результате контекстного анализа во всех словоформах расставляются маркеры словесных ударений, и производится упрощение орфографии в сложных для транскрибирования случаях. Далее определяются места расстановки пауз – предложение разбивается на синтагмы (интонационные единицы), для каждой синтагмы определяется её интонационный тип, а также места постановки фразового и логического ударения, и установка соответствующих маркеров, анализируемых Блоком акцентно-интонационного транскриптора.

Основная задача контекстного анализа – разрешить случаи ономографии, т. е. определить, какая именно словарная статья соответствует анализируемой Словоформе. Результатом разрешения ономографии является определение морфологической категории Словоформы.

Работа Блока контекстного анализа основана на библиотеке контекстных правил. Контекстные правила записываются на специально разработанном формальном языке, позволяющем записывать контекстные правила, опирающиеся на морфологические данные, хранящиеся в словаре. Контекстный анализ включает интерпретатор правил,

что позволяет корректировать работу системы без внесения изменений в программный код.

Обработка словоформ каждого предложения осуществляется в несколько проходов. Каждый проход также является правилом, объединяющим в себе список других, более простых правил. В зависимости от направления просмотра словоформ предложения различаются прямой (от начала к концу) и обратный (от конца к началу) проходы.

После каждого прохода проверяется три условия, определяющие дальнейшую последовательность обработки:

если в результате прохода предложения разрешены все случаи омографии, дальнейшие проходы не должны выполняться;

если в результате прохода не было применено ни одно правило, следует перейти к следующему проходу;

если задан параметр, и в результате прохода предложения разрешён хотя бы один случай омографии, то проход повторяется.

Предусмотрено пять категорий правил:

разрешения омографии;

обработки буквенно-цифровых написаний числовых;

расстановки фразовых и логических ударений; паузации;

определения интонационного типа.

Правила позволяют задавать и проверять условия, определять и выполнять последовательности действий. Предусмотрена возможность использования констант, переменных, типов данных, функций и процедур как определяемых пользователем, так и предопределённых в системе.

Каждая размеченная синтагма (подробнее о синтагмах см. в работе [15]) поступает на вход акцентно-интонационного транскриптора – компонента, переводящего текст из орфографической формы записи в фонематическую транскрипцию, а также формирующего её просодический образ. Соответственно, блок состоит из двух компонент: субблок транскриптора и субблок формирования просодики.

Субблок транскриптора осуществляет транскрибирование входной строки-синтагмы русского текста, состоящей из строчных символов русских букв и специальных знаков (ударения, знаки в словах-исключениях, в местах микропауз) и формирования входных данных для модуля просодики.

Субблок формирования просодики рассчитывает физические характеристики аллофонов, составляющих синтагму, на основе информации об ударениях различных типов и интонационном типе синтагмы.

Транскрибирование осуществляется по ряду правил, которые могут быть представлены в удо-

бочитаемом виде в виде таблиц. Для примера приведём таблицу правил транскрибирования для буквы «а».

Дополнительно в субблоке транскриптора предусмотрен режим «микропауз», при котором каждое слово, входящее в синтагму, обрабатывается отдельно, как если бы оно было окружено паузами, и в транскрипцию включается дополнительный символ микропаузы. В стандартном режиме работы транскриптор сформирует транскрипцию текста с учётом взаимовлияния соседних слов (подробнее об этих фонетических явлениях см. в работе [16]). Например, сочетание «ваш друг» получит транскрипцию «v a zh d r u k», в то время как в режиме микропауз транскрипция будет «v ash dru k».

Лексикон – это создаваемая вручную экспертом структура, элементы которой описывают варианты замены одной орфографической формы слова на другую, определяют место основного и второстепенного ударения или транскрипцию. Наличие лексикона необязательно для системы, в которой есть словарь, при этом для ряда систем лексикон является, по сути, единственной (а значит, и необходимой) структурой в лингвистическом процессоре, доступной для транскриптора.

Элементы лексикона, определяющие варианты замены одной орфографической формы слова на другую, а также место основного и второстепенного ударения, полезны тем, что позволяют оперативно поправить ситуацию для словоформ, не включённых в словарь и обрабатываемых системой распознавания с недостаточным качеством. Такие элементы могут быть созданы даже наивным пользователем, так как не требуют знаний фонетики. Например, если слово «Автодозвон» не включено в словарь, то оно может получить неверную транскрипцию (без вспомогательного ударения на первом слоге). Пользователь может вручную указать данное ударение. Также лексикон обеспечивает возможность задавать списки замен для сложных случаев, не подпадающих под общие правила нормализации текста, реализованные в парсере. Например, название компании McDonalds стандартные процедуры нормализации преобразуют в «эм цэ доналдс», в то время как правильным было бы подставить последовательность «мак доналдс». Аббревиатуры обычно задаются в лексиконе.

Лексикон также позволяет указать не только место ударения или корректную транслитерацию, но и вручную определить транскрипцию. Именно такие лексиконы обычно используются в системах распознавания речи с открытым исходным кодом. Указание транскрипции вручную требует специальных знаний и должно производиться аккуратно, поскольку неверная транскрипция может привести к ухудшению качества распознавания.

Правила транскрибирования буквы «а»

Позиция в слове относительно ударения	Позиция относительно соседних знаков	Транскрипция	Пример
Под ударением	После пробела	A0/a0	а'рка → [a0]рка
	После согласных, кроме ч, щ		бра'т → бр[a0]т
	После гласных		коа'ла → ко[a0]ла
	После согласных ч, щ		часто → ч[A0]сто
Перед ударным слогом	После пробела	A1/a1	мать Антона – мать [A1]нтона, мяч Антона – мяч [A1]нтона
1-й гласный перед ударным слогом	После согласных, кроме ч, щ		вагон – в[a1]гон
	После гласных		по-армейски – по[a1]рмейски
Не 1-й гласный перед ударным слогом	После согласных, кроме ч, щ	A2/a2	карандаш – к[a2]рандаш
	После гласных		по-американски – по[a2]мерикански
Заударный слог	После согласных	A4/a4	марка – марк[a4]
	После гласных		
Предударный слог	После ч, щ	I1/i1	часы – ч[i1]сы
Заударный слог	После ч, щ не перед пробелом	I4/i4	площадь – площ[i4]дь

Иллюстративный пример этапов работы ЛП.
Ниже приводится пример пошаговой работы ЛП, получающего на входе текст, а на выходе выдающий его транскрипцию.

Исходный текст:

Принцесса Брахтанатва Мамиджи, представьте, живет в замке Tiber.

1. Парсер выделяет словоформы:

[Принцесса], [Брахтанатва], [Мамиджи], [представьте], [живет], [в], [замке], [Tiber],

знаки пунктуации сохраняются для дальнейшей расстановки пауз между синтагмами в блоке акцентно-интонационного транскриптора.

2. Парсер проверяет словоформы на вхождение в лексикон: в него входят словоформы [Брахтанатва] и [Tiber].

Для словоформы [Брахтанатва] есть вхождение с указанием ударения:

Брахтанатва Брахтан>атва.

Данная словоформа не передаётся блоку поиска и блоку акцентуации, а сразу будет передана в блок акцентно-интонационного транскриптора.

Для словоформы [Tiber] есть вхождение в Лексикон с указанием транскрипции:

Tiber t' i b' i1 r.

Данная словоформа не передаётся блоку поиска и блоку акцентуации, она без изменений пере-

даётся через акцентно-интонационный транскриптор в файл идеальных транскрипций.

3. Для словоформ, не входящих в лексикон, парсер обращается к блоку поиска для получения морфологической информации. Блок поиска обращается к словарю и возвращает парсеру следующую структуру данных:

[Принцесса] – существительное «принцесса», единственное число, именительный падеж

[Мамиджи] – не обнаружено

[представьте] – глагол «представить», повелительное наклонение, множественное число

[живет] – глагол «жить», настоящее время, единственное число, третье лицо

[в] – предлог

[замке] – существительное «замок (здание)», единственное число, предложный падеж

[замке] – существительное «замок (на дверь)», единственное число, предложный падеж.

4. Словоформы, для которых в словаре было обнаружено несколько вхождений, передаются блоку контекстного анализа для разрешения омографии. Применяются особые правила в зависимости от того, какая словоформа анализируется. Все омографы задаются списком, и для каждого из них есть свой набор правил. При проверке правил блок контекстного анализа по мере необходимости обращается к словарю через блок по-

иска для получения морфологической информации о других словоформах, окружающих анализируемую (контекст).

Для словоформы [замка] применяется правило «Если в радиусе трех слов есть глаголы движения или существования, выбрать словоформу “замок (здание)”, иначе выбрать словоформу “замок (от двери)».

5. После того, как определены все словоформы и разрешена омография парсер обращается к блоку акцентуации, передавая в него структуры данных, полученные на этапе 3.

6. Блок акцентуации через блок поиска обращается к словарю, получая от него (уже из другой части структуры данных в словаре) указание на место ударного гласного в словоформе.

В результате парсер получает от блока акцентуации данные вида:

[Принцесса] - принц>есса
 [представьте] - предст>авьте
 [живет] - жив>ёт
 [в] - в
 [замке] — з>амке,

где знак > отмечает ударный гласный.

7. Для словоформ, не обнаруженных в словаре, акцентуация производится по заранее определённому правилу (например, с ударением на все гласные):

Мамиджи M>>ам>>идж>и.

8. Вместе с ранее сохранёнными ударениями для словоформ Брахтантва и Tiber все остальные словоформы передаются в блок акцентно-intonационного транскриптора. Транскриптор переводит словоформы из буквенной формы в фонематическую в соответствии с правилами и сохраняет их в файлы идеальных транскрипций. Учитываются не только ударения и внутрисловные позиции букв относительно друг друга, но и межсловные границы. Для расстановки границ между синтагмами анализируются знаки препинания:

Принц>есса Брахтант>атва M>>ам>>идж>и, предст>авьте, жив>ёт в з>амке t' i b' i1 r.

p r' i1 n c e s @ b r @ h t a l n a t v @ m a m' i d zh y pause p r' i1 c t a f' t' i1 pause zh y v' o t v z a m' i1 t' i b' i1 r.

Заключение. Рассмотрен лингвистический процессор как компонент системы автоматического анализа неструктурированной речевой информации. Рассмотрены основные блоки ЛП, их работа проиллюстрирована примером. Главный плюс описанного варианта реализации ЛП состоит в объединении нескольких источников лингвистических знаний в единое решение: морфологиче-

ская информация, контекстные правила разрешения омографии, позиционные правила перевода букв в фонемы и т. п.

Глоссарий:

Словоформа — слово в конкретной форме (падеж, число, время и т. п.).

Реализация — единичное произнесение ключевого слова.

Фонемы — звуки речи, из которых формируется звуковой образ словоформы.

Синтагма — фонетическое единство, выражающее единое смысловое целое в процессе речи-мысли и могущее состоять как из одной ритмической группы, так и из целого ряда групп.

Транскрипция — последовательность графических символов, обозначающих фонемы.

Транскрибирование текстов — перевод текстов из последовательности букв, специальных символов и цифр в транскрипции.

Транскриптор — программный компонент, осуществляющий автоматическое Транскрибирование текстов на определённом языке путём применения заранее заданных правил к текстам.

Словарь транскрипций — генерируемая транскриптором структура, элементы которой описывают транскрипции, соответствующие словоформе.

Словарь — это лингвистическая база данных, позволяющая получить данные обо всех основных грамматических категориях слов.

Лексикон — созданная вручную экспертом структура с транскрипциями словоформ. Может использоваться транскриптором наряду со словарём при формировании словаря транскрипций.

Акцентуация — простановка словесного ударения (определение местоположения ударного гласного в слове).

Словоизменительная парадигма — структура, однозначным образом определяющая правила генерации всех форм определённого слова. Включает указание основы слова, окончаний для всех его форм и место ударения в каждой из этих форм.

Омография — явление в языке, когда два разных слова пишутся одинаково. Например, замок и замок, пяток и пяток.

Акустическое моделирование — процесс создания статистического описания звуков речи.

Библиографические ссылки

1. Christopher D. Manning, Hinrich Schütze. Foundations of Statistical Natural Language Processing. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England. 1999. 704 p.

2. Jelinek F. Statistical Methods for Speech Recognition. The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England. 1998. 283 p.

3. **Eugene Charniak.** Statistical Techniques for Natural Language Parsing // Artificial Intelligence Magazine // AAAI Press/MIT Press, Menlo Park, 1997. Vol. 18. № 4. P. 33–44.
4. **Francis W.N., Kucera H.** Brown Corpus Manual, Rhode Island MANUAL OF INFORMATION to accompany A Standard Corpus of Present-Day Edited American English, for use with Digital Computers. University Providence, Rhode Island Department of Linguistics Brown University. 1964. Revised 1971. Revised and Amplified 1979. ICAME News, № 2, Bergen. March 1979, P. 9–12.
5. **Национальный** корпус русского языка: 2006–2008. Новые результаты и перспективы [отв. ред. В.А. Плунгян]. СПб.: Нестор-История, 2009. 502 с.
6. **Steven J. DeRose.** Grammatical category disambiguation by statistical optimization // Computational Linguistics. 1988. Vol. 14. № 1. P. 31–39.
7. **Noam Chomsky.** Syntactic Structures. Mouton de Gruyter (formerly Mouton, The Hague). Mouton, New York, 1957, 2002 by Walter de Gruyter Co. KG. Berlin. 117 p.
8. **Hans Uszkoreit.** New Chances for Deep Linguistic Processing. In Proceedings of the 19th International Conference on Computational Linguistics, Taipei. Taiwan. 2002. P. 14–27.
9. **Carl Pollard and Ivan A. Sag.** Head-driven phrase structure grammar. Chicago: The University of Chicago Press. Chicago. 1994. 454 p.
10. **Современный** русский язык: Теория. Анализ языковых единиц / Е.И. Диброва, Л.Л. Касаткин, Н.А. Николина, И.И. Щеболева: учебник для студентов высших учебных заведений. В 2-х ч. Ч.1: Фонетика и орфоэпия. Графика и орфография. Лексикология. Фразеология. Лексикография. Морфемика. Словообразование [под ред. Е.И. Дибровой]. М.: Academia, 2008. 480 с.
11. **Бондарко А.В.** Теория морфологических категорий. Л.: Наука, 1976. 255 с.
12. **Зализняк А.А.** «Русское именное словоизменение» с приложением избранных работ по современному русскому языку и общему языкоznанию. М.: Языки славянской культуры, 2002. 752 с.
13. **Schmid Helmut.** Probabilistic Part-of-Speech Tagging Using Decision Trees // Proceedings of the International Conference on New Methods in Language Processing. Manchester. UK. 1994. Vol. 12. № 4. P. 44–49.
14. **Joakim Nivre** et al. Maltparser: A language-independent system for data-driven dependency parsing // Natural Language Engineering. Cambridge University Press. UK. 2007. Vol. 13. № 2. P. 95–135.
15. **Щерба Л.В.** Фонетика французского языка. 7-е изд. М.: Высш. шк., 1963. 308 с.
16. **Кодзасов С.В., Кривнова О.Ф.** Общая фонетика. М.: РГГУ, 2001. 592 с.



ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ В УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Е.И. Тавер

2012 г. Объем 368 с. Формат 60x88 1/16 ISBN 978-5-94275-666-6 Цена 600 р.



Качество товаров рассмотрено, с одной стороны, как важнейший результат производственной деятельности, а с другой — как особый объект управления. При этом состав, нормативные и физические значения показателей качества товара и факторов, от которых оно зависит, являются конечным объектом управления. Даны субъекты управления качеством, универсальные подходы к нему, измерения, оценки, подтверждение соответствия и контроль качества, правовые основы, стандарты и модели управления качеством. Исходя из этого, проведен анализ задач и методов управления качеством при маркетинге, проектировании, производстве и использовании товара, а также затрат на качество.

Допущено УМО по образованию в области прикладной математики и управления качеством в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 220501 – Управление качеством и направлению 221400 – Управление качеством.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 510.52

В.А. Головешкин, д-р техн. наук, проф., **А.В. Пономарёв**, канд. физ.-мат. наук, доц.
 (Московский государственный университет приборостроения и информатики), **М.В. Ульянов**,
 д-р техн. наук, проф. (Московский государственный университет печати им. Ивана Фёдорова)

muIjanov@mail.ru

О ВОЗМОЖНОМ МАТРИЧНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ОДНОГО НЕЛИНЕЙНОГО РЕКУРРЕНТНОГО СООТНОШЕНИЯ

Рассматривается аналитическое решение одного нелинейного рекуррентного соотношения с квадратичной аддитивной функцией. В целом такие рекуррентные соотношения характерны для функций трудоёмкости рекурсивных алгоритмов, разработанных методом декомпозиции. Квадратичная аддитивная функция возникает в рекурсивных алгоритмах, реализующих матричные операции, в частности в известном алгоритме умножения матриц по Штрассену. Для такого нелинейного рекуррентного соотношения предложено матричное представление аналитического решения, которое имеет определённый теоретический интерес.

Ключевые слова: рекурсивный алгоритм, функция трудоёмкости, метод декомпозиции.

One nonlinear recurrent analytical solution ratio with quadratic additive function is considered. As a whole such recurrent ratios are characteristic for the recursive algorithms laboriousness functions developed by means of decomposition method. Quadratic additive function arises in the recursive algorithms realizing matrix operations, in particular in known matrixes multiplication algorithm according to Shtrassen. Analytical decision matrix presentation that has a certain theoretical interest for such nonlinear recurrent ratio is proposed.

Key words: recursive algorithm, laboriousness function, decomposition method.

Введение. Ресурсный анализ рекурсивных алгоритмов предполагает получение аналитических решений для функций трудоёмкости алгоритмов или оценок этих функций на основе теоретического анализа. Практический интерес к этой задаче порождается необходимостью исследования класса рекурсивных алгоритмов, разработанных методом декомпозиции. Основная идея метода декомпозиции состоит в сведении исходной задачи к решению ряда более простых задач с понижением их размерности [1, 2] и последующим объединением полученных решений, что приводит к алгоритмам, имеющим рекурсивную структуру, и описанию функции трудоёмкости в виде рекуррентного соотношения [1].

Формально: пусть n — размерность решаемой задачи, функция $d(n)$ описывает трудоёмкость фрагмента алгоритма, выполняющего декомпозицию задачи, а функция $U(n)$ — трудоёмкость фрагмента алгоритма, объединяющего полученные решения. При этом на шаге останова рекурсии для некоторой малой размерности задачи, т. е. при $0 \leq n \leq n_0$, возможно её прямое (не рекурсивное) решение с трудоёмкостью $h(n)$, $0 \leq n \leq n_0$, а собственно рекурсия состоит в таком разделении задачи, которое приводит к необходимости решения C подзадач размерностью n/k . Размерность решаемой задачи должна, очевидно, быть целой, следовательно, вместо значения n/k в качестве аргумента функции должна фигурировать целая

часть частного с округлением вниз или вверх, т. е. $\lfloor n/k \rfloor$ или $\lceil n/k \rceil$, что существенно осложняет получение аналитического решения. Вводя обозначение $g(n) = d(n) + U(n)$, приходим к следующему рекуррентному соотношению на трудоёмкость:

$$\begin{cases} f_A(n) = h(n), & 0 \leq n \leq n_0; \\ f_A(n) = C f_A(\lfloor n/k \rfloor) + g(n), & n > n_0, \end{cases} \quad (1)$$

где через $\lfloor \cdot \rfloor$ мы обозначаем $\lfloor \cdot \rfloor$ или $\lceil \cdot \rceil$. Функция $g(n)$ называется аддитивной функцией рекуррентного соотношения.

Оценка асимптотического поведения функции трудоёмкости, заданного соотношением (1), может быть получена на основе известной теоремы о рекуррентных соотношениях (J.L. Bentley, D. Haken, J.B. Saxe, 1980 [3]). Для функций $g(n)$ определённого вида могут быть получены не только асимптотические оценки, но и точные аналитические решения. Ряд результатов в этом направлении получен авторами статьи в работах [4, 5], в частности в работе [5] были получены аналитические решения для функции $g(n)$ степенного вида. Рассмотрение частного случая (1) — случая с квадратичной аддитивной функцией — показало, что аналитическое решение может быть представлено в матричной форме. Изложению этого результата и посвящена настоящая статья.

Постановка задачи. Рассмотрим нелинейное рекуррентное соотношение вида (1) с квадратичной аддитивной функцией $g(n) = An^2$. Поскольку множество полиномов замкнуто относительно сложения и умножения, то, не теряя общности, мы можем рассматривать $g(n) = n^2$. В дальнейшем функцию трудоёмкости алгоритма будем обозначать через f . Рассмотрим далее размерности вида $\lfloor n/k \rfloor$ при значениях $C \geq 2$, $k \geq 2$, $n_0 = 0$, $h(0) = \alpha$. В этой постановке аналитическое решение получено в работе [5], а задача настоящей статьи состоит в том, чтобы показать, что для аналитического решения рекуррентного соотношения

$$\begin{cases} f(0) = \alpha, n=0; \\ f(n) = C f(\lfloor n/k \rfloor) + n^2, \quad n > 0 \end{cases} \quad (2)$$

возможно получение специального матричного представления, которое, по мнению авторов, имеет определённый теоретический интерес.

Отметим, что соотношения типа (2) характерны для функций трудоёмкости алгоритмов, реализующих матричные операции, например для алгоритма умножения матриц, предложенного В. Штрассеном в 1969 г. [6]. Рекуррентное соотношение, описывающее трудоёмкость этого алгоритма (при $n=2^k$), имеет следующий вид:

$$f(n) = 7f(n/2) + An^2.$$

Матричное представление аналитического решения. Первоначально будем использовать подход, предложенный в работах [4, 5], а именно введём в рассмотрение специальное представление числа n по степеням k :

$$\begin{aligned} n &= b_m k^m + b_{m-1} k^{m-1} + \dots + b_1 k + b_0 = \\ &= \sum_{i=0}^m b_i k^i, \quad m = \lfloor \log_k n \rfloor, \quad m \geq 1, \end{aligned} \quad (3)$$

где $b_m : 0 < b_m < k$, $b_i : 0 \leq b_i < k$, $i = \overline{0, m-1}$ – цифры в системе счисления по основанию k .

Подставим полученное представление (3) в рекуррентное соотношение (2), а именно в основное соотношение: $f(n) = C f(\lfloor n/k \rfloor) + n^2$. Имеем:

$$\begin{aligned} f\left(\sum_{i=0}^m b_i k^i\right) &= C f\left(\sum_{i=1}^m b_i k^{i-1}\right) + \left(\sum_{i=0}^m b_i k^i\right)^2 = \\ &= C^2 f\left(\sum_{i=2}^m b_i k^{i-2}\right) + C\left(\sum_{i=1}^m b_i k^{i-1}\right)^2 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ \left(\sum_{i=0}^m b_i k^i\right)^2 = C^3 f\left(\sum_{i=3}^m b_i k^{i-3}\right) + \\ &+ C^2 \left(\sum_{i=2}^m b_i k^{i-2}\right)^2 + C \left(\sum_{i=1}^m b_i k^{i-1}\right)^2 + \\ &+ \left(\sum_{i=0}^m b_i k^i\right)^2 = \sum_{j=0}^m C^j \left(\sum_{i=j}^m (b_i k^{i-j})^2\right) + \\ &+ C^{m+1} \alpha. \end{aligned} \quad (4)$$

Заметим, что основной компонент решения – выражение

$$S(b_0, b_1, \dots, b_m) = \sum_{j=0}^m C^j \left(\sum_{i=j}^m b_i k^{i-j}\right)^2 \quad (5)$$

является квадратичной формой относительно элементов b_i , $0 \leq i \leq m$, $b_m \neq 0$ – цифр представления числа n по степеням k в соответствии с (3).

Введём в рассмотрение представление некоторой квадратичной формы $(a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n)^2$ в виде произведения векторов. Обозначим через \mathbf{A} вектор столбец коэффициентов, тогда вектор строки \mathbf{A}^T имеет вид: (a_1, a_2, \dots, a_n) . Аналогично введём вектор столбец неизвестных \mathbf{X} и его транспонированное представление – вектор строку \mathbf{X}^T : (x_1, x_2, \dots, x_n) . В этих обозначениях

$$(a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n)^2 = \mathbf{A}^T \mathbf{X} = \mathbf{X}^T \mathbf{A},$$

следовательно, квадратичная форма представима в виде

$$(a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n)^2 = \mathbf{X}^T \mathbf{A} \mathbf{A}^T \mathbf{X} = \mathbf{X}^T \mathbf{D} \mathbf{X},$$

при этом $\mathbf{D} = \mathbf{A} \mathbf{A}^T$ есть матрица, как результат умножения столбца на строку, её размерность равна $n \times n$, а элементы этой матрицы имеют вид: $d_{ij} = a_i a_j$.

Для матричного представления квадратичной формы (5) введём специальный вектор столбец \mathbf{A}_j размерности $m+1$, $\mathbf{A}_j^T = (a_{0j}, a_{1j}, \dots, a_{mj})$, компоненты a_{ij} которого определены следующим образом:

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, & i < j, \\ k^{i-j}, & j \leq i \leq m. \end{cases} \quad (6)$$

Матрицу, получаемую при произведении $\mathbf{A}_j \mathbf{A}_j^T$ обозначим через \mathbf{D}_j , её размерность равна $(m+1) \times (m+1)$; введём вектор столбец \mathbf{B} :

$\mathbf{B}^T = (b_0, b_1, \dots, b_m)$. В указанных обозначениях мы получаем следующее матричное представление для основного компонента аналитического решения рекуррентного соотношения (2)

$$\begin{aligned} S(b_0, b_1, \dots, b_m) &= \sum_{j=0}^m C^j \left(\sum_{i=j}^m b_i k^{i-j} \right)^2 = \\ &= \sum_{j=0}^m C^j (\mathbf{B}^T \mathbf{D}_j \mathbf{B}) = \mathbf{B}^T \left(\sum_{j=0}^m C^j \mathbf{D}_j \right) \mathbf{B} = \\ &= \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B}. \end{aligned} \quad (7)$$

Отметим, что в выражении (7) матрица \mathbf{D} есть сумма матриц \mathbf{D}_j с коэффициентами C^j :

$$\mathbf{D} = \sum_{j=0}^m (C^j \mathbf{D}_j). \quad (8)$$

Вид элементов матрицы \mathbf{D} . Получим явные выражения для элементов матрицы \mathbf{D} , отметив при этом, что общий вид диагональных и недиагональных элементов различен, и указав, что в силу (6), вектор столбец \mathbf{A}_j размерности $m+1$, образующий матрицу $\mathbf{D}_j = \mathbf{A}_j \mathbf{A}_j^T$, имеет нулевые элементы.

Для диагональных элементов d_{ss} матрицы \mathbf{D} в силу (6) и (8) получаем:

$$\begin{aligned} d_{ss} &= \sum_{i=0}^m C^i (a_{si} a_{si}) = \sum_{i=0}^s C^i (a_{si} a_{si}) = \\ &= \sum_{i=0}^s C^i (k^{2s-2i}) = k^{2s} \sum_{i=0}^s \frac{C^i}{k^{2i}}. \end{aligned} \quad (9)$$

При этом в (9) возникают два случая, связанные с соотношением между C и k^2 , которые мы рассмотрим отдельно:

1. Случай $k^2 \neq C$. В этих условиях мы можем вычислить последнюю сумму в (9) как частичную сумму геометрической прогрессии:

$$d_{ss} = k^{2s} \sum_{i=0}^s \frac{C^i}{k^{2i}} = k^{2s} \frac{1 - \left(\frac{C}{k^2}\right)^{s+1}}{1 - \frac{C}{k^2}} = \frac{k^{2(s+1)} - C^{s+1}}{k^2 - C}.$$

2. Случай $k^2 = C$. При этом отношение внутри суммы в (9) равно 1, а сама сумма равна $s+1$:

$$d_{ss} = k^{2s} \sum_{i=0}^s \frac{C^i}{k^{2i}} = (s+1)k^{2s}.$$

Для элементов d_{st} матрицы \mathbf{D} , лежащих ниже главной диагонали, т. е. при $s > t$ в силу (6) и (8) имеем:

$$\begin{aligned} d_{st} &= \sum_{i=0}^m C^i (a_{si} a_{ti}) = \sum_{i=0}^t C^i (a_{si} a_{ti}) = \\ &= \sum_{i=0}^t C^i (k^{s-i} k^{t-i}) = k^{s+t} \sum_{i=0}^t \frac{C^i}{k^{2i}}. \end{aligned} \quad (10)$$

При этом в (10) аналогично d_{ss} возникают два случая, а именно:

1. Случай $k^2 \neq C$. Это неравенство позволяет вычислить последнюю сумму в (10) как частичную сумму геометрической прогрессии:

$$\begin{aligned} d_{st} &= k^{s+t} \sum_{i=0}^t \frac{C^i}{k^{2i}} = k^{s+t} \frac{1 - \left(\frac{C}{k^2}\right)^{t+1}}{1 - \frac{C}{k^2}} = \\ &= k^{s-t} \frac{k^{2(t+1)} - C^{t+1}}{k^2 - C}. \end{aligned}$$

2. Случай $k^2 = C$, тогда отношение внутри суммы в (10) равно 1, а сама сумма равна $t+1$:

$$d_{st} = k^{s+t} \sum_{i=0}^t \frac{C^i}{k^{2i}} = (t+1)k^{s+t}.$$

Частный случай размерности: целая степень. Определённый интерес представляет особая ситуация в предложенном матричном представлении. Эта ситуация связана с тем, что в программных реализациях рекурсивных алгоритмов принято дополнять задачу до размерности n , равной целой степени k :

$$\hat{n} = k^{\lceil \log_k n \rceil}. \quad (11)$$

Такой подход позволяет избежать обработки особых ситуаций «пола» и «потолка» при организации рекурсии и оказывается в ряде случаев более эффективным, чем особая обработка ситуаций с подзадачами чётной и нечётной размерности. Это приводит вместо представления трудоёмкости в виде $f(n) = Cf([n/k]) + n^2$ к виду $f(n) = Cf(n/k) + n^2$, причём в силу (11) результат деления n/k на каждом шаге рекурсии является целым числом.

Например, при реализации алгоритма Штрассена [1] (для которого $k = 2$) перемножаемые

матрицы размерностью $n \times n$ предварительно дополняются нулями до размерности $\hat{n} \times \hat{n}$, где $\hat{n}=k^{\lceil \log_2 n \rceil}$, после чего рекурсия выполняется без анализа чётности/нечётности текущей длины входа.

В рамках рассматриваемого матричного представления этот подход позволяет явно указать вид вектора столбца **B**. Действительно из представления n в виде (3)

$$n = b_m k^m + b_{m-1} k^{m-1} + \cdots + b_1 k + b_0 = \sum_{i=0}^m b_i k^i,$$

где $m=\lfloor \log_k n \rfloor$, и (11) в общем случае, когда само исходное значение n не есть целая степень k , т. е. при $n > k^m$ следует, что $\hat{n}=1 \cdot k^{m+1} + 0 \cdot k^m + \cdots + 0 \cdot k + 0 = k^{m+1}$, следовательно

$$\begin{aligned} \mathbf{B}^T &= (b_0 = 0, b_1 = 0, \dots, b_m = 0, b_{m+1} = 1) = \\ &= (0, \dots, 0, 1) \quad |\mathbf{B}^T| = m+2. \end{aligned}$$

Подставляя полученное представление **B** в (7) с учётом (4) получаем аналитическое решение для случая $k^2 \neq C$ в виде:

$$f(n) = C^{m+2} \alpha + \frac{k^{2(m+2)} - C^{(m+2)}}{k^2 - C},$$

и для случая $k^2 = C$:

$$f(n) = C^{m+2} \alpha + (m+2) k^{2(m+1)},$$

при этом мы считаем, что $m=\log_k \hat{n}-1$.

Заключение. Рассмотрено аналитическое решение нелинейного рекуррентного соотношения для функции трудоёмкости рекурсивного алгоритма, построенного методом декомпозиции с квадратичной аддитивной функцией. Показано,

что в этом частном случае возможно матричное представление аналитического решения и получены явные выражения для элементов соответствующей матрицы. Дополнительно рассмотрено аналитическое решение при реализации рекурсивного алгоритма с длиной входа, равной целой степени k . Интересно, что формулы для значений элементов матрицы аналитического решения имеют различный вид в зависимости от выполнения сравнения $k^2=C$. На основе полученной матрицы при фиксированных в конкретном алгоритме значениях k , C можно проводить исследование зависимости функции трудоёмкости от цифр представления длины входа алгоритма в системе счисления по основанию k , так как элементы аналитической матрицы показывают степень влияния этих цифр в соответствующих позициях на трудоёмкость алгоритма.

Библиографические ссылки

1. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. 2-е изд. / пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2005. 1296 с.
2. Головешкин В.А., Ульянов М.В. Теория рекурсии для программистов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 296 с.
3. Bentley J.L., Haken D., Saxe J. A general method for solving divide-and-conquer recurrences // SIGACT News. 1980. № 12(3). P. 36–44.
4. Головешкин В.А., Ульянов М.В. Аналитическое решение специального класса рекуррентных соотношений в целях анализа рекурсивных алгоритмов // Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия. 2008. № 3(62). С. 96–107.
5. Головешкин В.А., Пономарёв А.В., Ульянов М.В.. Аналитическое решение класса рекуррентных соотношений с аддитивной функцией степенного вида в целях анализа трудоёмкости рекурсивных алгоритмов // Автоматизация и современные технологии. 2011. № 3. С. 25–29.
6. Strassen V. Gaussian Elimination is not Optimal // Numer. Math. 1969. Vol. 13. № 4. P. 354–356.

Уважаемые авторы и читатели журнала!

В соответствии с решениями президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России журнал «Автоматизация и современные технологии» включён в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора наук.

УДК 330.46

М.А. Шарипов

(Ульяновский государственный университет)

cskachampion89@gmail.com

СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАТЕГОРИИ ERP

Предложены методы проектирования корпоративных информационных систем, предназначенных к внедрению в бизнес-среду компании, с применением математического моделирования. Представлен оригинальный подход к оценке эффективности инвестиционных проектов по внедрению программ категорий ERP и BI.

Ключевые слова: ERP-система, CASE-подход, метод BRP, бизнес-процессы компаний.

Design methods of the corporative information system are suitable for implementations into company business-environment using mathematical modeling are proposed. Original approach to valuation of the investment projects efficiency for program category ERP and BI is presented.

Key words: ERP systems, CASE-approach, method BRP, company business-processes.

Введение. Компании и предприятия при внедрении корпоративных информационных систем в первую очередь сталкиваются с такой фундаментальной задачей, как выбор методологии проектирования и построения корпоративной информационной системы. Современное развитие подходов к построению интегрированных систем управления предопределило появление популярных методов проектирования CASE и BRP.

ERP-система: последовательное разрешение задач внедрения. Корпоративные информационные системы представляют собой IT-продукты категории ERP (Enterprise Resource Planning System – система планирования ресурсов предприятия), известные также как интегрированные системы управления [1].

Во-первых, ERP-система позволяет оперативно управлять ресурсами предприятия, комплексно охватывая важнейшие бизнес-процессы в едином информационном пространстве и упорядочивая бизнес-процедуры. Проект по внедрению IT-программы категории ERP – как правило, дорогостоящий (несколько млн. долл.), длительный (от нескольких месяцев до двух лет, включая «обкатку» в тестовом режиме), а в случае неудачного опыта влечёт большие убытки и рыночные потери.

Во-вторых, центральное место в ходе интеграции ERP-системы в уникальную бизнес-среду компаний занимают бизнес-процессы, а необходимым условием эффективной работы программы является комплексный охват ключевых функциональных областей.

Учитывая, что деятельность любого предприятия специфична и имеет ряд конкурентных преимуществ, выраженных в бизнес-процессах, составляется требование заказчика внедрения IT-решения к вендору или интегратору системного продукта

об инкорпорировании идиосинкретических бизнес-процессов заказчика в ERP-программу.

Когда заказчик начинает строить возможные образы того, как эти конкурентные бизнес-процессы будут позиционироваться в будущей интегрированной системе управления, перед проектной группой компании-заказчика встаёт задача выбора метода проектирования архитектуры внедряемого бизнес-приложения.

Таков алгоритм поступательного движения руководства и проектной группы компании к этапу фундаментального выбора технологического подхода к проектированию IT-системы.

Решение ответственного руководителя по внедрению программного продукта на предприятии сопровождается одновременным принятием решения по созданию проектной группы компании, т. е. процесс приобретения, возможной разработки и интеграции ERP-системы в бизнес-среду организации приобретает проектный статус. В свою очередь, проектная группа до начала процедуры поиска и выбора подходящего разработчика или интегратора программного решения должна понимать, что на единой информационной платформе должны быть автоматизированы взаимосвязанные сферы деятельности предприятия. Несмотря на то, что они различны по отраслям, требуется чтобы ERP-система покрывала половину или более бизнес-процессов компании. Можно быстрее достичь более высокой эффективности от внедрения IT-продукта категории ERP при условии полного охвата нескольких смежных зон деятельности компании с поддержкой сквозных бизнес-процессов.

В итоге перед проектной группой встают определённые задачи. Главная и первая из них – мониторинг бизнес-среды компании на наличие конкурентных и уникальных бизнес-процессов, которые

дают неоспоримые рыночные преимущества. По результатам мониторинга группа должна принять решение: выбрать к внедрению базовые модули ERP-системы при отсутствии ключевых бизнес-процессов или модифицировать интегрируемый программный продукт под выявленные уникальные бизнес-процессы. В первом случае проектной группе остаётся лишь выбрать поставщика ERP-системы после разработки проекта построения корпоративной информационной системы. Сам поставщик может выступать в лице вендора или интегратора. Когда поставщик – вендор, внедрением занимается сам разработчик программного продукта (SAP, ORACLE), но существуют такие вендоры, как например Microsoft и 1С, делегирующие услуги по внедрению партнёрам-интеграторам.

Внедрять немодифицированные базовые модули ERP-системы предприятиям, лишённым уникальных бизнес-процессов, позволяет отличительная особенность ERP-системы как программного продукта – обкатка на многих тысячах внедрений во всём мире [2]. Таким образом, покупая программный продукт у вендоров или интеграторов, компании получают и мировой опыт интеграции IT-решений в бизнес-среду компаний для различного рода отраслей, содержащих лучшие практики управления.

При обнаружении ключевых бизнес-процессов у проектной группы появляются новые задачи, требующие решения. Но основным является решение заявленной выше фундаментальной задачи – выбор методологии проектирования и построения корпоративной информационной системы.

Возможны два варианта её решения. Первый – за счёт собственных ресурсов (проектная группа, отдельно информационная служба компаний) или приобретения консалтинговых IT-услуг, а второй – совместно с поставщиком ERP-системы. Последний вариант более приемлем, так как сами вендоры являются активными пользователями различных методов проектирования и построения архитектуры при разработке своих программных продуктов.

Следует уточнить, что при инкорпорировании конкурентных бизнес-процессов компании в ERP-систему целесообразно формировать внедренческую команду, состоящую из представителей заказчика и разработчика (или интегратора). Данный этап представляет собой отличную возможность для совместного решения сначала задач разработки подхода к проектированию корпоративной информационной системы, а затем – интеграции ключевых бизнес-процессов в ERP-программу и дальнейшего внедрения IT-решения в компании, включая функционирование в опытном режиме. Заказчик обязательно должен быть представлен как руководителем службы IT, так и высшим менеджментом.

Для оптимального распределения усилий в деятельности внедренческой команды более приемлем вариант, когда сторона заказчика проектирует свои уникальные бизнес-процессы на информационную платформу будущей интегрированной системы управления с использованием подобного опыта вендора, т. е. проектирует образ ERP-системы (видение своей производственной IT-площадки, удобной и понятной для пользования), а исполнитель непосредственно занимается позиционированием бизнес-процессов в программном продукте, видоизменяя архитектуру IT-решения.

Остановимся на основных подходах к проектированию и построению ERP-продукта.

Методы проектирования IT-продукта категории ERP. CASE (Computer Aided Software Engineering) – первый из методов, создан с помощью инструментальных средств, служащих для автоматизации построения системы. Подход CASE имеет два направления: проектирование бизнес-задач и создание на их базе платформы будущей системы. CASE состоит из таких важных модулей, как объекты бизнес-среды, исполняемые с их помощью процессы, события, изменяющие объекты и сами процессы. CASE-метод минимизирует зависимость бизнес-моделей от IT-технологий, что позволяет дополнять программу согласно изменениям в конкурентных бизнес-процессах компании [3].

Этот метод отличается событийным, функциональным и информационным моделированием взаимосвязей между сущностями. Поэтому данный подход подразумевает активное применение специального рода диаграмм Entity-Relationship, т. е. сущность-связь. Сущность в условиях CASE-подхода есть объект реальный или абстрактный, но обязательно с определёнными атрибутами и характеристиками.

Сам процесс моделирования базируется на строгих соглашениях и стандартах, которые, в свою очередь, ликвидируют неопределенность и поддерживают диалог с конечным пользователем. Ключевые требования CASE-подхода следующие: во-первых, отношение к информации как к главному ресурсу организации; во-вторых, наличие административной поддержки в целях адекватного формулирования принципов, предъявляемых к информации; в-третьих, использование строгих стандартов и соглашений в рамках нормализации данных. Также для ускорения и упрощения процедуры обработки данных CASE-метод требует краткого описания понятий в модели и их однозначного отражения, а также независимости данных настраиваемых шаблонов.

Итак, процесс проектирования ERP-системы по методу CASE начинается с выработки стратегии – построения схем потока данных, самих взаимосвязей между сущностями и схем функци-

циональной иерархии. Далее следует этап анализа, включающий детализацию схем предыдущего этапа и логики функций, построение комплексной схемы иерархии функций и диаграммы перехода различных состояний. Завершает процесс этап разработки, подразумевающий сетевую архитектуру, прогнозную оценку масштаба базы данных и проектирование сущностей, функций и модулей.

CASE-метод является многопользовательским, ориентированным на групповое использование, а в сочетании с интерактивными составителями диаграмм и схем вместе с возможностью формирования отчётов повышает качество проектирования ERP-программы и производительность внедренческой команды.

Альтернативой приведённому выше подходу выступает система реинжиниринга бизнес-процессов Business Process Reengineering (BRP) – наиболее «агрессивный» подход в отношении уникальных бизнес-процессов компаний, так как заключает в себе инкорпорацию IT-технологий в деловые процессы предприятия как их неотъемлемую часть, что, в свою очередь, приводит к реструктуризации и переосмыслению конкурентных бизнес-процессов компаний.

Таким образом, в отличие от предыдущего подхода, воздействию подвергаются уникальные бизнес-процессы компаний, которые придётся встраивать в ERP-продукт. Поэтому может показаться, что при использовании данного метода внедренческая команда занимается лишь интеграцией бизнес-процессов заказчика в модульный вариант ERP-системы вендора или интегратора, несмотря на то, что интеграция именно программы категории ERP в бизнес-среду заказчика есть главная задача команды. Такое представление в корне ошибочно, так как сама деятельность команды по внедрению ERP-системы предполагает активное воздействие на интегрируемую систему и её изменение, следовательно, при применении именно BRP-подхода внедренческой команде предстоит комплексное воздействие как на IT-продукт, так и на бизнес-процессы заказчика, обусловливающие его конкурентные преимущества.

В итоге становится очевидным, что компания, применяющая метод BRP, должна быть как конструктор, отличающийся определённой степенью гибкости. Поэтому рекомендовать BRP-подход стоит только тем предприятиям, у которых запланировано расширение производства и существуют весомые противоречия в организационной структуре, решение которых возможно при переосмыслении уникальных бизнес-процессов компании.

Реинжиниринг бизнес-процессов содержит всего четыре этапа. Первый подразумевает разра-

ботку модели будущей компании, второй – анализ существующих конкурентных бизнес-процессов компаний, а третий заключается в изменении бизнес-процессов или разработке их нового образа. Интеграция нового проекта в бизнес-среду компании завершает процедуру реинжиниринга уникальных бизнес-процессов на предприятии. Проведение этапов может быть непоследовательным, параллельным и многократным.

Одновременное воздействие на интегрируемый IT-продукт и собственные конкурентные бизнес-процессы влечёт большие риски в части конкурентных рыночных преимуществ, утраты которых весьма вероятна при непропорциональном изменении бизнес-процессов. В связи с этим при выборе подхода BRP внедренческая команда должна осознавать, что непременными условиями применения реинжиниринга являются интеграция IT-решения категории ERP последнего поколения и стремление к воздействию на конкурентные бизнес-процессы компаний.

Математическое моделирование и эффективность внедрения ERP-систем. Нередко компания на момент своей автоматизации уже обладает информационной системой, поэтому оптимальным вариантом проектирования интегрированной системы управления представляется применение математических моделей. Данный подход позволит провести моделирование процесса автоматизации до этапа внедрения IT-продукта, т. е. предварительно идентифицировать всевозможные последствия. Суть метода заключается в использовании описанных выше подходов построения корпоративных информационных систем и определении результатов применения одного из них благодаря моделированию текущего положения дел на предприятии. Наиболее продуктивной из всех математических моделей является имитационная. При имитационном моделировании динамика информационной системы проектируется на компьютере заданным алгоритмом, позволяющим моделировать его поведение.

Основной задачей имитационного моделирования является сбор и дальнейший анализ всевозможного массива данных для обеспечения безошибочной деятельности модели.

Стоит выделить следующие этапы имитационного моделирования.

Первый этап – построение модели, предполагает выявление идиосинкритических черт объекта моделирования, а также связей между особенностями. На качественном уровне идентифицированные взаимосвязи формулируются на математическом языке, что является фундаментом построения математической модели [4].

На втором этапе осуществляется разработка методов и алгоритмов решения задач, благодаря

которым будет вычислен результат в определённый период времени и с требуемой точностью.

На третьем этапе получаемые из модели следствия приобретают соответствующие пояснения, детально представляя расшифровку результатов на предыдущих этапах с последующим переводом математического языка на язык исследуемой области.

Четвёртый этап предполагает сверку экспериментальных итогов с теоретическими последствиями моделирования в границах заданной точности.

На заключительном этапе модель логическим образом модифицируется в сторону усложнения или упрощения для придания действительности определённой степени адекватности или выработки оптимального решения, соответственно.

Самый трудоёмкий и сложный из всех этапов – первый [5].

Как было отмечено выше, проектный статус внедрения интегрированной системы управления на предприятии сопряжён с большими затратами, что предполагает отнесение проекта к ряду инвестиционных. Более того, инвестиционный проект будет являться инфраструктурным, так как в результате реализации направлен на обеспечение потребностей всего предприятия. На глобальном уровне проект – также инфраструктурный, т. е. ориентированный на удовлетворение потребностей всего общества. Следовательно, данная инфраструктурная характеристика инвестиционного проекта оправдана, потому что функционирование системы категории ERP направлено на обеспечение всей деятельности компании, несмотря на то, что ключевыми пользователями продукта являются не все сотрудники компании, а только ответственные и линейные руководители функциональных зон предприятия. Когда потребителем услуги выступает предприятие как единое целое, а не отдельная его структурная единица, то, с одной стороны, это является достаточным для отнесения инвестиционного проекта к ряду инфраструктурных, а с другой стороны, очевидна сложность точной оценки эффективности инвестиционного проекта при его инфраструктурной характеристике.

Но существует и другая категория IT-решений – категория BI (Business Intelligence), системы бизнес-аналитики, применяемые для анализа и последующего принятия решений. Описание BI-программы даётся с целью предложить новый, оригинальный подход к оценке эффективности инфраструктурного инвестиционного проекта, базирующегося на комплексном применении систем ERP и BI. На то есть веский аргумент. Дело в том, что системы бизнес-анализа позволяют прогнозировать будущее развитие компании, при этом качество результата деятельности BI-продук-

та всецело зависит от качества учётной информации, предоставляемой ERP-программой.

Если компания инвестирует в проекты по внедрению программ ERP и BI, то у неё появляется возможность оценить эффективность данных инфраструктурных инвестиционных проектов в масштабах реализации всего инвестиционного портфеля благодаря достижениям компании с натуралистической и валеристической точек зрения при комплексном применении программ ERP и BI. Такой подход к оценке данных проектов предполагает, что достигнутые успехи компании после внедрения IT-решений полностью зависели от них, так как внедряемые программы комплексно охватывают всю среду управления предприятием. Следовательно, все достижения в управлении предприятием правильно относить на функционирование совокупности программ ERP и BI.

Функционирование ERP-системы на предприятии приводит к появлению, как правило, большого объёма информации, а также необходимости моделирования ситуации для принятия решения руководителем. В свою очередь, BI-программа покрывает данные потребности благодаря оперативному построению многомерных отчётов и различного рода прогнозов, анализу ключевых показателей эффективности и своевременной коррекции бюджетов, т. е. программа ERP предоставляет возможность оперативного управления предприятием, а ориентированная на высшее руководство BI-система позволяет предугадать положение дел в будущем.

Таким образом, натуралистические и валеристические достижения компании на рынке, повышение её конкурентоспособности – всё это в виде поступлений денежных потоков за весь жизненный цикл проектов предоставляет возможность качественной оценки эффективности инвестиционных проектов. Однако это лишь общий подход, так как разработка критериев отнесения рыночных достижений компании к описанным выше положениям и различного рода расходов, включающих инвестиционные затраты в период разработки и самой реализации проекта, требуют дальнейшей детальной проработки.

Заключение. Сравнивая методы CASE и BRP, можно сделать вывод, что при наиболее ценных уникальных бизнес-процессах следует применять подход CASE, позволяющий проектировать будущую интегрированную систему управления, учитывая особенности конкурентных бизнес-процессов и подстраивая систему под них. Использование BRP-метода рационально при запланированном расширении предприятия, проблемной организационной структуре и недетали-

зированных конкурентных бизнес-процессах. Внедренческая команда в этом случае должна отличаться высоким профессионализмом, а роль исполнителя целесообразно отдать непосредственно вендору, так как воздействие на бизнес-процессы – дело сложное и влечёт огромные рыночные риски.

Библиографические ссылки

1. Ходырев А. Курс на обгон // Эксперт. 2009. № 35. С. 40–46.

2. Кудрявцев А. Планирование на основе характеристик и Make-to-Order сценарий в SAP APO. URL: <http://egr.ru/planirovanie-na-osnove-xarakteristik-i-make-to-order-scenarij-v-sap-apo.html> (дата обращения: 04.02.2013).

3. Barker R. CASE*Method: Entity Relationship Modelling. Addison-Wesley. Wokingham. England. 1990. 190 p.

4. Barke R. CASE*Method: Tasks and Deliverables. Addison-Wesley. Wokingham. England. 1991. 235 p.

5. Carroll B. Lean Performance ERP Project Management: Implementing the Virtual Supply, CRC Press, Florida. USA. 2012. 322 p.

УДК 004.057

А.В. Соколов, канд. физ.-мат. наук, доц.

(Национальный исследовательский университет –
Высшая школа экономики (НИУ-ВШЭ), г. Москва)

avsokolov2003@list.ru

О КЛАССИФИКАЦИИ, МАКСИМАЛЬНО СОВМЕСТИМОЙ С НЕЧЁТКОЙ КЛАССИФИКАЦИЕЙ

Предложен метод построения чёткой альтернативной классификации, имеющей с данной нечёткой альтернативной классификацией максимально возможную меру совместимости.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, нечёткая характеристика, информационный поиск, мера совместимости классификаций.

Construction method of the clear alternative classification having with considered fuzzy alternative classification as much as possible compatibility measure is proposed.

Key words: the automatic information system, the fuzzy characteristic, informational search, classifications compatibility measure.

Введение. Проблема совместимости систем классификации возникает всякий раз, когда приходится осуществлять поиск каких-либо объектов, расклассифицированных в одной системе понятий, по запросу, сформулированному в другой системе понятий. В работе [1] введено понятие совместимости систем классификации, задаваемых характеристиками, с помощью которых описываются информационные объекты автоматизированной информационной системы (АИС). При отсутствии совместимости предложено понятие меры совместимости для чёткого [1] и нечёткого [2] случаев, а также указан способ её вычисления. В нечётком случае полной совместимости классификаций нет. В работе [3] введено понятие меры автосовместимости нечёткой классификации как меры совместимости классификации с самой собой и предлагается считать совместимость двух классификаций вполне удовлетворительной, если она близка к автосовместимости. Однако для любой нечёткой классифика-

ции существует такая чёткая классификация, мера совместимости которой с данной нечёткой классификацией по крайней мере не меньше, чем её автосовместимость. Ниже приводится доказательство этого утверждения.

Основные понятия. Пусть $Q = \{q\}$ – некоторое множество объектов; l – признак (основание деления), по которому производится классификация (в том числе, нечёткая) этих объектов; $A = \{a\}$ – множество значений признака l ; $Q_a = \{q \in Q | l(q) = a\}$, $a \in A$ (для чёткого признака l) – множество объектов q , обладающих свойством (l, a) ; $Q_a = \{\mu_{(l, a)}(q), q \in Q\}$, $a \in A$ (для нечёткого признака l) – нечёткое множество объектов q с функцией принадлежности $\mu_{(l, a)}(q)$, интерпретируемой как степень уверенности генеральной совокупности экспертов в истинности утверждения $l(q) = a$, т. е. утверждения, что a является значением признака l для объекта q .

Интерпретация для объектно-признаковой модели базы данных: Q – информационный объект;

l – характеристика из структуры его описания; A – множество (словарь) значений характеристики l , $l(q) = a$ – экземпляр информационного объекта (ЭИО) q имеет значение a характеристики l , т. е. обладает свойством (l, a) ; $\mu_{(l, a)}(q)$ – усреднённая степень уверенности эксперта (индексатора, пользователя АИС) в том, что q обладает свойством (l, a) .

Множество A значений признака l будем называть словарём, а его элементы – терминами. Если из контекста ясно, о каком словаре идёт речь, классифицирующий признак l для краткости будем называть системой классификации или просто классификацией. При фиксированной классификации вместо $\mu_{(l, a)}(q)$ будем писать $\mu_a(q)$.

Определение 1. Нечёткую классификацию l с функциями принадлежности $\mu_a(q)$ классов, $Q_a, a \in A$ назовём альтернативной, если

$$\mu_a(q) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \mu_{a,k}(q), \quad \mu_{a,k}(q) \in \{0; 1\},$$

причём

$$\sum_{a \in A} \mu_{a,k}(q) = 1, \quad k = 1, \dots, m.$$

Функция $\mu_{a,k}(q)$ характеризует оценку эксперта с номером k истинности утверждения $q \in Q_a$:

$$\begin{cases} \mu_{a,k}(q) = 1, & \text{если } q \in Q_a, \\ \mu_{a,k}(q) = 0, & \text{если } q \notin Q_a. \end{cases}$$

При этом эксперт относит объект q к одному и только одному классу Q_a , хотя разные эксперты могут отнести один и тот же объект к разным классам.

Обычная (чёткая) классификация является частным случаем нечёткой (при $\mu_a(q) \in \{0; 1\}$). Для чёткой классификации альтернативность означает, что любой объект $q \in Q$ обладает единственным свойством (l, a) , $a \in A$, т. е. $Q_{a_1} \cap Q_{a_2} = \emptyset$ при $a_1 \neq a_2$, причём $\bigcup_{a \in A} Q_a = Q$. В классическом понимании классификация подразумевается как альтернативная классификация. Альтернативность нечёткой классификации означает, что $\sum_{a \in A} \mu_a(q) = 1$, $\forall q \in Q, \forall a \in A$.

В терминах объектно-признакомой модели данных альтернативность классификации означает, что характеристика l однозначна, т. е. имеет только одно значение. Далее будут рассматриваться одни альтернативные классификации.

Пусть имеем множество объектов Q , расклассифицированных по альтернативным системам классификации l^1 и l^2 .

Определение 2. Назовём мерой совместимости системы классификации l^2 с системой классификации l^1 величину, где $\varphi(a)$ – подмножество терминов словаря B ; $k_\Pi(a, \varphi)$ и $k_T(a, \varphi)$ – соответственно, коэффициенты полноты и точности поиска в множестве объектов Q по запросу $l^1(q) = a$, переведён-

$$\text{ному как } \bigvee_{b \in \varphi(a)} l^2(q) = b, \quad k_\Pi(a, \varphi) = \frac{\sum_{b \in \varphi(a)} |Q_a Q_b|}{|Q_a|},$$

$$k_T(a, \varphi) = \frac{\sum_{b \in \varphi(a)} |Q_b|}{\sum_{b \in \varphi(a)} |Q_b|}, \quad |Q_a| = \sum_{q \in Q} \mu_a(q), \quad |Q_b| = \sum_{q \in Q} \mu_b(q)$$

– мощности нечётких множеств Q_a и Q_b ; $|Q_a Q_b| = \sum_{q \in Q} (\mu_a(q) \mu_b(q))$ – одно из обобщений мощности пересечения множеств для нечёткого случая; $p(a)$ – относительная частота объектов, обладающих свойством (l^1, a) . Для альтернативного классифицирования $p(a) = \frac{|Q_a|}{|Q|}$.

Очевидно, вместо величин $|Q_a|, |Q_b|, |Q_a Q_b|$ можно использовать относительные частоты $\frac{|Q_a|}{|Q|}$, $\frac{|Q_b|}{|Q|}$ и $\frac{|Q_a Q_b|}{|Q|}$, соответственно.

Замечание. Рассмотрение неальтернативных классификаций породило бы серьёзные трудности при определении коэффициентов полноты и точности поиска для приведённого выше преобразования запроса. Действительно, в случае неальтернативности классификации l^2 один и тот же объект q может быть релевантен нескольким дизъюнктивным слагаемым $l^2(q) = b, b \in \varphi(a)$ и в приведённых формулах для подсчёта коэффициентов полноты и точности поиска учтён несколько раз, что неверно.

Определение 3. Назовём мерой автосовместимости классификации l величину

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

где φ – отображение понятия $a \in A$ в подмножество словаря A , а коэффициенты $k_\Pi(a, \varphi)$ и $k_T(a, \varphi)$ подсчитываются при соответствующем преобразовании запросов $l(q) = a \rightarrow l(q) = \bigvee_{a' \in \varphi(a)} a'$.

Теорема. Для любой нечёткой альтернативной классификации l^1 , заданной на конечном множестве объектов $Q = \{q\}$, существует чёткая альтернативная классификация l^0 , которая имеет максимальную меру совместимости с классификацией l^1 среди всевозможных систем классификации l , заданных на том же множестве объектов Q : $\mu(l^1, l^0) = \max_l \mu(l^1, l)$.

Доказательство. Пусть $Q = \{q\}$ – конечное множество объектов и l^1 – заданная на нём нечёткая альтернативная классификация $Q_a = \{\mu_a(q), q \in Q\}$, $a \in A$, $|A|=n$.

Пусть далее некоторый признак (характеристика) l с конечным словарём B задаёт на Q альтернативную классификацию $Q_b = \{\mu_b(q), q \in Q\}$, $b \in B$. По определению меры совместимости

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

$$\text{где } k_\Pi(a, \varphi) = \frac{\sum_{b \in \varphi(a)} \sum_{q \in Q} (\mu_a(q) \mu_b(q))}{\sum_{q \in Q} \mu_a(q)},$$

$$k_T(a, \varphi) = \frac{\sum_{b \in \varphi(a)} \sum_{q \in Q} (\mu_a(q) \mu_b(q))}{\sum_{b \in \varphi(a)} \sum_{q \in Q} \mu_b(q)} \text{ или}$$

$$k_\Pi(a, \varphi) = \frac{\sum_{q \in Q} \left(\mu_a(q) \sum_{b \in \varphi(a)} \mu_b(q) \right)}{\sum_{q \in Q} \mu_a(q)},$$

$$k_T(a, \varphi) = \frac{\sum_{q \in Q} \left(\mu_a(q) \sum_{b \in \varphi(a)} \mu_b(q) \right)}{\sum_{q \in Q} \sum_{b \in \varphi(a)} \mu_b(q)}.$$

Пусть $\varphi^* = \arg \max_{\varphi(a): a \rightarrow 2^B} (k_\Pi(a, \varphi) + k_T(a, \varphi) - 1)$.

Обозначим $\sum_{b \in \varphi^*(a)} \mu_b(q) = \chi_a(q)$, тогда

$$k_\Pi(a) = \frac{\sum_{q \in Q} (\mu_a(q) \chi_a(q))}{\sum_{q \in Q} \mu_a(q)},$$

$$k_T(a) = \frac{\sum_{q \in Q} (\mu_a(q) \chi_a(q))}{\sum_{q \in Q} \chi_a(q)}.$$

Ввиду альтернативности классификации l будет $\chi(q) \in [0;1]$. Покажем, что максимум выражений $\max_{\varphi^*(a): a \rightarrow 2^B} (k_\Pi(a) + k_T(a) - 1)$ и $\max_{\varphi^*(a): a \rightarrow 2^B} (k_\Pi(a) + k_T(a))$ достигается при таких функциях принадлежности $\mu_b(q)$, $b \in B$, для которых $\sum_{b \in \varphi(a)} \mu_b(q) = \chi_a(q) \in \{0;1\}$, $a \in A$.

Из сумм, содержащих $\chi_a(q)$, вычленим одно слагаемое при произвольном $q = q_0$, для которого $\mu_a(q) \neq 0$, и покажем, что указанный максимум будет достигаться при $\chi_a(q_0) \in \{0;1\}$, т. е. и для всех q оптимальное значение $\chi_a(q) \in \{0;1\}$.

Итак,

$$k_\Pi(a) = \frac{\sum_{q \in Q, q \neq q_0} (\mu_a(q) \chi_a(q)) + \mu_a(q_0) \chi_a(q_0)}{\sum_{q \in Q} \mu_a(q)},$$

$$k_T(a) = \frac{\sum_{q \in Q, q \neq q_0} (\mu_a(q) \chi_a(q)) + \mu_a(q_0) \chi_a(q_0)}{\sum_{q \in Q, q \neq q_0} \chi_a(q) + \chi_a(q_0)}.$$

Для краткости изложения обозначим $\sum_{q \in Q, q \neq q_0} (\mu_a(q) \chi_a(q)) = a$, $\sum_{q \in Q} \mu_a(q) = b$, $\sum_{q \in Q, q \neq q_0} \chi_a(q) = c$, $\mu_a(q_0) = k$, $\chi_a(q_0) = x$.

Тогда будем иметь

$$\begin{aligned} k_\Pi(a) + k_T(a) &= \frac{a + kx}{b} + \frac{a + kx}{c + x} = \\ &= \frac{k}{b} x + \left(\frac{a}{b} + k \right) + \frac{a - kc}{c + x} = f(x), \end{aligned}$$

где $k \in [0;1]$, $x \in [0;1]$.

Найдём максимум этого выражения по x :

$$f'(x) = \frac{k}{b} - \frac{a - kc}{(x + c)^2}.$$

При $a \leq kc$ имеем $f'(x) > 0 \forall x \in [0;1]$ – значит, максимум функции $f(x)$ достигается в точке $x = 1$.

При $a > kc$ будет $f''(x) = \frac{2(a - kc)}{(x + c)^3} > 0, \forall x \in [0;1]$ – значит, функция $f(x)$ выпукла, и её максимум может достигаться только в концах отрезка $[0;1]$.

Таким образом, $\sum_{b \in \varphi(a)} \mu_b(q) = \chi_a(q) \in \{0;1\}$, $q \in Q$,

что справедливо $\forall a \in A$.

Итак, имеем n булевых функций $\chi_a(q_0) \in \{0;1\}$, $a \in A$. Каждой такой функции соответствует чёткое множество $Q_{\varphi(a)} = \{q | \chi_a(q) = 1\}$. Однако эти множества могут пересекаться, и объединение их может не совпадать с Q .

Покажем, что на основе характеристических функций $\chi_a(q)$ можно построить такое семейство непересекающихся подмножеств Q_c , $c \in C$, чтобы $\bigcup_{c \in C} Q_c = Q$, и такое отображение $\psi: A \rightarrow 2^C$, для которых при любом $a \in A$ выполнялось равенство

$\sum_{c \in \psi(a)} \chi_c(q) = \chi_a(q)$, где $\chi_c(q)$ – характеристическая функция множества Q_c . Систему классификации, осуществляющую указанное разбиение, обозначим через l^0 . Отображение ψ при этом соответствует преобразованию запроса $l^1(q) = a$ в запрос вида $\bigvee_{c \in \psi(a)} l^0(q) = c$.

Перенумеруем элементы $a \in A$: a_1, \dots, a_n . Введём семейство булевых функций

$$\chi_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)}(q) = \chi_{a_1}^{\alpha_1}(q) \chi_{a_2}^{\alpha_2}(q) \dots \chi_{a_n}^{\alpha_n}(q), \quad (1)$$

$$\text{где } \alpha_i \in \{0;1\}, \chi_{a_i}^{\alpha_i}(q) = \begin{cases} \chi_{a_i}(q) & \text{при } \alpha_i = 1, \\ 1 - \chi_{a_i}(q) & \text{при } \alpha_i = 0. \end{cases}$$

Каждая из этих функций является характеристической для множества $Q_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)} = \{q \in Q \mid \chi_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)}(q) = 1\} \subseteq Q$. Такие множества при различных наборах индексов не пересекаются, и их объединение совпадает со всем множеством Q . Кроме того,

$$\chi_{a_i}(q) = \sum_{\alpha_i=1, \alpha_j \in \{0;1\}, j \neq i} \chi_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)}(q), q \in Q. \quad (2)$$

Так как некоторые из множеств $Q_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)}$ могут быть пустыми при $\chi_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)}(q) = 0 \forall q \in Q$ исключим их из рассмотрения, а оставшиеся обозначим через Q_c , $c \in C$, где C – словарь индексов. Отображение $\psi: A \rightarrow 2^C$ строится на основе разложения выражения (2) с учётом того, что пустые множества были исключены.

Поскольку чёткая классификация является частным случаем нечёткой, доказательство справедливо и для неё тоже. Для альтернативной чёткой классификации утверждение теоремы тривиально, так как в этом случае автосовместимость даёт максимальную оценку $\mu(l^1, l^1) = 1$.

Покажем, что мера автосовместимости нечёткой классификации может оказаться меньше меры её совместимости с указанной в теореме чёткой классификацией.

Рассмотрим простой пример множества Q , состоящего из двух элементов q_1 и q_2 . Пусть словарь A значений нечёткой характеристики l^1 состоит из двух значений a_1 и a_2 , а функция принадлежности классов Q_{a_1} и Q_{a_2} задана табл. 1. Тогда чёткая альтернативная классификация l^0 , максимально совместимая с l^1 , будет состоять из двух классов (табл. 2).

Нетрудно проверить, что наилучшее преобразование φ для автосовместимости l^1 – тождество

Таблица 1

Нечёткая классификация

$\mu_{a_i}(q_j)$	Q_{a_1}	Q_{a_2}
q_1	0,9	0,1
q_2	0,1	0,9

Таблица 2

Чёткая классификация

$\mu_{b_i}(q_j)$	Q_{b_1}	Q_{b_2}
q_1	1	0
q_2	0	1

венное: $a_1 \rightarrow a_1$, $a_2 \rightarrow a_2$. При этом будем иметь

$$k_\Pi(a_1, \varphi) = k_T(a_1, \varphi) = \frac{\mu_{a_1}^2(q_1) + \mu_{a_1}^2(q_2)}{\mu_{a_1}(q_1) + \mu_{a_1}(q_2)} = \frac{0,81 + 0,01}{0,9 + 0,1} = 0,82,$$

$$p(a_1) = \frac{0,9 + 0,1}{2} = 0,5,$$

$$k_\Pi(a_2, \varphi) = k_T(a_2, \varphi) = 0,82, \quad p(a_2) = 0,5,$$

откуда $\mu(l^1, l^1) = 0,64$

Наибольшая совместимость l^0 с l^1 достигается при преобразовании φ : $a_1 \rightarrow b_1$, $a_2 \rightarrow b_2$. При этом

$$k_\Pi(a_1, \varphi) = \frac{\mu_{a_1}(q_1)\mu_{b_1}(q_1) + \mu_{a_1}(q_2)\mu_{b_1}(q_2)}{\mu_{a_1}(q_1) + \mu_{a_1}(q_2)} = \frac{0,9 + 0}{0,9 + 0,1} = 0,9,$$

$$k_T(a_1, \varphi) = \frac{\mu_{a_1}(q_1)\mu_{b_1}(q_1) + \mu_{a_1}(q_2)\mu_{b_1}(q_2)}{\mu_{b_1}(q_1) + \mu_{b_1}(q_2)} = \frac{0,9 + 0}{1 + 0} = 0,9,$$

$$k_\Pi(a_2, \varphi) = k_T(a_2, \varphi) = 0,9,$$

откуда $\mu(l^1, l^0) = 0,8$.

Таким образом, $\mu(l^1, l^1) < \mu(l^1, l^0)$.

Замечание. Утверждение теоремы, справедливое в экстенсиональном аспекте, может столкнуться с определёнными затруднениями в интенсиональном аспекте. Несмотря на то, что l^0 осуществляет разбиение множества Q на непересекающиеся классы Q_c , не всегда удается так поименовать эти классы (дать словесную интерпретацию символам c), чтобы названия в точности соответствовали всем объектам $q \in Q_c$.

Теорема не определяет, каким образом строятся характеристические функции $\chi_a(q)$ множеств $Q_{\varphi(a)}$, но по известным значениям $\mu_a(q)$, $q \in Q$ можно указать способ их построения. Для меры совместности из выражения

$$k_{\Pi}(a) + k_T(a) = \frac{\sum_{q \in Q} (\mu_a(q)\chi_a(q))}{\sum_{q \in Q} \mu_a(q)} + \frac{\sum_{q \in Q} (\mu_a(q)\chi_a(q))}{\sum_{q \in Q} \chi_a(q)} \quad (3)$$

видно, что при фиксированном количестве элементов множества $Q_{\psi(a)}$, $|Q_{\psi(a)}| = \sum_{q \in Q} \chi_a(q) = m$ его значение тем больше, чем больше числитель дробей. А числитель дробей тем больше, чем

большим значениям $\mu_a(q)$ соответствуют единичные значения функции $\chi_a(q)$.

Таким образом, чтобы добиться наибольшего значения выражения (3), нужно задать единичные значения $\chi_a(q)$ m наибольшим значениям $\mu_a(q)$.

Упорядочим по убыванию значения $\mu_a(q)$: $\mu_1 \geq \mu_2 \geq \dots \geq \mu_N$, а также соответствующие им $q_i : q_1, q_2, \dots, q_N$ и определим, сколько единичных значений должна иметь функция $\chi_a(q)$, чтобы сумма в выражении (3) была наибольшей. Подсчитаем для всевозможных $m = 1, 2, \dots, N$ значения

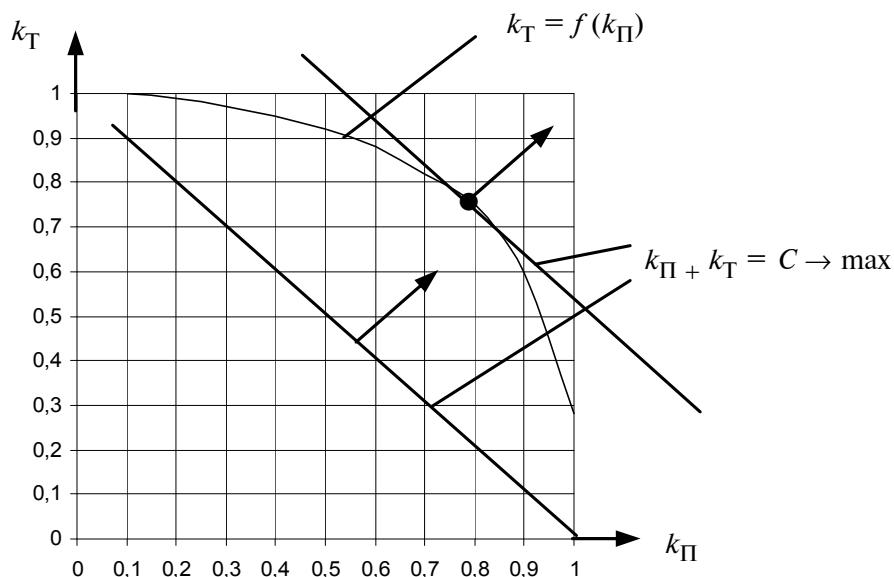
$$s_a(m) = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_i}{H} + \frac{\sum_{i=1}^m \mu_i}{m}, \text{ где обозначено } H = \sum_{q \in Q} \mu_a(q).$$

Найдя $m = m_0$, при котором $s_a(m)$ принимает наибольшее значение, определим искомую функцию:

$$\chi_a(q_i) = \begin{cases} 1 & \text{при } i \leq m_0, \\ 0 & \text{при } i > m_0. \end{cases}$$

Затем по формуле (1) и дальнейшему описанию строятся множества Q_c и преобразование ψ . Мера совместности при этом будет равна

$$\mu(l^1, l^0) = \sum_{a \in A} p(a)s_a(m_0(a)) - 1$$



Графическое решение задачи $k_{\Pi} + k_T = C \rightarrow \max$ при $k_T = f(k_{\Pi})$

Максимально возможное значение меры совместимости можно также определить графически (см. рисунок), построив для каждого $a \in A$ кривую $k_{\Pi} = f(k_T)$ оптимальных значений характеристик с помощью алгоритма, описанного в работах [3, 4], для массива $\mu_a(q)$, $q \in Q$ и найдя максимум функции $g(k_{\Pi}, k_T) = k_{\Pi} + k_T$ при $k_{\Pi} = f(k_T)$.

Точка (k_{Π}, k_T) , дающая решение этой задачи, является точкой касания кривой $k_{\Pi} = f(k_T)$ и линии уровня $g(k_{\Pi}, k_T) = k_{\Pi} + k_T = C$ при максимально возможном значении C .

Заключение. Если классификация задаётся с помощью нечётких признаков, то полной совместимости этой классификации с любой другой ожидать не приходится, даже если речь идёт о совместимости классификации с самой собой. При поиске (например, с помощью АИС) по нечёткой системе понятий неизбежно возникают информационные потери и/или информационные шумы. Такого рода неприятности возникают при поиске информации как в рамках одной системы классификации, так и при переводе запросов на язык

другой системы классификации. В связи с этим представляет интерес вопрос о существовании классификации, наиболее совместимой с данной. Показано, что существует такая чёткая альтернативная классификация, которая совместима с данной нечёткой классификацией в наибольшей мере, и указан метод её построения.

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. **Соколов А.В.** Методика оценки эффективности поиска по нечётким характеристикам в автоматизированных информационных системах // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 3. С. 25–32.
4. **Соколов А.В.** Методика оценки максимально возможных значений показателей эффективности поиска текстовой информации // Информационные технологии. 2009. № 5. С. 18–24.



ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Ю.И. Головин

2012 г. Объем 656 с. Формат 60x88 1/16 Переплёт ISBN 978-5-94275-662-8 Цена 800 р.



Изложены физико-химические основы нанотехнологии. Особенное внимание удалено размерным эффектам различной природы и путям их практического использования в различныхnanoструктурах и изделиях. Рассмотрены современные методы получения, исследования и определение свойств наноматериалов. Систематизированы и описаны основные направления развития нанотехнологий и нанотехники: физическое наноматериаловедение и наномеханика, наноэлектроника и нанобиотехнологии.

Наряду с общими положениями приведено большое число примеров конкретных разработок, доведенных до промышленного производства. Автор использовал как литературные, так и собственные данные. Книга содержит обширный ссылочный аппарат, включающий зарубежные и отечественные источники.

Для инженерно-технических работников, осваивающих и использующих нанотехнологические процессы, а также может быть полезна студентам и аспирантам, специализирующимся в этой области.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Строгинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU



УДК 658.512.2

А.П. Попов, канд. техн. наук

(Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»)

vgm@stankin.ru

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрена структурно-функциональная модель производственной системы, приведено описание структурного анализа и соответствующих описательных средств. Показано, что декомпозиция функциональной структуры позволяет получить иерархию задач создания системы. Представлена производственная система как многофазная система преобразования представлений объектов.

Ключевые слова: структурно-функциональная модель, производственная система, структурный анализ, диаграмма, многофазная система.

The structural-functional model of production system is considered. It is shown that the decomposition of the functional structure allows to create a hierarchy of the tasks of the system. Production system as transformation multiphase system of the objects presentation is given.

Key words: structural-functional model, production system, structural analysis, chart, multiphase system.

Методология структурного анализа. Ниже приводится краткое описание методологии структурного анализа и соответствующих программных средств, используемых для описания функциональной структуры производственной системы [1–3].

С системотехнической точки зрения удобно выделить четыре вида интерфейсов системы (функциональных блоков) с внешней средой: вход, выход, управление, механизм (поддержка).

Графически функциональный блок представляется прямоугольником с набором входных и выходных стрелок (см. рисунок).

Стрелками типа «вход» обозначается входной поток объектов различной природы (в том числе и абстрактных объектов), которые преобразуются в выходные объекты, для представления которых используются стрелки типа «выход». Стрелки типа «управление» изображают параметры выполнения функции. В общем случае под управлением могут пониматься цели, ограничения, методы, общие данные и т. д. Стрелки типа «механизм» представляют средства, непосредственно реализующие функцию. Сюда же можно отнести и необходимые ресурсы.

Так, например, на вход производственной системы, состоящей из специалиста (токаря) и токарного станка, поступают заготовки. На выходе появляются готовые детали. В качестве управления рассматривается сменно-суточное задание

выпуска деталей, а также описание технологического процесса. Механизмом реализации функции выпуска деталей является токарь, станок и его оснащение.

При таком подходе к концептуальному проектированию нет различия между интерфейсными объектами различной природы, что позволяет одними средствами описывать функциональную структуру систем с произвольной комбинацией информационных и материальных потоков.

Описание сложных систем может быть получено с помощью пошаговой декомпозиции: от представления системы в виде одного блока до уровня, достаточного для согласования представлений заказчика и разработчика о целях создания, функциях и интерфейсах системы. Дальнейшая декомпозиция осуществляется уже разработчиком для реализации.

Необходимо отметить, что предлагаемый подход позволяет описать не только разрабатываемую прикладную систему, но и систему, её разрабатывающую. Выходом разрабатывающей системы является прикладная система, а выходом последней – объекты, для выпуска которых она и создавалась. В общем случае возможно построение функциональной модели сложных процессов проектирования произвольных систем. Функциональная модель создания достаточно сложной системы обычно представляется в виде IDEF-диаграммы (это декомпозиция блока «функция» на рисунке).



Виды интерфейсов функционального блока

Диаграмму, описывающую функциональную структуру некоторой системы, можно трактовать как постановку задачи создания этой системы. А именно, описание входов, выходов и управления каждого функционального блока представляет её функциональную спецификацию, в то время как связи механизмов указывают на задачу создания системы, реализующую соответствующий функциональный блок. Таким образом, декомпозиция функциональной структуры позволяет получить иерархию задач создания системы. Данное обстоятельство имеет важное практическое значение. Так как появляется возможность систематического построения иерархии задач создания системы, согласованной с функциональной структурой данной системы [4, 5].

Производственная система как многофазная система преобразования представлений объектов. При анализе функциональной структуры системы сначала следует выбрать основополагающие принципы декомпозиции. При разработке программы для ЭВМ такими принципами являются определение и упорядочение во времени укрупнённых арифметических, логических и управляющих операций (подпрограмм), позволяющих в совокупности реализовать заданное целевое вычисление.

Для производственной системы основополагающим принципом декомпозиции является жизненный цикл и функции управления им. Выбор конкретных фаз и функций управления при декомпозиции является «аксиомой», обосновывающей не столько логическим образом, сколько исходя из практики создания и эксплуатации реальных систем.

Принципиальным моментом является то, что в производственной системе изделие имеет несколько видов представления, начиная от исходных требований и заканчивая выходящим продуктом. Соответственно, декомпозицию производственной системы можно осуществить на основе выделения существенно различающихся представлений

изделия, соответствующих в конечном итоге некоторым fazам жизненного цикла.

Декомпозиция жизненного цикла на фазы связана со следующими представлениями изделия: спецификацией требований; конструкторской документацией; описанием технологического процесса изготовления; полученным результатом; инструкцией по эксплуатации изделия как предмета, удовлетворяющего интересам потребителя.

Таким образом, производственная система может рассматриваться как система, выполняющая многофазную трансформацию представлений изделия. Это позволяет унифицировать построение отдельных подсистем с точностью до объектов, над которыми выполняется преобразование, в то время как структура преобразований в каждой фазе может оставаться неизменной. Именно достижению целей унификации (регуляризации) и служит введение функций управления жизненным циклом. Соответственно, на первом уровне декомпозиции фаз по функциям получаются структурно-изоморфные модели, отличающиеся только содержанием стрелок, что весьма полезно с точки зрения практического проектирования.

В основе функциональной структуры производственной системы лежит матричная декомпозиция жизненного цикла. Под функциональной структурой понимается модель, описывающая множество функций (функциональных блоков), информационных и материальных связей между ними. Сами функции трактуются как некоторые операции по преобразованию (порождению, уничтожению) объектов произвольной природы. Соответственно, связи понимаются, в первую очередь, как обмен объектами (предметами, сообщениями, сигналами) между функциональными блоками.

Описанные выше принципы позволяют представить интегрированную производственную систему, как уже говорилось, в виде IDEF-диаграммы в соответствии с принятым делением жизненного цикла на фазы.

Каждая фаза представляется функциональным блоком с множеством входных и выходных стрелок, укрупнённо показывающих содержание информационных и материальных потоков между различными фазами. Важно подчеркнуть, что функциональная структура системы не обязательно соответствует её организационной структуре [6].

Выводы. Проектирование производственной системы следует начинать с построения её структурно-функциональной модели в соответствии с методологией структурного анализа.

Декомпозиция функциональной структуры позволяет получить иерархию задач создания системы, т. е. программу действий проектировщика.

Данное исследование выполнялось в рамках государственного контракта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Библиографические ссылки

1. **Калянов Г.Н.** CASE-технологии. Консалтинг в автоматизации бизнес-процессов. М.: Горячая линия–Телеком, 2000. 320 с.
2. **Кулябов Д.С., Корольков А.В.** Введение в формальные методы описания бизнес процессов. М.: РУДН, 2008. 173 с.
3. **Боггс У., Боггс М.** UML и Ration Rose / пер. с англ. М.: Лори, 2001. 580 с.
4. **Кватрини Т.** Ration Rose и UML. Визуальное моделирование / пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 2001. 176 с.
5. **Ларман К.** Применение UML и шаблонов проектирования. Введение в объектно-ориентированный анализ и проектирование / пер. с англ. М.: Вильямс, 2001. 496 с.
6. **Калянов Г.Н.** Моделирование, анализ, реорганизация и автоматизация бизнес-процессов. М.: Финансы и статистика, 2006. 285 с.



ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

МЕТОДЫ РАСЧЕТА УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ АВИАКОНСТРУКЦИЙ

В.Е. Стрижиус

2012 г. Объем 272 с. Формат 60x88 1/16 Переплет ISBN 978-94275-652-9 Цена 400 р.



Изложены методы и процедуры, позволяющие выполнять инженерные расчеты усталостной долговечности типовых конструктивных элементов самолета на этапах эскизного и рабочего проектирования.

Предлагаемые методы синтезируют наиболее апробированные теоретические и практические положения ряда известных отечественных и зарубежных методов расчета усталостной долговечности элементов авиационных конструкций и позволяют значительно упростить расчеты и обеспечить их приемлемую точность.

При разработке методов и процедур использованы, в частности, некоторые положения методов и процедур расчета усталостной долговечности элементов авиаконструкций фирм Boeing и Lockheed, представленные в открытых публикациях (на английском языке) бывшего главного инженера испытательных лабораторий фирмы Boeing Ульфа Горансона (Ulf Goranson) и бывшего старшего инженера-исследователя фирмы Lockheed Майкла Ниу (Michael Niu).

Для инженеров ОКБ и научных работников НИИ, занимающихся практическими расчетами усталостной долговечности элементов авиационных конструкций, может быть также полезна студентам и аспирантам авиационных вузов.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU



ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

МЕТАЛЛООБРАБОТКА – 2013

С 27 по 31 мая 2013 г. в Центральном выставочном комплексе «Экспоцентр» прошла 14-я международная выставка «Металлообработка – 2013», которая на протяжении многих лет входит в десятку ведущих международных промышленных форумов и в число крупнейших инновационных проектов ЦВК «Экспоцентр». Она проводится в партнёрстве с Российской ассоциацией производителей станкоинструментальной продукции «Станкоинструмент» при поддержке Совета Федерации Федерального Собрания РФ, Министерства промышленности и торговли РФ, Союза машиностроителей России. Смотр традиционно проходит под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ и Правительства Москвы.

Выставка отмечена Знаками Всемирной ассоциации выставочной индустрии (UFI), Российского союза выставок и ярмарок (РСВЯ) и пользуется заслуженным авторитетом среди мировых производителей металлообрабатывающего оборудования.

В этом году «Металлообработка-2013» продемонстрировала рекордные за всю историю выставки показатели. Выставочная площадь по сравнению с прошлым годом выросла на 12 % и составила 38 000 м² нетто. Количество участников увеличилось на 24 % – до 1200 компаний и предприятий, из которых более 60 % – российские. В выставке приняли участие экспоненты из 40 стран мира.

Традиционно широкое участие ведущих отраслевых ассоциаций и крупнейших зарубежных производителей станкоинструментальной продукции свидетельствует о высоком уровне выставки и широких перспективах кооперации и сотрудничества с российскими станкостроителями для реализации государственной политики по модернизации отечественного машиностроительного комплекса.

Доля иностранного участия составила около 40 %. Среди иностранных экспонентов – ALELETH, AMADA, BALLUFF, DMG, GALIKA, GERTNER, GROB-WERKE, HANDTMANN, EMAG-GRUPPEN, JUNKER ERWIN, MAZAK, MUELLER MACHINES, MORI SEIKI, SANDVIK, TRUMPF, WILLEMIN MACODEL и многие другие всемирно известные компании.

Коллективные экспозиции при поддержке национальных отраслевых ассоциаций представили Белоруссия, Германия, Испания, Италия, Китай, Тайвань, Чехия, Франция и Швейцария.

В этом году увеличились выставочные площади национальных экспозиций Германии, Китая, Чехии и Швейцарии. Так, более чем на 1000 м² выросла выставочная площадь национальных павильонов Германии и Швейцарии.

Организатор французской экспозиции UBIFRANCE – агентство по продвижению французского бизнеса за рубежом, в партнёрстве с Ассоциацией SYMOP (Объединение машин и производственных технологий), Технопарком механического оборудования VIA-MECA и ТПП Сент-Этьен Монбрizon в четвёртый раз предоставило на выставке технологии металлообработки из Франции.

Российское участие представлено 700 ведущими отечественными станкостроительными предприятиями, организациями и инжиниринговыми фирмами, в числе которых: ООО «Савёловский машиностроительный завод», ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ», ОАО «Тяжмехпресс», ОАО «САСТА», ЗАО «Станкозавод “ТБС”», ОАО «Московский инструментальный завод», ЗАО «МСЗ-Салют», ЗАО «Краснодарский станкостроительный завод “Седдин”», ОАО «Рязанский станкостроительный завод», ООО «Владимирский станкостроительный завод “ТЕХНИКА”», ООО «Киров-Станкомаш», ООО НПО «Станкостроение» (г. Стерлитамак), ОАО «НИИизмерения», ОАО «Кировоградский завод твёрдых сплавов» и др.

Вниманию специалистов были предложены следующие тематические разделы:

комплексные технологии на базе высокопроизводительного оборудования, инструмента и оснастки для технического перевооружения предприятий: металлорежущее, кузнечно-прессовое, литейное, сварочное оборудование; оборудование, инструменты, материалы, технологии для обработки поверхностей и нанесения покрытий; металлорежущие инструменты; контрольно-измерительные машины, приборы и инструменты;

комплектующие узлы и изделия, технологическая оснастка, программное обеспечение, эксплуатационные материалы;

ремонт и модернизация технологического оборудования, запасные части, услуги;

развитие современных информационных CALS-технологий в реальном секторе экономики;

современные материалы для металлообработки;

научно-техническая литература и информация, реклама в металлообработке.

В тематике выставки большое внимание было удалено вопросам специального образования и подготовке высокопрофессиональных кадров для предприятий станкостроительной отрасли. Уже традиционным для выставки «Металлообработка» стал специальный раздел «Наука, профильное образование и производство», подготовленный Ассоциацией «Станкоинструмент» при содействии ЦВК «Экспоцентр» и Ассоциации технических университетов. Семнадцать ведущих технических университетов, колледжей и региональных технических центров представили свои программы по подготовке и переподготовке инженерно-технических специалистов, обсудили вопросы технического оснащения учебных центров и интеграции образовательного процесса и производства.

Впервые на выставке «Металлообработка – 2013» был осуществлён новый проект «Экспоцентр» – за выставки без контрафакта», направленный на уменьшение случаев демонстрации контрафактных товаров на смотрах. Участников и посетителей выставки консультировали высокопрофессиональные юристы, информируя о существующей практике и возможностях правовой защиты объектов интеллектуальной собственности, оказывать юридическую помощь в поиске путей разрешения конфликтных ситуаций в области нарушения исключительных прав.



ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

Рациональная область применения эффекта Баушингера в комбинированных методах волочения. Автомобильная промышленность. 2012. № 6.

Дан анализ комбинированного метода обработки с применением фундаментальных физических эффектов, к которым относится эффект Баушингера, позволяющий интенсифицировать технологию получения высококачественных профилей волочением.

Молекулярно-кинетический перенос углерода в поверхностные слои детали при ультразвуковом выглаживании. Автомобильная промышленность. 2012. № 7.

Приведена концептуальная модель термопереноса углерода в процессе финишной обработки ультразвуковым выглаживанием и его влияние на формирование физико-механических свойств поверхностного слоя деталей.

Дизель со сниженной степенью сжатия. Автомобилестроение за рубежом. 2012 № 7.

Компания Mazda в 2012 г. намерена освоить производство технологий SKYACTIV, которые должны обеспечить снижение расхода топлива выпускаемых компанией автомобилей на 30 % при выполнении норм выброса вредных веществ Евро-6. Одним из объектов новых разработок стал четырехцилиндровый дизель SKYACTIV-D-Clean рабочим объёмом 2,2 л. Его основной особенностью является необычно низкая для малоразмерных дизелей степень сжатия – 14.

Математическое моделирование управления частотой вращения вала дизеля с топливной системой Common Rail. Вестник машиностроения. 2012. № 6.

Предложена математическая модель управления частотой вращения вала дизелей с топливной системой Common Rail путём управления временем впрыска и нагрузкой.

Расчёт магнитожидкостных демпфирующих элементов системы подпрессоривания колёсных и гусеничных машин. Вестник машиностроения. 2012. № 7.

Рассмотрены основы расчёта магнитожидкостных демпферов с целью улучшения эксплуатационных характеристик демпфирующих элементов в системах демпфирования колёсных и гусеничных машин.

Экспериментальное определение показателей точности балансировки коленчатого вала и вала в сборе при ремонте двигателей. Грузовик. 2012. № 6.

Приведена методика, позволяющая с использованием данных экспериментов определять значения коэффициентов масштаба и взаимного

влияния плоскостей маховика и шкива, чувствительностей индикаторов значения и угла дисбаланса балансировочного станка для указанных плоскостей коленчатого вала и вала в сборе при ремонте двигателей. Эти коэффициенты и чувствительности являются показателями точности балансировки перечисленных узлов. Представлены рандомизированные планы экспериментов с целью определения рассматриваемых показателей точности балансировки указанных узлов и их значения при ремонте двигателей рабочими объёмами 2,445; 4,25 и 6 л. При применении разработанных электрических схем преобразователей измерительной системы балансировочного станка КИ-4274 и контрольных роторов значения упомянутых показателей точности находятся в допустимых пределах. Это позволяет с высокой точностью балансировать коленчатый вал и вал в сборе, обеспечить выпуск двигателей из ремонта с допустимыми дисбалансами. В результате повышаются их долговечность и вероятность безотказной работы, снижаются вибрации и шум.

Математическое моделирование гибких роторов турбомашины при проектировании страховочных подшипников. Вестник машиностроения. 2012. № 6.

Представлены аспекты моделирования динамики выбега гибкого вертикального ротора при отказе электромагнитного подвеса и последующего взаимодействия ротора со страховочными подшипниками скольжения колодочного типа при сухом трении, установленными с зазором относительно ротора.

Контроль технического состояния военной автомобильной техники неинтенсивного использования. Грузовик. 2012. № 7.

Представлены результаты анализа основных отказов и повреждений на машинах неинтенсивного использования, которые позволили установить распределение отказов и повреждений по агрегатам и системам военных машин. Представлено применение осциллографического метода контроля технического состояния системы электропуска машин неинтенсивного использования.

Влияние технологии сварки на свойства соединений листов сплава системы Al-Zn-Mg. Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 6.

Рассмотрено влияние состава присадочной проволоки на механические и коррозионные свойства сварных соединений сплава системы Al-Zn-Mg, выполненных автоматической аргонодуговой сваркой. Проанализированы свойства

сварных соединений исследуемого сплава, полученных сваркой трением с перемешиванием, в сравнении со свойствами соединений при аргонодуговой сварке.

Кристаллографический механизм образования двойников под влиянием азота при выращивании монокристаллов жаропрочных никелевых сплавов. Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 7.

Предложен механизм образования кристаллов произвольной ориентации при выращивании монокристаллических заготовок жаропрочных никелевых сплавов для лопаток газотурбинных двигателей. При повышенном содержании азота в металле (более 0,001 % мас.) нитрид титана в момент своего образования разворачивает кристаллическую решётку матрицы, в результате чего образуется двойник.

Наукоёмкая технология обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов. Наукоёмкие технологии в машиностроении. 2012. № 7.

Теоретически и экспериментально обоснован технологический процесс шлифования деталей машино- и приборостроения дисковым металлическим инструментом, рабочая поверхность которого непрерывно в процессе обработки формируется путём электроискрового нанесения микронеровностей, с воздействием ультразвука. Процесс позволяет повысить эффективность и качество финишной обработки жаропрочных и коррозионно-стойких сталей и сплавов, уменьшить засаливание инструмента и снизить температуру в зоне резания.

Планализация поверхности многослойных углеродных наноструктур методами ионно-плазменной технологии. Наноинженерия. 2012. № 7.

Рассмотрены вопросы, связанные с увеличением коэффициента отражения рентгеновского излучения от многослойных углеродных наноструктур. Показано, что основной вклад в уменьшение коэффициента отражения вносит шероховатость поверхности верхнего слоя многослойной углеродной наноструктуры. Предложена технология планаризации поверхности, позволяющая увеличить коэффициент отражения рентгеновского излучения на 30 %.

Новые лазерные технологии радикального повышения износостойкости ответственных деталей в машиностроении. Наукоёмкие технологии в машиностроении. 2012. № 6.

Разработаны технологии радикального повышения износостойкости и срока службы ответственных металлических деталей в машиностроении на основе лазерного упрочнения без оплавления поверхности, в том числе без нарушения макро- и микротекстур этих поверхностей. Выполнены исследования по фундаментальным основам ла-

зерного наноструктурирования покрытий для термоупрочнения поверхности различных изделий.

Твёрдосмазочные покрытия на основе нанокомпозитных структур гетеро-трибологических материалов. Наноинженерия. 2012. № 6.

Представлены исследования трибологических характеристик тонкоплёночных твёрдосмазочных покрытий на основе износостойких и твёрдосмазочных материалов с различными вариантами нанокомпозитной структуры, формируемой методами магнетронного осаждения, ионно-лучевой и лазерной обработки.

Наукоёмкая технология обработки полимерных материалов резанием. Наукоёмкие технологии в машиностроении. 2012. № 7.

Представлены новые методы достижения высокой точности и качества обработки полимерных покрытий на крупногабаритных нежёстких изделиях.

Программно-аппаратный комплекс проектирования жидкостных ракетных двигательных установок. Полёт. 2012. № 6.

Рассмотрены состав и методика разработки программно-аппаратного комплекса проектирования двигательных установок ракет-носителей «Ангара». Показано, что использование математического моделирования и результатов испытаний конструктивно подобных изделий позволяет существенно сократить объём стендинговой отработки.

Моделирование управляемого движения микроспутника с магнитными и гравитационными исполнительными органами. Полёт. 2012. № 7.

Моделируется процесс обеспечения ориентации микроспутника по местной вертикали с поддержанием низкого уровня угловых скоростей на борту. Для решения данной задачи в систему управления микроспутника включены гравитационная штанга и электромагнитные катушки. При проведении численного моделирования выявлены конструктивные особенности микроспутника и наилучший закон управления электромагнитными катушками.

Повышение контактной выносливости тел качения в моторных маслах. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2012. № 7.

Представлены результаты исследований контактной выносливости тел качения в смазочных материалах с алюминийсодержащей смазочной композицией. Выполнены эксперименты по влиянию моторных масел на изменение микротекстур поверхностного слоя шаров. Проведены рентгеноспектральные исследования зоны трения тел качения. Показано, что введение алюминийсодержащей смазочной композиции в моторные масла способствует повышению контактной выносливости тел качения за счёт формирования металлсодержащей пленки.