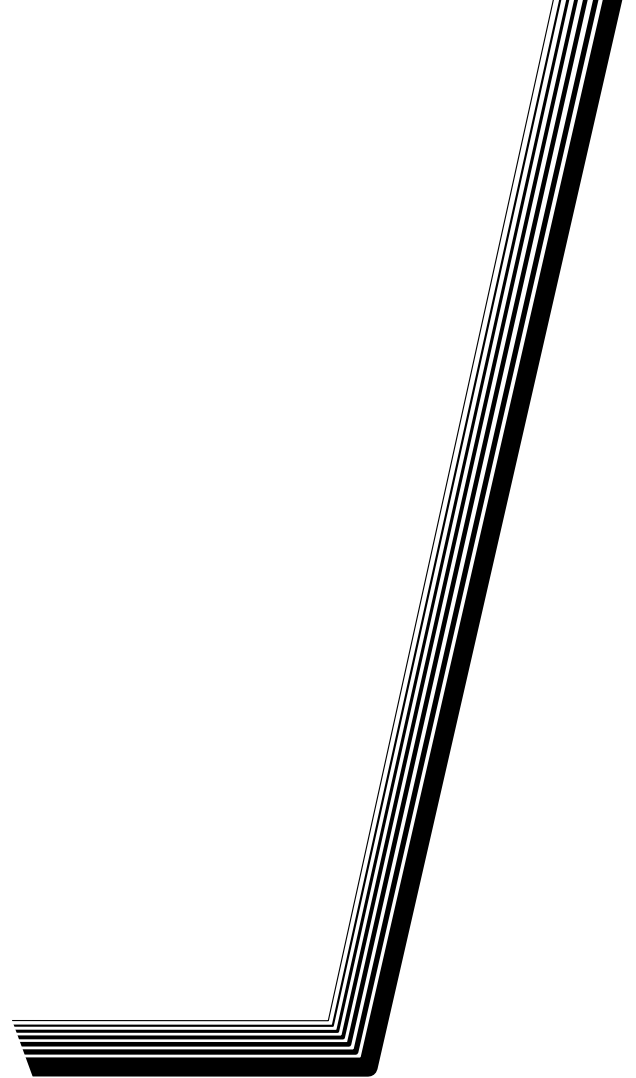


ВЕСТНИК



Сибирского государственного
аэрокосмического университета
имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 4 (44)

Красноярск 2012

ВЕСТНИК

Сибирского государственного
аэрокосмического университета
имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 4(44)

Главный редактор

доктор технических наук
Ковалев И. В.

Заместители главного редактора:

доктор физико-математических наук
Логинов Ю. Ю.

доктор физико-математических наук
Сенашов С. И.

доктор технических наук
Михеев А. Е.

кандидат технических наук
Зеленков П. В. (отв. секретарь)

Редакционная коллегия:

Аплеснин С. С.
Головенкин Е. Н.
Ерыгин Ю. В.
Краев М. В.
Лаптенко В. Д.
Ловчиков А. Н.
Медведев А. В.
Москвичев В. В.
Сафонов К. В.
Смирнов Н. А.
Сомов В. Г.

Учредитель

Сибирский
государственный
аэрокосмический
университет
имени академика
М. Ф. Решетнева

К СВЕДЕНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

«Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева» (Вестник СибГАУ) – межрегиональный научный журнал, содержащий результаты научных исследований в области естественных, технических и прикладных наук по вопросам проектирования, производства и эксплуатации авиационной и ракетно-космической техники, а также экономики.

Представленные в журнал статьи публикуются после обязательного рецензирования и при оформлении их в соответствии с требованиями редакции (www.vestnik.sibsau.ru)

Периодичность – 4 раза в год
Специальный выпуск – 1 раз в год

Электронная версия журнала представлена на сайте Научной электронной библиотеки (<http://www.elibrary.ru>) и сайте журнала (www.vestnik.sibsau.ru)

Журнал включен в каталоги:
русской прессы «Роспечать» (МАП) – 11399;
объединенный «Пресса России» – 39263

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 660014, Красноярск, проспект имени газеты
«Красноярский рабочий», 31, П-415
Тел./ факс (391)291-90-19
E-mail: vestnik@sibsau.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охраны культурного наследия, свидетельство ПИ № ФС77-22189 от 27.10.2005 г.

Журнал включен ВАК России в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук»

При перепечатке или цитировании материалов из журнала «Вестник СибГАУ» ссылка обязательна

Редакторы О. А. Плехова, Т. Е. Ильющенко,
Е. Г. Некрасова, Т. А. Ермолаева, О. А. Кругликова
Редактор английского текста А. Г. Никитина
Оригинал-макет и верстка Е. К. Бурнакова

Подписано в печать 20.12.2012. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 29,0.
Уч.-изд. л. 38,0. Тираж 1000 экз. Заказ 87/173. С 188/12.

Редакционно-издательский отдел

Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.

660014, г. Красноярск,

просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.

Отпечатано в типографии ИП Суховольской Ю. П.
660125, г. Красноярск, ул. Водопьянова, 2-241

РАЗДЕЛ
1



МАТЕМАТИКА,
МЕХАНИКА,
ИНФОРМАТИКА



МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Предлагается аналитико-оптимизационная процедура моделирования реализации технологических процессов на вычислительных сетях автоматизированных систем управления.

Ключевые слова: технологический процесс, вычислительная сеть, моделирование, направленный граф.

Сложная взаимосвязь операций технологических процессов (ТП) и процессов их реализации на вычислительных средствах при их автоматизации требует как автоматизации этапа формирования последовательностей операций, так и оптимальной программной реализации автоматизированного управления их выполнением. В общем случае при автоматизации управления достаточно сложными технологическими процессами АСУ ТП является многокомпонентной, т. е. имеет много процессоров.

Каждой операции соответствует последовательно-параллельный процесс срабатывания компонентов аппаратуры управления ТП. Время выполнения этого процесса зависит как от характеристик надежности компонентов АСУ, так и от надежности программного обеспечения (ПО).

Сформулируем задачу, в которой определена основная взаимосвязь операций ТП и процессов их реализации на вычислительной сети (ВС) АСУ, т. е. задачу отображения ТП на многокомпонентную ВС.

ТП описывается ориентированным графом. Со всеми вершинами графа сопоставим задачи управления выполнением операций ТП и задачи обработки информации. Каждая задача имеет спецификацию. Другой ориентированный граф соответствует структуре ВС. Отождествляемые с компонентами структуры, все вершины этого графа также имеют спецификации.

Необходимо определить возможность реализации ТП на изначально заданной структуре ВС и, если это возможно, указать программу или множество программ работы структурных компонентов, обеспечивающих реализацию заданного (либо множества заданных) ТП. Минимальное время реализации этого ТП должно быть удовлетворительным с учетом надежности аппаратных и программных средств ВС, так как качество реализации ТП зависит от этих характеристик.

Очевидно, что один и тот же аппаратно-программный комплекс может реализовать как различные ТП, так и один и тот же, но с различными временными характеристиками. Поэтому можно определить программу работы при следующих условиях:

- для всех срабатываний структурного компонента должны быть определены компоненты, предоставляющие входную информацию и потребляющие выходную;
- для этих компонентов указаны моменты инициализации, т. е. в эти моменты операции ТП начинают

выполняться, что соответствует планированию средств системы;

- тип и длительность операции (задачи) указаны для всех моментов.

Отметим, что последнее из условий необходимо, если некоторый компонент ВС может выполнять как различные задачи, так и однотипные, но с различными временными характеристиками.

Как видно из вышесказанного, решение поставленной задачи заключается в установлении взаимно однозначного соответствия между вершинами графа ТП и некоторым множеством последовательностей операций, реализуемых компонентами ВС АСУ. Это соответствие полностью определяет весь обмен информацией в сети.

После выбора моментов инициализации возможны два варианта: либо компоненты сети срабатывают и реализуют ТП, либо не срабатывают и останавливаются. Но даже в том случае, если все компоненты сети срабатывают, процесс реализации ТП может быть неудовлетворительным по многим причинам. Например, время реализации будет слишком большим.

Должны быть определены следующие данные:

- функция, которая устанавливает взаимно однозначное соответствие между вершинами графа ТП и каждым моментом инициализации компонентов ВС;
- потоки информации между компонентами;
- моменты инициализации компонентов.

Также в качестве исходных данных используется вектор реализации, компоненты которого представляют собой длительности выполнения задачи, находящейся в начале дуги графа ТП. Можно с уверенностью сказать, что ВР задается структурой ВС.

В процессе решения необходимо многократно повторять последовательные этапы оптимизации целевого функционала (при выборе оптимального времени реализации ТП, согласно составу мультиверсий ПО, анализа реализуемости ТП (корректности заданных временных ограничений) и коррекции ТП. Перечислим шаги аналитико-оптимизационной процедуры этого этапа:

- для заданного ТП (либо совокупности ТП) выбирается состав мультиверсионного ПО с применением приближенных методов;
- проводится анализ и коррекция ТП;
- для получения субоптимальной по времени реализации ТП определяется критический путь на графовой модели;

– оптимизируется критический путь графа ТП точными методами;

– в том случае, если значение целевого функционала улучшилось, повторяется этап анализа и коррекции ТП, затем последующие шаги данной процедуры повторяются до тех пор, пока значение целевого функционала либо останется неизменным, либо ухудшится.

Рассмотрим подробно модели и методы [1–3] анализа и оптимизации ТП, которые используются в рамках приведенной выше аналитико-оптимизационной процедуры и позволяют получать как аналитические, так и вероятностные характеристики процессов управления.

Поскольку описание технологических процессов не зависит от типа АСУ, мы имеем начальное значение вектора временной развертки (ВВР) для графа ТП $G: t = (t_1, t_2, \dots, t_n)$, где t_i соответствует времени задерживания компонента структуры ВС, для решения задачи находящейся в i -й вершине графа G . ВВР полностью определяет информационное взаимодействие между структурными компонентами сети.

Граф управления реализацией технологического процесса G , построенный на этой структуре, описывается матрицей инцидентности $A \equiv [a_{ij}]$. Это правая матрица размерности $n \times m$, где

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-я дуга выходит из вершины } i, \\ -1, & \text{если } j\text{-я дуга входит в вершину } i, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Также мы используем вектор реализации $h = (h_1, h_2, \dots, h_m)$, где h_j является временем выполнения задачи обработки информации и управления ТП, находящейся в начале j -й дуги, и задается структурой ВС.

Для реализации ТП на заданной структуре ВС с заданным ВВР необходимо и достаточно выполнение следующего условия: если из i -й вершины графа ТП выходит j -я дуга, входящая в v -ю вершину, то разница $t_v - t_i$ должна быть не меньше, чем время выполнения задачи в i -й вершине:

$$t_v - t_i \geq h_j a_{ij}. \quad (1)$$

Время реализации ТП определим по формуле

$$T = \max_i (t_i + z_i) - \min_i t_i,$$

где z_i является временем выполнения задачи, реализация которой начинается в момент t_i .

Для случая, когда неравенство (1) не выполняется, предлагается следующий алгоритм коррекции ТП, который позволяет производить замену компонентов ВВР на удовлетворительные. Для того чтобы этот корректирующий алгоритм имел смысл, необходимо выполнение следующих условий.

1. Условие неотрицательности:

$$t_i \geq 0 \quad (i \in I), \quad (2)$$

где $I = \{i\}$ – совокупность операций ТП.

2. Условие завершения предыдущих операций ТП:

$$\sum_{t_j \leq t_i} z_i \leq t_i \quad (i, j \in I). \quad (3)$$

3. Условие логической последовательности:

$$t_i \geq a_{ij} t_j \quad (i, j \in I), \quad (4)$$

где a_{ij} – коэффициент связности задачи; t_i и h_i – компоненты векторов ВВР и ВР соответственно.

Для каждой задачи ТП введем параметры: t_i^f – момент времени, до истечения которого ценность i -й задачи остается максимальной; t_i^s – момент времени, до истечения которого выполнение i -й задачи невозможно:

$$t_i^s \leq t_i \leq t_i^f.$$

Очевидно, что

$$0 \leq t_i^s < t_i^f < T, \quad t_i^f - t_i^s \geq z_i,$$

где T – длительность реализации ТП.

Если условия (2)–(4) выполняются, то выполняются и условия $t_i^s < t_j^s$, $t_i^f < t_j^f$ для связанных операций i и j (i предшествует j). С другой стороны, если ТП существует, то $i < j \Rightarrow t_i^f \geq t_j^s$; $t_j^b \geq t_i^s + z_i$, где t_j^b и t_i^e – моменты начала j -й и завершения i -й задач.

Поэтому для каждой связанной пары i и j замена при коррекции ВВР «старых» значений t_i^{cr} на «новые» $\max(t_i^s, t_j - z_i)$ и соответственно, t_j^{cr} на $\min(t_j^f, t_i + z_i)$ не влияет на допустимость существования ТП. В результате «старые» координаты ВВР меняются на новые, удовлетворяющие следующим условиям:

$$1) i < j \Rightarrow t_i^{cr} \geq t_i^s; t_j^{cr} \geq t_j^f;$$

$$2) i < j \Rightarrow t_j^{cr} \geq t_i + z_i;$$

$$3) i < j \Rightarrow t_i^{cr} \leq t_j - z_i.$$

Итак, нами подробно рассмотрен второй шаг аналитико-оптимизационной процедуры.

Далее мы рассмотрим формальное представление этапов аналитико-оптимизационной процедуры. Эта формализация базируется на совокупности приведенных выше моделей и позволяет объединить их в рамках общей схемы.

Введем обозначения.

K – количество типов программных модулей на нижнем уровне иерархии;

k – конкретный экземпляр модуля r -го типа на нижнем уровне иерархии (на уровне мультиверсий); $k = 1, \dots, K_r$; $r = 1, \dots, K$;

h_j^{kr} – длительность выполнения операции ТП в начале j -й дуги с использованием k -го модуля r -го типа;

z_i^{kr} – время выполнения операции ТП с использованием k -го модуля r -го типа, с началом выполнения в момент t_i .

В общем случае можно показать, что для оптимального выполнения ТП приходится решать следующую задачу оптимизации:

$$\min_i (\max_i (t_i + z_i^{kr}) - \min_i t_i),$$

при

$$t_v - t_i \geq h_j^{cr} a_{ij}; \quad (5)$$

$$t_i^s \geq t_i \leq t_i^f,$$

причем (2)–(4) должны выполняться.

Неравенства (5) представляют ограничения, которым должен удовлетворять ВВР. Кроме того, вектор реализации h может иметь вероятностные характеристики выполнения задач, так как с каждым его компонентом можно связать функцию вероятности, используя GERT-анализ, что будет рассмотрено далее.

Задача оптимизации ПО АСУ может решаться с помощью статической стратегии и критерия стоимости. Для приведенной здесь постановки рассматривается критерий времени (в общем случае вероятностный).

Введем переменную y_i^{kr} , равную 1, если в момент t_i операция ТП начинает выполняться k -м модулем r -го типа, и 0 – в противном случае.

Тогда мы имеем

$$\min([\max_i(t_i + z_i^{kr}) - \min_i t_i] y_i^{kr})$$

при

$$t_v - t_i \geq y_i^{kr} h_j^{cr} a_{ij}$$

и неравенства (2)–(4) и (5) должны быть выполнены.

Согласно этапам аналитико-оптимизационной процедуры, мы применяем метод случайного поиска с адаптацией (МСПА) [4] в качестве эффективного метода решения.

Используя МСПА при решении, введем следующий метод коррекции результата. Получив критический путь графа ТП, мы можем связать с каждой задачей пути различные временные характеристики, соответствующие разным типам модулей ПО.

Итак, необходимо найти кратчайший путь для графа N ($p = |V(N)|$ – множество вершин; $q = |E(N)|$ – множество дуг), и в этом случае имеем следующую задачу сетевого анализа:

$$\min \left(\sum_j \sum_i c_{ji} f_{ji} \right)$$

при условиях

$$\begin{aligned} \sum_i f_{si} - \sum_i f_{is} &= 1, \\ \sum_i f_{ji} - \sum_i f_{ij} &= 0, j \neq s, j \neq t, \\ \sum_i f_{ti} - \sum_i f_{it} &= -1, f_{ji} \geq 0, \end{aligned}$$

где $c_{ij} = h_j^{kr}$; f_{ji} – емкость потока в сети N ; s – исток и t – сток сети N .

Для решения необходимо минимизировать функцию

$$\min \left(\sum_{e \in E(N)} h_j^{kr} f_{ji} \right).$$

Считаем, что имеет место сохранение потока в каждом узле сети; это означает, что поток, втекающий в узел, равен потоку, выходящему из него; ограничения по потоку не распространяются на исток и сток.

Введем обозначения: $f(e_i) = f_i$ и $c(e_i) = c_i(q = |E(N)|)$.

Имеем следующую задачу линейного программирования:

$$\min \left(\sum_{i=1}^q c_i f_i \right).$$

Далее, согласно аналитико-оптимизационной процедуре, если мы получаем лучшее решение $T_{\min}^*$, то мы должны повторить выполнение алгоритмов анализа и коррекции для ТП и шаг по оптимизации времени выполнения ТП с соблюдением граничных условий, поскольку есть вероятность изменения как ВВР, так и ВР. Повторяя этот шаг, мы можем получить новый критический путь графа ТП и улучшить решение. Если мы получим тот же результат, то работа алгоритма останавливается и процесс оптимизации последовательности выполнения ТП прекращается.

Для реализации же полной схемы необходимо остановиться на одном из важных этапов анализа ТП, который позволяет получить вероятностные характеристики времени реализации как отдельных операций, так и ТП в целом.

Введем обозначение веса $c_{ij} \in R_+$ для каждой дуги $\langle i, j \rangle$ решающей сети N . Вес дуги в N представляет собой затраты, возникающие при выполнении задачи ТП, соответствующей $\langle i, j \rangle$. Тогда на этапе проектирования выбирается некоторая успешная реализация ТП $w \in e^*$, причем термин «успешная» подразумевает то, что эта реализация приводит к задействию s , который соответствует успешному завершению процесса.

Сформулируем оптимизационную задачу: минимизировать C_w при условии, что $w \in e^*$ и w активирует s , где

$$C_w = \sum_{\langle i, j \rangle \in E} c_{ij} w_{ji}, \quad (6)$$

где C_w – затраты на некоторую реализацию ТП. Очевидно, что оптимизационная задача (6) позволяет рассматривать w -ую реализацию ТП как результат акции, предпринятой ЛПР.

Используя дуговые и узловые переменные, перепишем задачу (6) в более детальной форме:

$$\sum_{\langle i, j \rangle \in E} c_{ij} w_{ji} \rightarrow \min \quad (7)$$

при условиях, что

$$\begin{aligned} \sum_{k \in P(i)} w_{ki} &\geq X_i^- u_i (i \in V \setminus \{r\}), \\ \sum_{j \in S(i)} w_{ij} &\geq X_i^+ u_i (i \in V \setminus \{s\}), \\ w_{ij} &\in \{0, 1\}, \langle i, j \rangle \in E, u_i \in \{0, 1\}, u_s = 1. \end{aligned}$$

Первые два ограничения задачи (7) представляют собой условия узловой логики, тогда как оставшиеся ограничения говорят о том, что дуговые и узловые переменные – это бинарные переменные, и что сток s должен быть активирован. При некоторых допущениях поставленную задачу можно решить, используя известные схемы метода ветвей и границ.

В заключение нужно отметить, что предлагаемые модели позволяют решить задачи трех типов на этапе

конструирования ТП. Первая модель – это детерминированная модель, которая позволяет задачам ТП выполняться или один раз, или вообще не выполняться в течение любой реализации процесса. Допустимыми решениями этой задачи являются «успешные» допустимые w -е реализации ТП.

Вторая из рассмотренных моделей соответствует вероятностному выполнению задач. В этом случае допустимые решения для соответствующей задачи оптимизации – это допустимые случайные акции π . И, наконец, последняя модель, рассмотренная здесь, имеет дело с последовательностями случайных акций, что соответствует многочисленным исполнениям ТП, вплоть до успешного завершения процесса. Результат решения задачи – направления ψ , которые соответствуют последовательности случайных акций и могут быть получены за конечное число шагов итеративного алгоритма.

Е. А. Antamoshkina

TECHNOLOGICAL PROCESSES REALIZATION MODELING

The author suggests analytical optimization procedure for modeling of technical processes realization on computer nets of automation control systems.

Keywords: technological process, computer net, modeling, oriented graph.

© Антамошкина Е. А., 2012

УДК 519.688

К. В. Богданов, А. Н. Ловчиков

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ С СУЩЕСТВЕННЫМИ НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ С ПОМОЩЬЮ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Предлагается новый подход к созданию EDA-систем, предназначенных для моделирования схем, содержащих элементы, функционирование которых связано с резким изменением параметров и при математическом описании приводит к существенному возрастанию производных фазовых переменных, что при традиционном моделировании ведет к срыву вычислительного процесса.

Ключевые слова: электронные устройства, вычислительные алгоритмы, САПР, EDA-системы.

Современное программное обеспечение, применяющееся для моделирования различных процессов, начиная от нагрузочных испытаний и заканчивая переходными процессами в электронных схемах, основывается на архитектуре, заложенной еще на заре развития вычислительной техники, в 60–70-х гг. прошлого века.

Развитие данного класса программного обеспечения идет, как правило, по пути улучшения пользовательских интерфейсов, расширения базы данных электронных компонентов и т. п., в то время как основные вычислительные алгоритмы остаются прежними. Чаще всего все сводится к решению получившейся системы линеаризованных дифференциальных

Библиографические ссылки

1. Капулин Д. В., Ковалев И. В., Царев Р. Ю. Архитектурная надежность программного обеспечения информационно-управляющих систем : монография / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2011.
2. Антамошкин А. Н., Ковалев И. В., Царев Р. Ю. Математическое и программное обеспечение отказоустойчивых систем управления и обработки информации : монография / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2011.
3. Ковалев И. В., Зеленков П. В., Брезицкая В. В. Инструментальные средства формирования мультиверсионной архитектуры отказоустойчивых программных систем : монография / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2011.
4. Antamoshkin A. N., Saraev V. N., Semenko E. S. Optimization of unimodal monotone pseudoboolean functions // Kibernetika. 1990. Vol. 26, № 5. P. 432–442.

уравнений, являющейся математической моделью устройства. Численные методы решения при этом позволяют получать весьма точные результаты, но проблемы возникают при моделировании систем с большим количеством компонентов, что приводит к усложнению математической модели, и при моделировании систем, в которых имеются существенные нелинейности, значительно огрубляющие результаты моделирования либо приводящие к тому, что вычислительный процесс расходится [1; 2].

В работах [3] и [4] авторами был предложен иной подход к решению этой задачи: рассмотрение моделируемой схемы как совокупности конкурирующих независимых параллельных процессов.

Основные проблемы, связанные с такой схемой работы, заключаются в том, что необходимо обеспечить высокую степень взаимной изолированности вычислительных процессов, сохраняя возможность синхронизированного обмена данными. Можно провести аналогию с современными вычислительными сетями, где каждая вычислительная машина максимально «самостоятельна», но имеет возможность обмениваться данными, разбитыми на пакеты, с любой другой машиной в сети в произвольный момент времени. Однако существенным отличием здесь будет являться то, что каждый процесс должен выдавать и принимать порцию информации строго по синхронизирующему сигналу. В том случае, если процесс не успевает по каким-либо причинам это сделать, возможны два подхода: ожидание и уничтожение. В первом случае ни одна порция данных от других процессов не будет принята и не будет передана, пока от всех процессов модели не будет получен ответ. Во втором случае процессы, данные от которых не получены по истечении установленного времени, будут уничтожены либо перезапущены, а недостающие значения данных заменены на нулевые либо заранее принятые. Возможна и гибридная стратегия, когда процесс уничтожается после некоторого ожидания.

Реализация асинхронного обмена сообщениями, как это сделано, например, в вычислительных сетях на основе технологии Ethernet, может повлечь за собой серьезную проблему: результаты моделирования будут зависеть от производительности системы и без предварительного профилирования реализовать модель не получится.

Как при асинхронном, так и при синхронном обмене необходим отдельный процесс-маршрутизатор. В его функции входит сбор данных от остальных процессов, уничтожение процессов, не вылавивших данные в течение отведенного времени, рассылка данных по процессам в соответствии с таблицей взаимосвязей (рис. 1).

Реализовать такую систему возможно с помощью различных средств разработки ПО, но в данном слу-

чае был выбран Erlang (эрлэнг) – функциональный язык программирования, позволяющий разрабатывать программное обеспечение для разного рода распределенных систем. Язык разработан и поддерживается компанией Ericsson, включает в себя средства порождения параллельных процессов и их коммуникации с помощью посылки асинхронных сообщений. Программа транслируется в байт-код, исполняемый виртуальной машиной, что обеспечивает возможность ее выполнения в различных операционных системах. Функциональная парадигма позволяет Erlang избежать таких традиционных для императивных языков проблем распределенных приложений, как необходимость синхронизации, опасность возникновения тупиков и гонок [5].

Запущенный экземпляр эмулятора Erlang называется узлом. Узел имеет имя и располагает информацией о существовании других узлов на данной машине или в сети. Создание и взаимодействие процессов разных узлов не отличается от взаимодействия процессов внутри узла. Для создания дочернего процесса необходимо знать лишь его идентификатор (имя). При этом нет необходимости в указании конкретного физического узла, на котором этот процесс будет выполняться. Этим обуславливается высокая масштабируемость и способность почти линейного повышения производительности с ростом мощности системы (кластера) [6].

Количество рассылаемых сообщений будет зависеть исключительно от топологии моделируемой системы.

Очевидно, что для функционирования системы необходимо иметь несколько различных типов элементов.

1. Обычный процесс (передаточная функция, пример реализации приведен выше). Обеспечивает преобразование входного потока данных в выходной. В каждый момент синхронизации обязан принять и передать одну порцию (кортеж) данных.

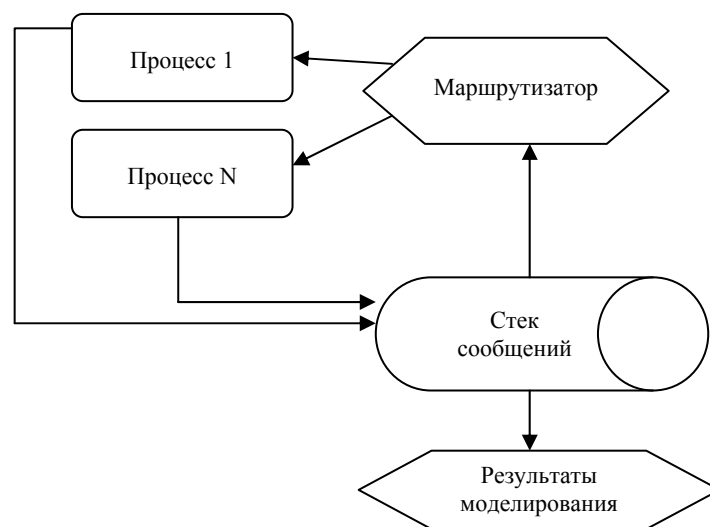


Рис. 1. Общая схема системы моделирования с параллельными процессами

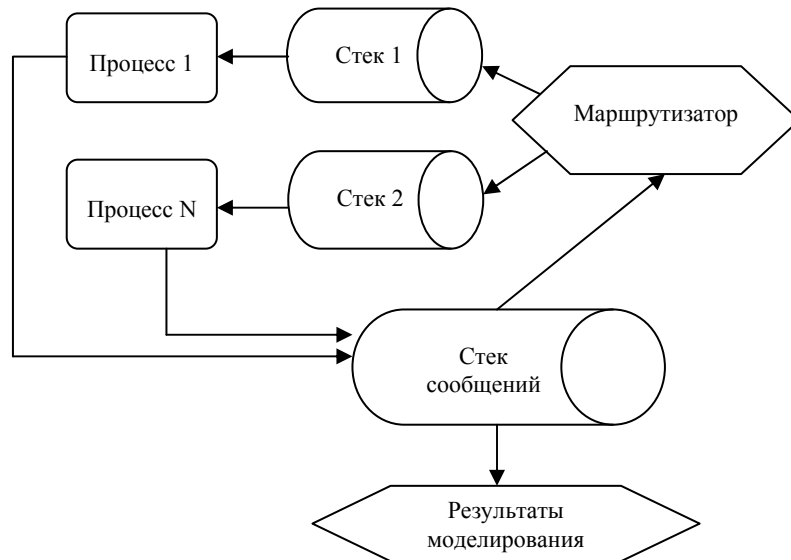


Рис. 2. Общая схема системы с индивидуальными стеками процессов

2. Маршрутизатор. Обеспечивает перераспределение сигналов по нескольким выходным каналам в зависимости от соотношения количества входов и выходов. Маршрутизатор по сути является совокупностью всех узлов цепи. Простейший пример симметричного (распределяющего входные сигналы равномерно) маршрутизатора размерности 2×3 будет выглядеть следующим образом:

```

commutator(Server_Node) ->
    receive
    stop ->
    exit(normal);
    {pin1,      signal1_type,      signal1},{pin2,
    signal2_type, signal2} ->
    signal1_type -> signal1_type, signal2_type,
    signal1_type
    (signal1+signal2)/3-> signal1, signal2, signal3
    {modeling, Server_Node}!{self(), output1, 1,
    signal1_type, signal1},{self(), output2, 2,
    signal2_type, signal2},{self(), output3, 3,
    signal3_type, signal3 }
    end.
  
```

3. Источник. Обеспечивает выдачу сигналов. Входов не имеет. Простейший пример источника с одним выводом:

```

source(Server_Node) ->
    receive
    stop ->
    exit(normal);
    {} ->
    {modeling, Server_Node}!{self(), output1, 1, type1, 100}
    end.
  
```

4. Выход. Псевдоблок, необходимый для получения текущих значений параметров для анализа. Является адаптером между моделью и пользовательским интерфейсом. Имеет один вход, выходов нет.

Одной из важнейших процедур при создании подобной модели является построение таблицы маршрутизации по пользовательской модели (к примеру,

по принципиальной электрической схеме). На основе этой информации также должны создаваться процессы-коммутаторы.

Однако при реализации такой системы выяснилось, что оказалось невозможным построение, например, переходных процессов. Происходит это из-за того, что обработка данных в подобной системе происходит без учета предыдущих значений, а, следовательно, интегрирование или дифференцирование величин, представляющих собой какой-либо рассматриваемый полезный сигнал, в отдельных узлах системы произвести не получится.

Для решения этой проблемы предлагается для каждого из блоков создать собственный стек, хранящий текущее и предыдущие значения сигналов. В этом случае общая схема системы будет выглядеть так, как представлено на рис. 2.

Важным вопросом здесь также является выбор величины (глубины) стека. С одной стороны, слишком малое количество хранящихся величин не позволит корректно проводить операции дифференцирования и интегрирования. С другой стороны, при слишком глубоких стеках значительно увеличится время между получением данных блоком и началом их обработки. Это может привести к рассинхронизации блоков между собой, и, как следствие, неверным результатам моделирования. Также дополнительными осложняющими факторами является то, что, во-первых, глубина всех стеков в рамках одной модели должна быть одинакова, и, во-вторых, эта величина должна быть известна перед началом процесса моделирования.

Авторами предлагается следующая формула расчета глубины стека:

$$N = \frac{\gamma_{\text{дискр}}}{\gamma_{\text{ист}}} 4,$$

где $\gamma_{\text{дискр}}$ – частота дискретизации системы, определяемая из длительности периода наблюдения и необходимой точности (количества точек); $\gamma_{\text{ист}}$ – макси-

мальная из частот источников, присутствующих в моделируемой системе.

Добавится также блок стека и в список базовых блоков в системе. В простейшем случае его описание на языке Erlang будет выглядеть так (глубина стека здесь равна 10):

```
stack(Server_Node) ->
    receive
    stop ->
        exit(normal);
    {pin1, signal1_type, signal1} ->
        signal1_type -> signal1_type, signal2_type,
        signal1_type
        delay(signal1, 10) -> signal
    {modeling, Server_Node}!{self(), output1, 1,
        signal1_type, signal1}end.
```

С помощью этих улучшений планируется реализовать систему моделирования переходных процессов для силовых электронных схем, работающих, в частности, с большим количеством электронных ключей

(повышающие импульсные источники питания с ШИМ) и высокой мощностью.

Библиографические ссылки

1. Хайнеман Р. PSpice. Моделирование работы электронных схем : пер. с нем. М. : ДМК-Пресс, 2001.
2. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002.
3. Богданов К. В., Ловчиков А. Н. Архитектура EDA-системы на основе конкурирующих параллельных процессов // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 4. С. 63–67.
4. Богданов К. В., Ловчиков А. Н. Построение EDA-системы на основе синхронизированных параллельных процессов // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 4 (25). С. 58–61.
5. Open Source Erlang [Электронный ресурс]. 2008. URL: <http://www.erlang.org/>. (date of visit: 12.11.2012).
6. Armstrong J. Programming Erlang: Software for a Concurrent World. Pragmatic Bookshelf, 2007.

K. V. Bogdanov, A. N. Lovchikov

SIMULATION OF SYSTEMS WITH ESSENTIAL NONLINEARITY WITH THE HELP OF PARALLEL PROGRAMMING

The authors suggest a new approach to EDA-systems designed to simulate circuits containing elements, functioning of which is related with abrupt change of parameters and in the process of mathematical description leads to substantial increase of derivatives of state variables, that in the process of traditional modeling leads to breakdown of the computational process.

Keywords: electronic devices, computing algorithms, CAD-systems, EDA-systems.

© Богданов К. В., Ловчиков А. Н., 2012

УДК 621.45.017

А. Е. Буров

ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ КОНСТРУКЦИИ КРЕПЛЕНИЯ КРЫШКИ ГИДРОТУРБИНЫ В АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ*

Рассмотрены подходы к количественной оценке живучести конструкций технических систем. Представлены результаты анализа живучести конструкции разъемного соединения крышки турбины гидроагрегата в условиях аварийной ситуации при прогрессирующем разрушении несущих элементов. На основе моделирования напряженно-деформированного состояния определены показатели живучести в зависимости от числа отказавших элементов.

Ключевые слова: разъемное соединение, напряженно-деформированное состояние, разрушение, живучесть.

Традиционные методы проектирования конструкций предполагают исключение возникновения предельных состояний несущих элементов при проектных нагрузках. Однако отказы, разрушения и аварийные ситуации неизбежны практически для любой технической системы. Стало быть, существующий

подход не отвечает современным требованиям обеспечения безопасности, которые предполагают изучение работоспособности конструкций с учетом запро-ектных нагрузок и воздействий. Неотъемлемой частью такого анализа является определение параметров живучести несущих конструкций.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 11-08-00945).

Под живучестью понимают свойство объекта, состоящее в его способности противостоять развитию критических отказов из дефектов и повреждений при установленной системе технического обслуживания и ремонта, или свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность при воздействиях, не предусмотренных условиями эксплуатации, или свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность при наличии дефектов или повреждений определенного вида, а также при отказе некоторых компонентов [1]. В настоящее время концепция живучести конструкций технических систем находится в стадии теоретической проработки: практически нет моделей живучести, апробированных на реальных объектах и основанных на фундаментальных представлениях о природе и механизмах развития повреждений; не существует общепринятых методик проектирования конструкций на живучесть; не определены критерии и количественные показатели живучести, а также их нормативные значения. На обоснование и разработку последних направлены значительные усилия исследователей разных стран [2–7].

В качестве базовых параметров, характеризующих живучесть как свойство конструкции сохранять работоспособное состояние при отказе одного или нескольких ее элементов, могут быть использованы индикаторы жесткости, прочности, ресурса, надежности и риска. В последнее время был предложен ряд индексов, среди которых можно выделить три основные группы. Они приведены ниже с указанием примеров предложенных индексов [2; 5; 6].

1. Показатели на основе риск-анализа, учитывающие вероятность возможного аварийного воздействия и его последствия-ущерб. Ущерб подразделяется на прямые, т. е. следующие непосредственно от иницирующего воздействия, и косвенные – возникающие в результате развития аварийной ситуации. Анализ начинается с идентификации и моделирования воздействий, которые потенциально могут привести к возникновению повреждений конструктивных элементов. В качестве таковых могут выступать экстремальные нагрузки, взрывы, ошибки в проектировании или эксплуатации, а также процессы, ведущие к деградации свойств материалов или потере эксплуатационных качеств, например коррозия или усталость. Затем определяются возможные сценарии развития аварийной ситуации при различных исходных повреждениях.

Для одного стартового события индекс живучести можно определить в виде

$$G_R = \frac{R_{\text{пр}}}{R_{\text{пр}} + R_{\text{кос}}}, \quad (1)$$

где риски $R_{\text{пр}}$ и $R_{\text{кос}}$ – произведения вероятности события и его последствия.

Индекс изменяется от 0 до 1 с большими значениями, соответствующими более живучим конструкциям, т. е. тем, для которых косвенные риски не вносят значительного вклада в общий риск. Данный показатель определяет только относительный вклад

рисков, не оценивая при этом абсолютную величину прямого риска. Это может привести к выводу о высокой живучести системы, для которой значения прямых рисков намного больше косвенных. Очевидно, что надежность такой системы будет низкой. Следует отметить трудность в вычислении G_R , связанную со сложностью адекватного определения вероятности возникновения события риска. Однако эта процедура упрощается для заданного воздействия, для которого вероятность равна 1. В этом случае индекс живучести определяется только величинами прямых и косвенных ущербов.

2. Вероятностные показатели, основанные на соотношении показателей надежности неповрежденной конструкции и ее надежности при наличии локальных повреждений. Для этого используется функция предельного состояния

$$V = f(x_1, \dots, x_n) = R - S \geq 0,$$

где R и S – несущая способность (сопротивление) и нагрузка соответственно; x – вектор случайных переменных системы. Предельная поверхность разделяет два состояния – безопасное $V > 0$ и отказ $V < 0$.

Если за меру надежности принять вероятность разрушения $P_F = P(V < 0)$, то

$$G_P = \frac{P_{\text{пов}} - P_{\text{неп}}}{P_{\text{неп}}},$$

где $P_{\text{неп}}$ и $P_{\text{пов}}$ – вероятность разрушения неповрежденной и поврежденной конструкции соответственно.

Индекс G_P варьируется от 0 до бесконечности, при этом для конструкций, обладающих высокой живучестью, $G_P \rightarrow 0$. Данный показатель трудно использовать на практике из-за трудности вычисления P_F , а также широкого диапазона возможных значений, что осложняет сравнительный анализ проектных решений.

Этот недостаток преодолевается при использовании индекса надежности β , который напрямую связан с вероятностью разрушения: $\beta = \Phi^{-1} \cdot (P_F)$, Φ^{-1} – функция, обратная нормированной функции Лапласа (рис. 1). В простом случае, когда несущая способность и нагрузка нормально распределены и независимы,

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}},$$

где μ_R , σ_R и μ_S , σ_S – среднее значение и стандартное отклонение для R и S соответственно. Индекс надежности также определяется аналитически, если случайные переменные сопротивления и нагрузки соответствуют логнормальному распределению.

Мерой живучести служит отношение показателей надежности конструкции в поврежденном $\beta_{\text{пов}}$ и неповрежденном $\beta_{\text{неп}}$ состояниях:

$$G_\beta = \frac{\beta_{\text{пов}}}{\beta_{\text{неп}}}. \quad (2)$$

Значения индекса G_β изменяются от 0 до 1, и конструкция обладает абсолютной живучестью при $G_\beta = 1$.

3. Детерминированные показатели на основе сравнения параметров (силовых, жесткостных, энергетических и т. д.) конструкции, характеризующих неповрежденное и поврежденное состояния.

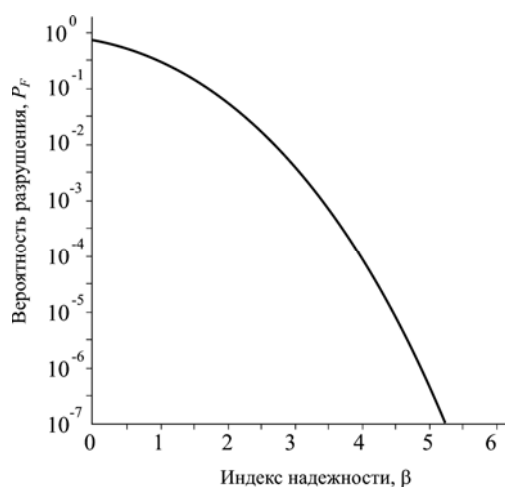


Рис. 1. Соотношение между значениями вероятности разрушения и индекса надежности

В качестве такого параметра может выступать, например нагрузка, вызывающая разрушения. Тогда индекс живучести определяется как соотношение предельной нагрузки для поврежденной и исходной конструкций:

$$G_L = \frac{L_{\text{пов}}}{L_{\text{неп}}} \quad (3)$$

Конструкция считается живучей при $G_L \rightarrow 1$. Данный показатель характеризует в большей степени способность конструкции перераспределять внешнюю нагрузку после отказа одного или нескольких элементов, т. е. так называемую резервирующую способность. Были предложены другие подобные индексы живучести, основанные на сравнении матриц жесткости конструкции без и с наличием отказавших элементов. Принципиальный недостаток такого подхода в качестве меры оценки живучести заключается в том, что при этом не учитывается стохастическая природа характеристик механических свойств материалов и внешних нагрузок.

В качестве объекта анализа живучести использовалась конструкция разъемного соединения крышки турбины РО230/833-В-677 со статором гидроагрегата. Крепление крышки к верхнему поясу статора производится через фланцевый разъем 80 шпильками М80, выполненными из стали с модулем Юнга $E = 205$ ГПа, пределом текучести $\sigma_{02} = 275$ МПа и временным сопротивлением $\sigma_b = 530$ МПа. На крышку действуют циклические гидравлические нагрузки и статическая весовая нагрузка от узлов гидроагрегата. Кроме того, крепежные элементы воспринимают усилия предварительного затяга, соответствующие номинальным напряжениям 120 МПа [8].

Моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) соединения в условиях предполагаемой аварийной ситуации выполнено методом ко-

нечных элементов (МКЭ) с помощью программного комплекса ANSYS. Учитывая несимметричность геометрии и схемы приложения нагрузок, создавалась полная твердотельная модель конструкции. Модель на основе 20-узловых объемных конечных элементов представлена на рис. 2 (для ясности показана только половина модели). Для определения размера конечных элементов выполнялся ряд предварительных расчетов. В качестве кинематических граничных условий принималось «жесткое» крепление крышки к статору. Усилие затяжки шпилек моделировалось с помощью элементов предварительно нагруженного соединения. Модель состоит из около 400 000 элементов и 700 000 узлов. Определение параметров надежности для соединения осуществляли средствами подсистемы Probabilistic Design, реализующей метод Монте-Карло.

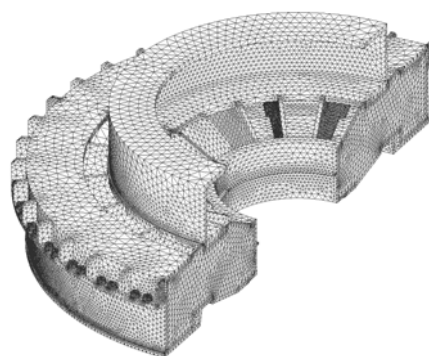


Рис. 2. Конечно-элементная модель разъемного соединения

Первоначально расчет НДС выполнялся при полном наборе крепежных элементов. Для этого случая максимальные эквивалентные напряжения в шпильках составляли порядка 144 МПа. Усилие, действующее на шпильки, определялось как сумма реакций в узлах, расположенных на закрепленном сечении.

В качестве развития аварийной ситуации рассматривалось выключение из работы (например, в результате усталостного разрушения) отдельных шпилек. Отказ элемента приводит к перераспределению внутренних усилий на оставшиеся структурные компоненты. Как следствие, если уровень перегрузки окажется достаточно большим, могут разрушиться другие элементы и серия последовательных локальных разрушений приведет к потере несущей способности всей системы. Предельным для шпилек принималось напряжение текучести. Учитывая, что количество возможных вариантов эскалации аварийной ситуации при разрушении отдельных элементов оказывается достаточно большим, расчеты проводились для наиболее короткого сценария, в котором разрушение соединения наступает при минимально возможном количестве отказавших несущих элементов – последовательном разрушении соседних шпилек.

В результате расчетов были определены поля напряжений и деформаций, действующие в крышке и крепежных элементах. О характере НДС конструкции можно судить по коэффициенту перегрузки, рассчи-

танному как отношение усилия в конкретной шпильке к его номинальному значению, без учета концентрации. Этот параметр показывает, как нагрузка от отказавших шпилек перераспределяется на элементы, сохранившие работоспособность. Значения этого параметра в окружном направлении от крайней разрушенной шпильки представлены на рис. 3 для разных стадий развития аварийной ситуации (числа отказавших элементов). Как следует из рисунка, перераспределение нагрузки происходит неравномерно, в основном на несколько ближайших несущих элементов. Поле возмущения номинального напряженного состояния ограничивается 8–10 рядами шпилек. При этом за счет возникновения изгибающего момента возможны случаи, когда усилия в шпильках 4–6 ряда меньше усилий в шпильках, расположенных вдали от отказавших элементов. Такой локальный характер перераспределения силового потока возникает за счет деформирования фланца крышки турбины.

При удалении из расчетной схемы 13 шпилек напряжение в близлежащих шпильках возрастает до уровня, превышающего предельное значение. Это ведет к каскадным отказам и катастрофическому разрушению соединения в целом.

Полученные характеристики НДС были использованы в расчетах индекса живучести G_β на основе подхода (2), значения которого для четырех комбинаций параметров нормального распределения несущей способности и нагрузки представлены на рис. 4, слева. Как и следовало ожидать, величина разброса характеристик сопротивления и нагрузки, определяющих функцию предельного состояния (1), оказывает существенное влияние на индекс живучести. Отметим, что

живучесть конструкции практически не меняется вплоть до отказа шести шпилек.

Функция живучести G_L , определенная по выражению (3), представлена на рис. 4 справа. По сравнению с вероятностным показателем, индекс G_L реагирует даже на незначительные локальные повреждения, снижаясь более чем на 20 % при шести разрушенных шпильках. На рисунке для сравнения пунктирной линией приведены значения G_L в случае, когда нагрузка после отказа элемента перераспределяется равномерно на оставшиеся несущие элементы.

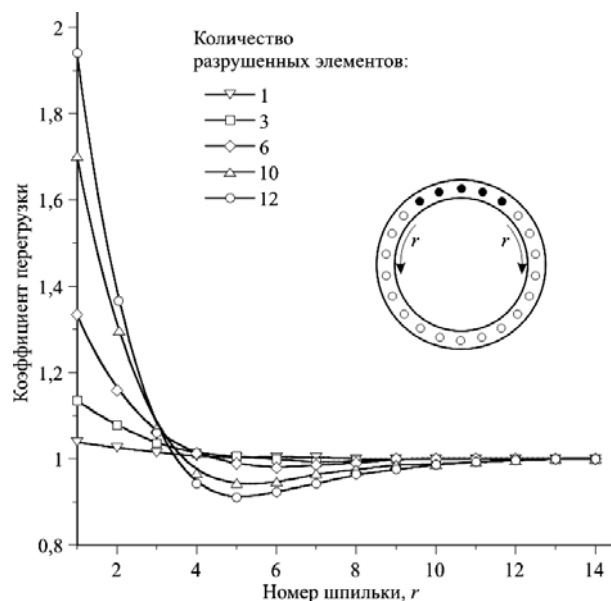


Рис. 3. Распределение коэффициента перегрузки на шпильки, соседние с разрушенными

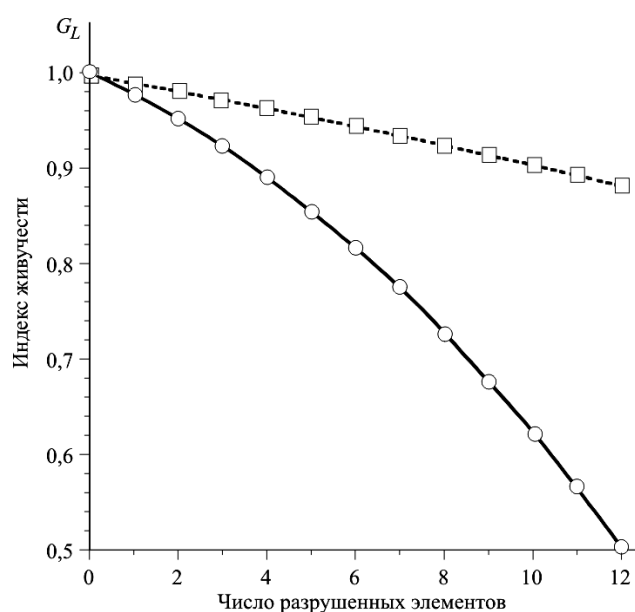
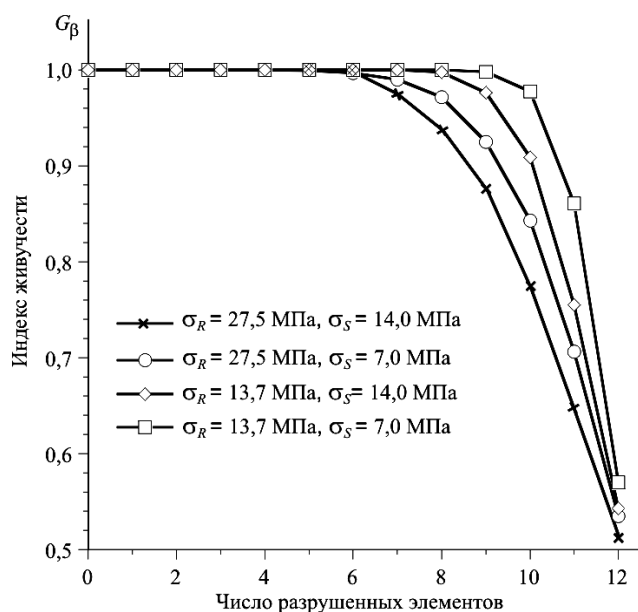


Рис. 4. Живучесть разъемного соединения как функция числа разрушенных шпилек: на основе показателей надежности (слева); на основе детерминированного подхода (справа)

Таким образом, на основе моделирования аварийной ситуации, вызванной разрушением несущих элементов разъемного соединения крышки гидроагрегата, определены количественные показатели живучести на базе вероятностного и детерминированного подходов. Индексы живучести, характеризующие устойчивость конструкции к локальным повреждениям и катастрофическому разрушению, могут быть использованы при проектировании конструкций технических систем, а также для разработки технических мероприятий, направленных на повышение безопасности.

Библиографические ссылки

- ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М. : Изд-во стандартов, 2002.
- Махутов Н. А., Петров В. П., Резников Д. О. Оценка живучести сложных технических систем // Пробл. безопасности и чрезвычайных ситуаций : науч. информ. сб. 2009. № 3. С. 47–66.
- Baker J. W., Schubert M., Faber M.H. On the assessment of robustness // J. Structural Safety 2007. Vol. 30. P. 253–267.
- Robust design – A concept for imperfection insensitive composite structures / M. C. W. Lee, Z. Mikulik, D. W. Kelly et al. // Composite Structures. 2010. Vol. 92. P. 1469–1477.
- Starossek U., Haberland M. Approaches to measures of structural robustness // Structure and Infrastructure Engineering. 2011. Vol. 7. P. 625–631.
- Sorensen J. D. Framework for robustness assessment of timber structures // Engineering Structures. 2011. Vol. 33(11). P. 3087–3092.
- Назаров Ю. П., Городецкий А. С., Симбиркин В. Н. К проблеме обеспечения живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. № 4. С. 5–9.
- Махутов Н. А., Москвичев В. В., Лепихин А. М. Оценка ресурса резьбовых соединений крепления крышки гидротурбины // Пробл. безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2011. № 4. С. 33–39.

A. E. Burov

ASSESSMENT OF TENACITY OF HYDRO-TURBINE LID FIXTURE IN A CASE OF EMERGENCY

The author considers the existing approaches to quantitative assessment of technical system structures. The results analysis of tenacity of detachable connection of hydro-turbine lid in a case of emergency, at progressive failure of load-carrying elements, are presented. The indexes of tenacity versus the number of failed elements are defined, on the basis of stress-strain state modeling.

Keywords: detachable connection, stress-strain state, failure, robustness.

© Буров А. Е., 2012

УДК 621.396.96.001(07)

Е. Л. Вайтекунене

МОДЕЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПРИ МУЛЬТИВЕРСИОННОМ ФОРМИРОВАНИИ ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПО РЕСУРСАМ

Рассматривается модель использования ресурсов при мультиверсионном формировании программно-информационных технологий для распределенных систем с учетом ресурсной базы и ограничений на время выполнения.

Ключевые слова: мультиверсионный программный комплекс (МПК), вектор конфигурации МПК.

На современном этапе развития вычислительной техники и широкого применения систем управления и обработки данных в ключевых областях большое значение придается надежности программного обеспечения (ПО). Одним из самых распространенных подходов к реализации программной отказоустойчивости является методология избыточности. Методология мультиверсионного программирования, как один из

подходов к реализации идеи введения избыточности в структуру системы программного обеспечения, на практике доказала свою эффективность. С использованием данной методологии были реализованы программные комплексы систем управления летательными аппаратами, атомными электростанциями и т. п. Однако такой метод ведет к увеличению стоимости системы, в которой он применяется.

Рациональное структурное построение программных комплексов гарантирует достаточно полное использование ресурсов ЭВМ. А технологические особенности проектирования программно-информационных технологий (ПИТ) для распределенных структур, дополняя проблему структурного программного и информационного проектирования, выводят ее в разряд общих проблем разработки автоматизированных систем проектирования сложных программно-информационных комплексов.

Проблеме формирования программных комплексов, проектируемых на основе принципов программной избыточности, в настоящее время уделяется значительное внимание. Проблематика проектирования программных комплексов с использованием методологии мультiversионного программирования рассматривалась в работах А. Авижениса, Н. Ашрафи, О. Бермана, М. Катлер, Дж. Ву, К. Яо, Р. К. Скотта, Д. МакАллистера, К. Е. Гросспитча и многих других. Разрабатываются новые методы оптимизации версионного состава программного комплекса, новые системы формирования структуры программного комплекса, но до сих пор недостаточное внимание уделяется созданию методов и систем формирования структуры мультiversионного программного комплекса с учетом временных и ресурсных ограничений.

Таким образом, высокая сложность и практическая значимость задачи проектирования высоконадежных программно-информационных комплексов с гарантированной доступностью ресурсов и дефицит методического материала по данной задаче обусловили работу в данном направлении.

Представлена разработка модельного и алгоритмического обеспечения мультiversионного формирования программно-информационных технологий с гарантированной доступностью ресурсов для распределенных систем, реализуемого в виде системы компьютерной поддержки.

Поставленная цель достигается путем решения следующих задач:

- анализа методов обеспечения отказоустойчивости и доступности ресурсов ПИТ для распределенных систем;
- исследования адекватности ПИТ условиям и требованиям работоспособности;
- формального описания постановок оптимизационных задач мультiversионного формирования ПИТ с гарантированной доступностью ресурсов;
- алгоритмизации процедур решения мультiversионных моделей формирования ПИТ в интерактивном режиме;
- программной реализации и внедрения разработанной системы в практику инженерного проектирования ПИТ для космической отрасли.

Методам увеличения надежности аппаратных компонентов традиционно уделяется большое внимание, причем для распределенных ПИТ в распределенных системах, как правило, применяются два способа повышения надежности и доступности ресурсов: увеличение индивидуальной надежности серверов и

улучшение общесистемной отказоустойчивости. Программно-информационная технология позволяет реализовать применение мультiversионных методов и может существенно повысить общую надежность системы, собранной в том числе и из недостаточно надежных программных компонентов, на повышение надежности которых в первую очередь и направлена мультiversионная методология.

Подразумевается, что для каждого компонента мультiversионного программного комплекса (МПК) уже имеется набор независимых версий, и, кроме того, по каждой версии известны стоимость и оценка надежности. Если для какого-либо программного модуля мультiversионность не требуется, то набор версий этого модуля должен состоять из одного элемента. Следует отметить, что количество версий, равное двум, нецелесообразно, так как задача выбора правильного решения из двух вариантов не имеет решения или решение является очень трудоемким процессом. В связи с этим принимается, что для мультiversионного модуля набор версий должен состоять как минимум из трех элементов.

Основной задачей при мультiversионном формировании ПИТ является построение модели формирования версионного состава МПК. Таким образом, основным выходным параметром предлагаемого далее алгоритма должен быть вектор конфигурации МПК с учетом использования временных и ресурсных ограничений модели.

Ресурсные ограничения заключаются в том, что любой компонент ПИТ использует аппаратные средства (процессоры, модули памяти, шины данных и т. д.) и различного рода источники данных (базы данных и файлы)

В данной работе ресурсы разделены на три группы:

- активные ресурсы – ресурсы, обладающие вычислительными возможностями (процессоры, сопроцессоры, контроллеры и т. п.);
- пассивные ресурсы – ресурсы для хранения информации (оперативная память, кэш-память, жесткие носители и т. п.);
- транспортные ресурсы – ресурсы транспортировки данных (всевозможные шины данных).

Для каждого ресурса определяется его относительный объем, а для каждой версии в таком случае необходимо задать востребованность (вернее, используемость) ресурсов. Это означает, что в качестве входных параметров алгоритма необходимо задать базу ресурсов, на которой предполагается выполнение МПК, и используемость ресурсов версиями в процессе выполнения МПК. Иными словами, кроме стоимости и оценки надежности для каждой версии необходимо знать то, какие ресурсы использует данная версия, какой объем каждого ресурса потребляет и в течение какого времени длится это использование (востребованность и используемость).

Предполагается, что по мере выполнения версии объем использования активных и пассивных ресурсов не меняется.

В рамках алгоритмических процедур мультиверсионного формирования программно-информационных технологий определены структуры входных и выходных данных.

В качестве входных параметров алгоритма рассматривается база ресурсов, включающая тип ресурса и относительный объем ресурса. Имеется двухуровневая структура МПК со следующими показателями: объемы входных и выходных параметров, ресурсы хранения параметров, ресурсы транспортировки параметров. База версий для каждого модуля обладает следующими характеристиками для каждой версии: оценкой надежности; стоимостью; объемами и временем использования ресурсов, где время использования ресурсов есть время выполнения версии. Кроме того, в качестве входных параметров используются ограничения на бюджет МПК и ограничения на время выполнения МПК.

В качестве выходных параметров алгоритмических процедур рассматривается вектор конфигурации МПК, вектор временной развертки МПК и вектор временной развертки для каждого ресурса.

Оптимизацию вектора конфигурации можно проводить различными методами, но целью работы является учет временных и ресурсных ограничений при формировании мультиверсионного ПО, поэтому первостепенное значение приобретает использование именно этих ограничений при оптимизации, а не разработка новых методов. В рамках практического применения системы мультиверсионного формирования ПИТ вектор конфигурации выбирается либо методом полного перебора, либо с использованием модификаций алгоритма случайного поиска с адаптацией.

Таким образом, в работе предложена новая модель использования ресурсов при мультиверсионном формировании программно-информационных технологий для распределенных систем, позволяющая построить комплекс алгоритмических процедур формирования версионного состава МПК с учетом ресурсной базы и ограничений на время выполнения.

В развитие парадигмы мультиверсионного программирования и с учетом задач мультиверсионного формирования ПИТ предложены и формализованы новые понятия, такие как вектор конфигурации, ресурсный вектор временной развертки и вектор следования (для указания приоритетности исполнения мультиверсионных модулей), обеспечивающие алгоритмизацию задач мультиверсионного формирования программно-информационных технологий. Разработаны алгоритмы формирования, анализа и коррекции указанных векторов.

Особенностью низкоорбитальных космических систем связи (НКСС) являются периодически изменяющиеся условия связности элементов системы из-за постоянного изменения положения спутника-ретранслятора относительно наземных стационарных и подвижных терминалов. Многие характеристики связи при этом зависят от параметров орбитальной группировки (числа плоскостей, количества спутников в каждой плоскости и др.), в том числе такие, как

время ожидания связи и время доставки. Поэтому среди функций, поддерживаемых серверами наземной группировки, должна быть такая, которая предоставляет возможность буферизации сообщений для дальнейшей их передачи без потери качества информации.

При формировании программно-информационных технологий для распределенных систем НКСС рассматривается системотехническое решение на базе СУБД MySQL.

При создании распределенной системы использована сетевая модель реализации вычислительного комплекса, при которой основная функциональность решения обеспечивается центральными серверами.

Предложенные в данной работе модели и алгоритмы формирования мультиверсионных структур ПИТ, а также методы поиска оптимального версионного состава МПК реализованы в программной системе поддержки, получившей название «Система формирования мультиверсионного программного обеспечения» (СФМПО).

В программном комплексе СФМПО реализованы следующие функции:

- описание структуры программного комплекса в удобной графической форме;
- описание ресурсной базы МПК во время построения его структуры;
- ведение общей базы ресурсов, что упрощает использование нескольких одинаковых ресурсов для выполнения одного МПК;
- ведение базы доступных версий для каждого модуля;
- ведение базы структур МПК;
- проверка правильности задания ресурсной базы;
- установка стоимостного и временного ограничения для конкретного МПК;
- выбор оптимального вектора конфигурации МПК с использованием метода полного перебора;
- удобное представление результатов пользователю.

Для тестирования и проверки вышеприведенных алгоритмов была разработана программа DBaseOPTIM оптимизации быстродействия MySQL.

Научная новизна данной работы состоит в следующем.

1. Впервые показано, что использование мультиверсионного метода формирования программно-информационных технологий для распределенных систем обеспечивает как достижение адекватного уровня отказоустойчивости для критичных приложений, так и повышения надежности функционирования всей распределенной программно-информационной среды.

2. Разработана новая модель использования ресурсов при мультиверсионном формировании ПИТ для распределенных систем.

3. Введена форма вектора временной развертки для мультиверсионного программного комплекса, учитывающая занятость ресурсов, что обеспечивает оценку эффективности использования ресурсов про-

граммным комплексом для любого версионного состава.

4. Предложен и программно реализован алгоритм мультиверсионного формирования программно-информационных технологий с гарантированной доступностью ресурсов.

Библиографические ссылки

1. Антамошкин А. Н., Ковалев И. В. Определение оптимальной структуры мультиверсионного программного обеспечения при ограничениях по времени

и стоимости // Вестник Сиб. аэрокосмич. акад. 2000. Вып. 1. С. 111–124.

2. Методы анализа и синтеза структур управляющих систем / Б. Г. Волик и др. ; под ред. Б. Г. Волика. М. : Энергоатомиздат, 1988.

3. Ковалев И. В. Система мультиверсионного формирования программного обеспечения управления космическими аппаратами : дис. ... д-ра техн. наук. Красноярск, 1997.

4. Лебедев В. А., Трохов Н. Н., Царев Р. Ю. Параллельные процессы обработки информации в управляющих системах / НИИ СУВПТ. Красноярск, 2001.

Е. Л. Vaytekunene

MODEL OF RECOURSES USAGE AT MULTIVERSION FORMATION OF PROGRAM-INFORMATION TECHNOLOGIES FOR DISTRIBUTED SYSTEMS WITH THE RECOURSES RESTRICTION

The paper considers the model of recourses usage at multi-version formation of program-information technologies for distributed systems with the account of recourses base and limitations at the time of implementation.

Keywords: multi-version program complex (MPC), configuration vector of MPC.

© Вайтекунене Е. Л., 2012

УДК 512.54-512.55

А. П. Елисова

ЛОКАЛЬНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ И АВТОМОРФИЗМЫ НИЛЬПОТЕНТНЫХ АЛГЕБР МАТРИЦ МАЛЫХ ПОРЯДКОВ*

Изучаются локальные дифференцирования и локальные автоморфизмы алгебры R нижних нильтреугольных $(n \times n)$ -матриц над ассоциативно-коммутативным кольцом с единицей и ассоциированной с R алгебры Ли. Их описания завершаются при $n = 3$, а когда K – поле, также при $n = 4$.

Ключевые слова: алгебра нильтреугольных матриц, локальное дифференцирование, локальный автоморфизм.

Локальным дифференцированием алгебры A над ассоциативно-коммутативным кольцом K с единицей называют эндоморфизм K -модуля A , действующий на каждый элемент α из A как дифференцирование алгебры, вообще говоря зависящее от выбора α . Тривиальное локальное дифференцирование дает всякое ее дифференцирование δ алгебры, т. е. эндоморфизм K -модуля A с условием $\delta(\alpha\beta) = \delta(\alpha)\beta + \alpha\delta(\beta)$ ($\alpha, \beta \in A$). Аналогично определяют локальные автоморфизмы [1; 2].

В 2000 г. R. Crist [3] указал пример нетривиального локального автоморфизма подалгебры $C(e_{12} + e_{21}) + Ce_{13} + Ce$ в $M(3, C)$, где e_{ij} обозначают, как обычно, матричные единицы соответствующего порядка, e – единичная матрица. Автоморфизмы

и антиавтоморфизмы полной алгебры $M(n, C)$ комплексных $(n \times n)$ -матриц исчерпывают ее локальные автоморфизмы [2]. Локальные автоморфизмы произвольной алгебры A образуют группу по умножению [4], обозначаемую через $\text{Laut } A$.

Локальные дифференцирования алгебры A образуют подалгебру $\text{Locder } A$ алгебры $\text{End}(A^+)$ всех K -линейных эндоморфизмов аддитивной группы A^+ .

Как показали А. Nowicki и I. Nowosad [5], локальные дифференцирования кольца $M(n, K)$ всех $(n \times n)$ -матриц над коммутативным кольцом K с единицей, а также некоторых ее подалгебр исчерпываются ее дифференцированиями.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 12-01-00968) и Министерства образования и науки (тема 1.34.11).

Пусть R есть алгебра $NT(n, K)$ нижних нильтреугольных $(n \times n)$ -матриц (с нулями на главной диагонали и над ней) над K . Дифференцирования и автоморфизмы алгебры R и ассоциированной с ней алгебры Ли $\Lambda(R)$ известны [6–8]. Мы исследуем локальные дифференцирования и автоморфизмы алгебр R и $\Lambda(R)$. Описание $\text{Locder } R$ известно при $n = 3$ [4] и с ограничениями на K при $n = 4$ [9; 10].

Исследуются локальные дифференцирования алгебры R произвольной размерности. Доказывается теорема об описании всех локальных лиевых дифференцирований алгебры R над ассоциативно-коммутативным кольцом K с единицей при $n = 3$, а также в случае, когда $n = 4$ и K – поле. См. также [11].

Предварительные замечания и основные теоремы при $n \leq 4$. Напомним, что если A – ассоциативная алгебра и $\alpha * \beta = \alpha\beta - \beta\alpha$ ($\alpha, \beta \in A$) – ассоциированное лиево умножение, то $\Lambda(A) := (A, +, *)$ есть алгебра Ли, называемая ассоциированной с A . Ее (локальное) дифференцирование называют также (локальным) лиевым дифференцированием алгебры A .

Отметим, что дифференцирования (и автоморфизмы) характеризуются действием на порождающих элементах алгебры. С другой стороны, очевидна лемма 1.

Лемма 1. Всякое локальное дифференцирование произвольной K -алгебры A характеризуются действием на элементах, порождающих A как K -модуль. Таким образом, локальное дифференцирование нетривиально, если оно ненулевое, но является нулевым на каком-либо множестве, порождающем эту алгебру.

Очевидно, что к локальным лиевым дифференцированиям относятся все локальные дифференцирования алгебры A .

Всюду далее K есть ассоциативно-коммутативное кольцо с единицей, $n \geq 3$ и $R = NT(n, K)$. Очевидно, алгебру R порождают матричные единицы e_{i+1i} , $1 \leq i < n$, а все матричные единицы e_{ij} , $1 \leq j < i \leq n$ порождают R как K -модуль.

Следующие две теоремы дают описания локальных лиевых дифференцирований и автоморфизмов алгебры R при $n = 3$ и в случае, когда K – поле и $n = 4$. Когда $n = 4$, выделим при $k \in K$ и $\gamma = \|c_{ij}\| \in M(2, K)$ эндоморфизмы K -модуля R вида

$$\alpha \rightarrow \alpha + (a_{31}c_{11} - a_{42}c_{21})e_{31} + (a_{42}c_{22} - a_{31}c_{12})e_{42} + a_{41}(c_{11}c_{22} + c_{12}c_{21})e_{41}, \quad (1)$$

$$\alpha \rightarrow (a_{31}c_{11} + a_{42}c_{21})e_{31} + (a_{42}c_{22} + a_{31}c_{12})e_{42}, \quad (2)$$

$$\rho_k : \alpha \rightarrow ka_{43}e_{42} \quad (\alpha = \|a_{ij}\| \in R). \quad (3)$$

Обозначим через $\bar{\gamma}$ отображение (1) при $\gamma \in GL(2, K)$ и $2c_{11}c_{12} = 2c_{21}c_{22} = 0$, через $\hat{\gamma}$ – отображение (2) при $2c_{12} = 2c_{21} = 0$.

Теорема 1. Если $n = 3$, то $\text{Locder } \Lambda(R) = \text{Locder } R + \text{Der } \Lambda(R)$. Когда $n = 4$ и K –

поле, всякое локальное лиево дифференцирование алгебры R над K есть сумма локального дифференцирования алгебры R , ее лиева дифференцирования и локальных лиевых дифференцирований вида $\hat{\gamma}$ и ρ_k .

Теорема 2. Если $n = 3$, то $\text{Laut } \Lambda(R) = \text{Laut } R \cdot \text{Aut } \Lambda(R)$. Когда $n = 4$ и K – поле, всякий локальный лиев автоморфизм алгебры R над K есть произведение локального автоморфизма алгебры R , ее лиева автоморфизма и локальных лиевых автоморфизмов вида $\bar{\gamma}$ и $1 + \rho_k$.

Теоремы 1 и 2 доказываются далее.

Нам потребуется описание из [7] группы $\text{Der } R$, а также ее основных подгрупп. Для треугольной $(n \times n)$ -матрицы γ над K отображение $\alpha \rightarrow \alpha * \gamma$ ($\alpha \in R$) дает треугольное (или диагональное, когда матрица γ диагональна) дифференцирование; при $\gamma \in R$ его называют внутренним. Заметим, что степени $R = R^1, R^2, R^3, \dots, R^n = 0$ образуют центральный ряд алгебры R , причем $R^{n-1} = Ke_{n1}$ совпадает как с аннулятором, так и с центром Z алгебры R . В [7] доказана лемма 2.

Лемма 2. Аддитивная группа $\text{Der } R$ дифференцирований алгебры R есть сумма подгрупп треугольных и центральных дифференцирований.

Известно, что центральные дифференцирования алгебры R (т. е. нулевые по модулю центра) порождаются всевозможными дифференцированиями:

$$\xi_{i,c} : \alpha \rightarrow ca_{i+1i}e_{n1} \quad (\alpha = \|a_{km}\| \in R), \quad 1 \leq i < n, \quad c \in K.$$

Для описания в [7] существенны следующие идеалы алгебры R и лемма о них.

Лемма 3. В алгебре R при $1 \leq j < i \leq n$ идеалы

$$Q_{ij} = \langle Ke_{uv} \mid 1 \leq v \leq j < i \leq u \leq n, (u, v) \neq (i, j) \rangle, \\ N_{ij} = Q_{ij} + Ke_{ij}$$

являются $(\text{Der } R)$ -инвариантными. Относительно $\text{Der } \Lambda(R)$ инвариантны идеалы

$$R, R^2, \dots, R^{n-1}, \quad N_{21} + N_{n3}, \quad N_{m-1} + N_{n-21}, \\ N_{ij} \quad (j < i, i > 2, j < n-1).$$

Редукционные теоремы. Здесь $R = NT(n, K)$, $n \geq 4$. При любом $t \in K$ далее полагаем

$$\omega_t : \alpha \rightarrow ta_{31}e_{31} + ta_{42}e_{42} + \dots + ta_{nn-2}e_{nn-2} \\ (\alpha = \|a_{ij}\| \in R). \quad (4)$$

Теорема 3. Всякий локальный автоморфизм алгебры R с точностью до умножения на автоморфизм тождественен на элементах e_{ii-1} , $1 < i \leq n$, а на элементы e_{ii-2} , $2 < i \leq n$ действует по модулю R^3 как $1 + \omega_t$, где $1 + t \in K^\#$ фиксировано.

Теорема 4. Всякое локальное дифференцирование ϕ алгебры R с точностью до прибавления дифференцирования является нулевым на элементах e_{ii-1} ,

$1 < i \leq n$, а на элементах e_{ii-2} , $2 < i \leq n$ по модулю R^3 совпадает с отображением ω_t для фиксированного $t \in K$.

Теорему 3 совместно доказали автор и В. М. Левчук. Ее доказательство удастся перенести и на теорему 4.

Прежде всего замечаем, что из леммы 3 сразу же вытекает лемма 4.

Лемма 6. Для произвольного локального дифференцирования ϕ алгебры R существуют элементы $c_{ij} \in K$ такие, что

$$\phi(e_{ij}) = c_{ij}e_{ij} \bmod Q_{ij} \quad (1 \leq j < i \leq n). \quad (5)$$

Из леммы 2 легко вытекают также (полагая $N_{kj} = 0$, если $k > n$ или $j < 1$) леммы 5, 6.

Лемма 5. Пусть $R = NT(n, K)$ и $\psi \in \text{Der } R$. Если $1 \leq j < i \leq n$ и $\psi(e_{ij}) = 0$ по модулю N_{i+1j-1} , то выполняется равенство $\psi(e_{ij}) = 0$ при $i - j > 1$, а по модулю центра Z также при $i - j = 1$.

Лемма 6. Произвольное локальное дифференцирование ϕ алгебры R с точностью до прибавления ее дифференцирования удовлетворяет условию

$$\phi(e_{ii-1}) = 0, \quad i = 2, 3, \dots, n. \quad (6)$$

Доказательство. В силу леммы 4, с точностью до прибавления к ϕ диагонального дифференцирования, имеем

$$\phi(e_{ii-1}) = 0 \bmod Q_{ii-1}, \quad i = 2, \dots, n.$$

Внутреннее дифференцирование $\alpha \rightarrow \alpha * \beta$ с матрицей вида $\beta = \sum_{i=1}^{n-2} x_i e_{i+22}$ ($x_i \in K$) дает $\phi(e_{21}) = 0$. Далее, применяя для каждого $i = 3, \dots, n-1$ внутреннее дифференцирование с матрицей вида $x e_{i-11} + \sum_{s=i+1}^n y_s e_{si}$, приходим к равенствам

$$\phi(e_{ii-1}) = k_{i2}e_{i2} + k_{i3}e_{i3} + \dots + k_{ii-2}e_{ii-2} \bmod N_{i+1i-2}. \quad (7)$$

При $i = n$ внутреннее дифференцирование с матрицей вида $x e_{n-11}$ (и соглашение $N_{n+1n-2} = 0$) также дает (7). Из (7) следует равенство (6) по модулю идеала N_{i+1i-2} на элементы e_{ii-1} для $i = 2, 3$. Далее проводим индукцию. При $i = 4$ находим

$$\phi(e_{43}) = k_{42}e_{42} \bmod N_{52},$$

$$\phi(e_{21} + e_{43}) = \phi(e_{21}) + \phi(e_{43}) = k_{42}e_{42} \bmod N_{52}.$$

Если дифференцирование $\psi \in \text{Der } R$ действует как ϕ на элемент $\alpha = e_{21} + e_{43}$, то для подходящей матрицы $\gamma = \|\gamma_{uv}\| \in R$ по модулю N_{52} получаем равенство

$$\psi(e_{21} + e_{43}) = \alpha\gamma - \gamma\alpha =$$

$$= \gamma_{32}(e_{42} - e_{31}) + (\gamma_{31} - \gamma_{42})e_{41} - \gamma_{54}e_{53} - \dots - \gamma_{n4}e_{n3},$$

откуда $\gamma_{32} = 0 = k_{42}$. Равенство $k_{ii-2} = 0$ для оставшихся i получаем аналогично.

Фиксируя $i \leq n$, докажем равенства $k_{ij} = 0$ коэффициентов в (7) в предположении, что равенства $k_{st} = 0$ при всех $s < i$ доказаны. Допустим также, что

$$k_{im+1} = k_{im+2} = \dots = k_{ii-2} = 0$$

для некоторого $1 < m < i-1$. Выбирая дифференцирование $\psi \in \text{Der } R$, действующее на элемент $e_{mm-1} + e_{ii-1}$ как ϕ , по модулю $N_{m+1m-2} + N_{i+1i-2} + N_{im-1}$, получаем

$$\begin{aligned} \psi(e_{mm-1} + e_{ii-1}) &= \phi(e_{mm-1} + e_{ii-1}) = \\ &= \phi(e_{mm-1}) + \phi(e_{ii-1}) = k_{im}e_{im}. \end{aligned}$$

Отсюда и из описания группы $\text{Der } R$ (лемма 2) следует, что в этих соотношениях ψ можно считать внутренним дифференцированием с подходящей матрицей $\gamma = \|\gamma_{uv}\| \in R$. В этом случае

$$\begin{aligned} \psi(e_{mm-1} + e_{ii-1}) &= \\ &= \gamma_{i-1m}(e_{im} - e_{i-1m-1}) \bmod (N_{m+1m-2} + N_{i+1i-2} + N_{im-1}) \end{aligned}$$

и, следовательно, $\gamma_{i-1m} = 0 = k_{im} = 0$. Произвол в выборе m дает равенства $k_{ij} = 0$ в (7) для всех j .

Таким образом, доказаны соотношения $\phi(e_{ii-1}) = 0 \bmod N_{i+1i-2}$. Вместе с леммой 5 они показывают, что $\phi(e_{ii-1}) = 0$ для всех i , с точностью до прибавления центрального дифференцирования.

Доказательство теоремы 4 завершает лемма 7.

Лемма 7. Если локальное дифференцирование ϕ алгебры R удовлетворяет условию (6), то все элементы c_{ii-2} из леммы 4 попарно совпадают.

Доказательство. Для произвольного локального дифференцирования ϕ алгебры R существуют элементы $c_{ij} \in K$ такие, что выполняются равенства (5).

Пусть $2 < i < n$. Положим $\alpha = e_{ii-2} + e_{i-1i-2} + e_{i+1i-1} - e_{i+1i}$. Согласно описанию дифференцирований (лемма 2), ϕ действует на α по модулю центра Z как треугольное дифференцирование с треугольной матрицей $\gamma = \|\gamma_{uv}\|$, в частности,

$$c_{ii-2}e_{ii-2} + c_{i+1i-1}e_{i+1i-1} = \phi(\alpha) = \alpha * \gamma \bmod R^3.$$

Сравнение в левой и правой частях этого равенства элементов на позициях $(i-1, i-2)$ и $(i+1, i)$ дает равенства соответственно $d_{i-1} = d_{i-2}$ и $d_{i+1} = d_i$. Сравнивая элементы на позициях $(i, i-2)$ и $(i+1, i-1)$, получаем соответственно равенства

$$d_{i-2} - d_i - x_{ii-1} = c_{ii-2}, \quad d_{i-1} - d_{i+1} - x_{ii-1} = c_{i+1i-1}.$$

Отсюда $d_{i-1} - d_i - x_{ii-1} = c_{ii-2}$, $d_{i-1} - d_i - x_{ii-1} = c_{i+1i-1}$ и, следовательно, $c_{ii-2} = c_{i+1i-1}$. В силу произвольного выбора i получаем $c_{31} = c_{42} = \dots = c_{nn-2}$.

Теорема о локальных левых дифференцированиях. Целью этой части работы является доказа-

тельство теоремы 1; теорема 2 доказывается по аналогичной схеме. Описание группы $\text{Der } \Lambda(R)$ дано в [7, теорема 5].

Случай $n = 3$ теоремы 1 устанавливает лемма 8.

Лемма 8. Пусть K есть ассоциативно-коммутативное кольцо с единицей и $R = NT(3, K)$. Тогда $\text{Locder } \Lambda(R)$ есть сумма подгрупп $\text{Der } \Lambda(R)$ и $\text{Locder } R$.

Доказательство. Произвольное локальное лиево дифференцирование ψ алгебры $R = NT(3, K)$ действует на элементы e_{21} и e_{32} так, что

$$\psi : e_{i+1i} \rightarrow a_i e_{21} + b_i e_{32} \mod R^2, i = 1, 2 (a_i, b_i \in K).$$

Учитывая [7, теорема 5], можем считать, что ψ действует по модулю центра как нулевое отображение на элементы e_{21} и e_{32} . Тогда все идеалы N_{ij} являются ψ -инвариантными и поэтому $\psi \in \text{Locder } R$.

С учетом теоремы 4 несложно доказывается (см. [4]) лемма 9.

Лемма 9. Если $R = NT(3, K)$, то $\text{Locder } R$ аддитивно порождает $\text{Der } R$ и локальные дифференцирования вида

$$\delta_t : \alpha \rightarrow ta_{n1}e_{n1} \quad (\alpha = \|a_{km}\| \in R, t \in K). \quad (8)$$

Далее полагаем $R = NT(4, K)$. При $t \in K$ выделяем эндоморфизмы K -модуля R ,

$$\begin{aligned} \varphi_{31,t} : \alpha &\rightarrow ta_{31}e_{n1}, \\ \varphi_{nn-2,t} : \alpha &\rightarrow ta_{nn-2}e_{n1} \quad (\alpha \in R). \end{aligned} \quad (9)$$

Следующая теорема анонсирована в [9]. См. также [10].

Теорема 5. Если K – поле, то $\text{Locder } R$ аддитивно порождает $\text{Der } R$ и локальные дифференцирования вида (9), (8) и (4).

Описание лиевых дифференцирований приведено в [7]. Выделим эндоморфизмы

$$\begin{aligned} \sigma_a : e_{21} &\rightarrow ae_{n2}, \sigma'_b : e_{nn-1} \rightarrow be_{n-11} \quad a, b \in K, \\ \varphi_c : e_{21} &\rightarrow ce_{43}, e_{31} \rightarrow ce_{42}, \\ \varphi'_d : e_{43} &\rightarrow de_{21}, e_{42} \rightarrow de_{31}, c, d \in K, \end{aligned}$$

аддитивной группы $\Lambda(R^+)$. (Считаем, что матричная единица e_{ij} обращается в нуль, если ее образ не указан.) Описание $\text{Der } \Lambda(R)$ в [7] использует подгруппы

$$\begin{aligned} L_3 &= \langle \varphi_c | c \in K, 2c = 0 \rangle, L'_3 = \langle \varphi'_d | d \in K, 2d = 0 \rangle; \\ \tilde{L}_2 &= \langle \sigma_a | a \in K \rangle, \tilde{L}'_2 = \langle \sigma'_b | b \in K \rangle. \end{aligned}$$

Лемма 10. Пусть K – ассоциативно-коммутативное кольцо с единицей. Тогда

$$\text{Der } \Lambda(R) = \tilde{L}_2 + \tilde{L}'_2 + L_3 + L'_3 + \text{Der } R \quad (n = 4).$$

Как и в (2), выберем $\gamma = \|c_{ij}\| \in M(2, K)$. Отображения $\hat{\gamma}$ и ρ_k введены перед теоремой 1 и в (3). Они дают нетривиальные локальные лиевы дифференцирования, как показывают следующие две леммы.

Лемма 11. Если K – поле и $2c_{12} = 2c_{21} = 0$, то отображение $\hat{\gamma}$ есть локальное лиево дифференцирование алгебры R .

Доказательство. Фиксируя $\alpha = \|a_{ij}\| \in R$, найдем $\psi \in \text{Der } \Lambda(R)$ такое, что

$$\psi(\alpha) = \hat{\gamma}(\alpha). \quad (10)$$

Пусть $a_{31}c_{11} + a_{42}c_{21}$ и $a_{42}c_{22} + a_{31}c_{12}$ одновременно $\neq 0$, иначе $\hat{\beta}(\alpha) = 0$. Когда $\alpha \in N_{32}$, дифференцирование ψ в (10) даст сумма диагонального дифференцирования с матрицей $\text{diag}\{d_1, d_2, d_3, d_1\}$ над K и дифференцирования $\varphi_c + \varphi'_d$, где $\varphi_c \in L_3, c = c_{12}$ и $\varphi'_d \in L'_3, d = c_{21}$.

Если $a_{21} \neq 0$, то $\hat{\gamma}(\alpha) = (\sigma_a + \chi)(\alpha)$ для $\chi : \alpha \rightarrow \alpha\gamma - \gamma\alpha, \gamma = (-a_{21}^{-1}(a_{31}c_{11} + a_{42}c_{21}))e_{32}$ и

$$\begin{aligned} \sigma_a \in \tilde{L}_2, \quad a &= a_{21}^{-1}(a_{42}c_{22} + a_{31}c_{12}) + \\ &+ a_{43}a_{21}^{-2}(a_{31}c_{11} + a_{42}c_{21}). \end{aligned}$$

Когда $a_{21} = 0$ и $a_{43} \neq 0$, выбираем ψ аналогично, используя замену σ_a на σ'_b .

Лемма 12. Если K – поле, то ρ_k есть локальное лиево дифференцирование алгебры R для любого элемента $k \in K$.

Доказательство. Зафиксируем $k \in K$. Для произвольной матрицы $\alpha = \|a_{ij}\| \in R$ найдем лиево дифференцирование $\psi \in \text{Der } \Lambda(R)$ такое, что

$$\rho_k(\alpha) = ka_{43}e_{42} = \psi(\alpha). \quad (11)$$

Если $ka_{43} = 0$, то можно взять $\psi = 0$. Поэтому далее $ka_{43} \neq 0$.

При $a_{21} \neq 0$, полагая $b = ka_{21}a_{43}^{-1} \in K$ и $\gamma = ke_{32}$, получаем $\rho_k(\alpha) = \sigma'_b(\alpha) + \alpha * \gamma$, так что в (11) можно взять $\psi = \sigma'_b(\alpha) + \alpha * \gamma$. Пусть $a_{21} = 0$. Тогда ψ действует на α как внутреннее дифференцирование с матрицей ke_{32} .

Замечание. Построенные нетривиальные локальные дифференцирования $\hat{\gamma}$ и ρ_k не обязаны лежать в $\text{Der } \Lambda(R) + \text{Locder } R$. Кроме того, если $k \neq 0$, то ρ_k есть нетривиальное локальное лиево дифференцирование, относительно которого все идеалы N_{ij} инвариантны, хотя $\rho_k \notin \text{Locder } R$.

Лемма 13. Всякое локальное лиево дифференцирование алгебры R над полем K действует на совокупность элементов $e_{i+1i} (1 \leq i \leq 3)$ как сумма лиева дифференцирования и локального лиева дифференцирования вида ρ_k .

Доказательство. Пусть $\psi \in \text{Locder } \Lambda(R)$. В силу леммы 3, ψ индуцирует линейные преобразования фактор-алгебр $\Lambda(R)/N_{32}, (N_{21} + N_{43})/R^2, N_{32}/R^2$ и,

следовательно, однозначно определяет элементы $c_i, d_j \in K$ такие, что

$$\begin{aligned}\psi(e_{21}) &= d_1 e_{21} + c_1 e_{43}, & \psi(e_{43}) &= c_2 e_{21} + d_2 e_{43}, \\ \psi(e_{32}) &= d_3 e_{32} \bmod R^2.\end{aligned}$$

Поэтому ψ действует как нулевое отображение по модулю R^2 на всех элементах e_{i+1i} , с точностью до прибавления дифференцирований из L_3, L'_3 и диагонального дифференцирования.

Далее, для каждого i добиваемся равенства $\psi(e_{i+1i}) = 0$ по модулю центра $Z = R^3$. С этой целью прибавляем к ψ внутреннее дифференцирование $\alpha \rightarrow \alpha * \gamma (\alpha \in R)$ с матрицей $\gamma \in (Ke_{21} + Ke_{43})$ для $i = 2$, а для $i = 1$ – с матрицей $\gamma \in Ke_{32}$ и, кроме того, прибавляем дифференцирование вида φ_c . (Условие $\psi(e_{32}) = 0 \bmod R^3$ при этом не изменяется.) Для случая $i = 3$ достаточно прибавить к ψ дифференцирование вида φ'_d и локальное лиево дифференцирование вида ρ_k .

Наконец, прибавляя к ψ центральное дифференцирование алгебры R , добиваемся точных равенств $\psi(e_{i+1i}) = 0$.

Доказательство теоремы 1. Исследуем произвольное локальное лиево дифференцирование ψ алгебры $R = NT(4, K)$ над полем K . С учетом леммы 15 можем считать, что ψ действует как нулевое отображение на элементы e_{21}, e_{32}, e_{43} . В силу линейности ψ на R^2 / R^3 , существует матрица $\|b_{ij}\| \in M(2, K)$ такая, что

$$\psi(e_{i+2i}) = b_{i1} e_{31} + b_{i2} e_{42} \bmod R^3, \quad i = 1, 2.$$

Нам достаточно доказать, что $2b_{12} = 2b_{21} = 0$. Можно считать, что K – поле характеристики $\neq 2$. Пусть $b_{12} \neq 0$. Ясно, что идеал N_{31} инвариантен относительно подгруппы T дифференцирований $\alpha \rightarrow \alpha * \gamma (\alpha \in R)$ для треугольных матриц γ над K . Поскольку $\psi \in \text{Locder}\Lambda(R)$, то существует $\theta \in \text{Der}\Lambda(R)$ с условием $\theta(e_{31}) = \psi(e_{31})$. По лемме 10, $\theta \in L_3 + T$, т. е. $\theta = \mu + \varphi_c$, где $\mu \in T$, $\varphi_c \in L_3$, в частности $c \in K, 2c = 0$. Отсюда и из связи θ, ψ получаем $c = b_{12}$, $2c = 2b_{12} = 0$ и поэтому $b_{12} = 0$. Аналогично,

$b_{21} = 0$. Таким образом, несложно видеть, что всегда $2b_{12} = 2b_{21} = 0$ и прибавлением к ψ подходящего локального лиева дифференцирования $\hat{\gamma}$ добиваемся по модулю центра Z равенств $\psi(e_{31}) = 0$ и $\psi(e_{42}) = 0$. К точным равенствам приходим, прибавляя к ψ локальные дифференцирования вида $\varphi_{31,t}$ и $\varphi_{42,t}$. И, наконец, $\psi(e_{41}) = 0$, с точностью до прибавления к ψ локального дифференцирования вида δ_t . Тем самым доказательство теоремы завершено.

Библиографические ссылки

1. Kadison R. Local derivations // J. Algebra. 1990. Vol. 130. P. 494–509.
2. Larson D. R., Sourour A. R. Local derivations and local automorphisms of $B(H)$ // Proc. Sympos. Pure Math. 1990. Vol. 51. P. 187–194.
3. Crist R. Local automorphisms // Proc. Am. Math. Soc. 2000. Vol. 128. P. 1409–1414.
4. Локальные автоморфизмы и локальные дифференцирования нильпотентных матричных алгебр / А. П. Елисова, И. Н. Зотов, В. М. Левчук, Г. С. Сулейманова // Изв. Иркут. гос. ун-та. 2011. Т. 4, № 1. С. 9–19.
5. Nowicki A., Nowosad I. Local derivations of subrings of matrix rings // Acta Mathematica Hungarica. 2004. Vol. 105, № 1–2. P. 145–150.
6. Ou S., Wang D., Yao R. Derivations of the Lie algebra of strictly upper triangular matrices over a commutative ring // Linear Algebra and its Applications. 2007. Vol. 424. P. 378–383.
7. Levchuk V. M., Radchenko O. V. Derivations of the locally nilpotent matrix rings // J. Algebra and Applications. 2010. Vol. 9, № 5. P. 717–724.
8. Левчук В. М. Связи унитарной группы с некоторыми кольцами. II. Группы автоморфизмов // Сиб. мат. журн. 1983. Т. 24, № 4. С. 543–557.
9. Елисова А. П. Локальные автоморфизмы и дифференцирования алгебр нильтреугольных матриц // Тез. докл. междунар. конф. по теории колец. Новосибирск, 2011. С. 8–10.
10. Wang X. Local derivations of a matrix algebra over a commutative ring // J. of Math. Research and Exposition. 2011. Vol. 31, № 5. P. 781–790.
11. Elisova A. Local automorphisms and derivations of nilpotent matrix algebras // Book of abstracts of the Int. conf. on algebra. Kiev, 2012. P. 46.

A. P. Elisova

LOCAL DERIVATIONS AND LOCAL AUTOMORPHISMS OF NILPOTENT ALGEBRAS OF MATRICES OF SMALL ORDERS

Let K be associative and commutative ring with identity. In the article we study local derivations and local automorphisms of algebra R of lower niltriangular $n \times n$ matrices over K and associated with R of Lie algebra. Their descriptions are completed under $n = 3$ and when K is a field, under $n = 4$.

Keywords: algebra of niltriangular matrices, local derivation, local automorphisms.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭМПИРИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ МУЛЬТИЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ В КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ*

Рассмотрены пути реализации эмпирической поддержки мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии, используемой в распределенных информационных системах, на примере работы комплекса программного моделирования КПМ v.1.0.

Ключевые слова: информационная система, мультилингвистическая технология, адаптивное обучение.

В настоящее время распространенным способом упорядочения информационных потоков в рамках предприятий и организаций является создание и поддержание распределенной информационной системы. Такая система позволяет решать множество задач, начиная с отслеживания и электронного документирования финансовых потоков и заканчивая общением сотрудников данного предприятия. В перспективе корпоративная информационная система может стать более сложной структурой, так называемой ERP-системой. Такие системы несут в себе, наряду с информационными, функции планирования и управления предприятием.

При построении распределенных информационных систем разработчики неизбежно сталкиваются с целым рядом проблем. Учитывая тенденции к интеграции и созданию мультинациональных корпораций, одной из таких проблем является проблема языкового взаимодействия, когда специалисты разных национальностей (принадлежащие к разным языковым группам) должны в кратчайшие сроки прийти к пониманию, т. е. обучиться специализированной предметной лексике на незнакомом им языке. Другой проблемой является эффективное взаимодействие специалистов непосредственно с компьютерной системой, которое для людей, далеких от компьютерных и информационных технологий, не является тривиальной задачей [1].

В данной статье рассматривается реализация эмпирической поддержки мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии, используемой в распределенных информационных системах, на примере работы комплекса программного моделирования КПМ v.1.0.

Итак, одним из новых путей решения проблемы интенсивного накопления иностранного профессионально ориентированного словарного запаса является применение мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии (МЛ-технологии), информационным базисом которой являются частотные словари [2].

На сегодняшний момент МЛ-технология есть совокупность алгоритмов и моделей данных, направленных на эффективное, строго организованное изучение иностранной лексики [3]. Особенность МЛ-технологии состоит в искусственном построении

ассоциативных связей между языковыми аналогами некоторого множества языков непосредственно в процессе обучения. Это в некоторой степени снижает возможность возникновения «смешения языков» и ускоряет процесс запоминания.

Количество алгоритмов и моделей данных, которые включает в себя МЛ-технология, постоянно увеличивается. Возникает необходимость в сравнительном анализе алгоритмов, но поскольку все они ориентированы на данные, а эти данные зачастую должны быть многочисленны и разнообразны, проводить такой анализ становится затруднительным. Тем не менее необходимость в эмпирической проверке алгоритмов существует и с развитием МЛ-технологии только усиливается.

Проводить различного рода тесты и эксперименты в этой области сложно еще и потому, что данные, необходимые для этого, есть не что иное, как множество распределенных информационно-терминологических базисов (ИТБ) [3]. На разработку таких ИТБ уходит значительное количество ресурсов, включая работу экспертов-лингвистов и специалистов различных предметных областей. Решить эту проблему в некоторой степени возможно с помощью программного моделирования, при котором реальные ИТБ заменяются их адекватными моделями.

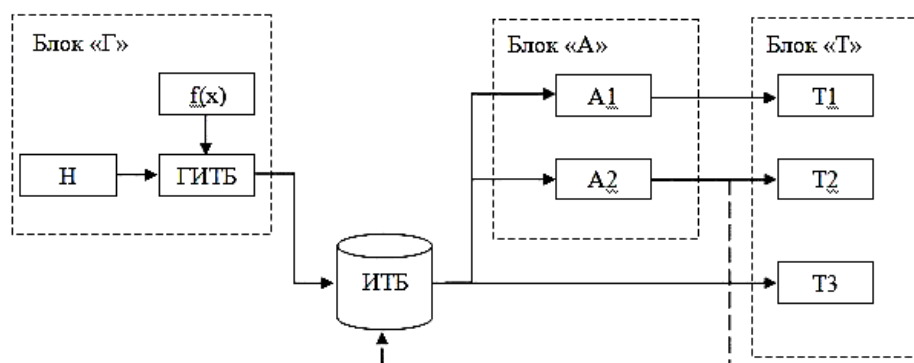
Структура таких моделей должна учитывать все возможные свойства ИТБ, включая абсолютную и относительную частоты, скрытые лексические связи и т. п.

После того как разработана и принята структура моделей, строится эмпирическая база для анализа алгоритмов, состоящая из множеств моделей заданной структуры с различными априорными характеристиками, такими как объем базиса, максимальные значения частот и количество лексических связей.

После того как эмпирическая база сформирована, на ней в режиме тестирования реализуются интересующие исследователя алгоритмы, затем анализируются результаты экспериментов.

Генерацию множества моделей и тестирование алгоритмов разумно осуществлять в рамках одной программной системы. Примером такой системы может служить комплекс программного моделирования КПМ v.1.0 [4] (см. рисунок).

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.» и ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» 2011-1.9-519-005.



Структура программного комплекса КПМ v.1.0

Основой КПМ v.1.0 является блок генерации моделей ИТБ, представленный на приведенной схеме как блок «Г». Он состоит из генератора (ГИТБ), на вход которого подается список параметров (Н), необходимых для формирования текущей модели. Механизмы ГИТБ основаны на генерации псевдослучайных чисел, причем сама генерация может осуществляться по различным стохастическим законам ($f(x)$). На сегодняшний момент КПМ v.1.0 поддерживает генерацию псевдослучайных чисел по нормальному и равномерному законам распределения вероятностей.

Список параметров Н в КПМ v.1.0 реализован в виде класса и состоит из набора переменных, определяющих следующие настройки формирования модели ИТБ:

- объем базиса в терминах;
- максимальное количество связей, приходящихся на одну лексему;
- максимальное значение абсолютной частоты лексем;
- максимальное значение частоты сочетаний лексем;
- объем материала, по которому произведен частотный анализ;
- коэффициент связанности лексем.

Коэффициент связанности лексем определяет максимальную долю от абсолютной частоты лексемы, которую занимает частота ее использования в лексических сочетаниях.

Используя список параметров как набор входных данных, ГИТБ генерирует модель согласно выбранному закону распределения.

Список параметров формирования моделей может быть сохранен в файл и в любой момент восстановлен.

Результаты генерации отображаются в соответствующем окне для их визуального анализа и также могут быть сохранены в файл и восстановлены впоследствии.

Блок «А» представляет собой набор алгоритмов для эмпирического анализа, реализуемых в виде отдельных программных модулей и библиотек.

Все алгоритмы этого блока делятся на два основных типа:

- алгоритмы, использующие ИТБ в процессе обучения (А1);
- алгоритмы, изменяющие структуру самого ИТБ на основе анализа его характеристик (А2).

На выходе алгоритмов А2-типа формируется ИТБ с новой структурой, который так же может быть использован алгоритмами обоих типов и проанализирован.

Блок «Т» – блок тестирования ИТБ и алгоритмов. Тесты, входящие в этот блок, логически подразделяются на три типа:

- тесты для анализа А1-алгоритмов (Т1);
- тесты для анализа А2-алгоритмов (Т2);
- тесты для анализа ИТБ как результата А2-алгоритмов (Т3).

Под тестами здесь следует понимать специальные аналитические алгоритмы, которые также могут быть добавлены в КПМ v.1.0 как отдельные программные модули и библиотеки. Необходимо заметить, что структура Т-алгоритмов зависит от интересов исследователя и может представлять собой как тривиальный счетчик итераций, так и многоступенчатые, многоатрибутивные алгоритмы с вычислением экстремумов разнообразных функций качества.

В качестве примера работы КПМ v.1.0 проведем сравнительный анализ двух алгоритмов А2-типа: алгоритма 1, алгоритма 2.

Приведем необходимый минимум информации об исследуемых алгоритмах. Итак, алгоритм 1 и алгоритм 2 имеют общие задачи, а именно являются алгоритмами формирования лексически связанных компонентов (ЛС-компонентов) [5]. Формирование ЛС-компонентов осуществляется на основе данных о скрытых лексических связях ИТБ, относительной частоте лексем и лексических сочетаний. Это означает, что модели, на которых мы будем производить тестирование, должны отражать эти свойства базиса в полной мере.

Суть формирования ЛС-компонентов состоит в выделении «наиболее подходящих» «лексических центров» и их связей с другими лексемами. Соответственно, все лексемы ИТБ, согласно приведенным алгоритмам, делятся на три группы:

- основные лексемы (представляют собой «лексические центры»);
- связанные лексемы (отражают лексические сочетания основных лексем);
- свободные элементы (лексемы, не попавшие ни под одну из категорий).

В качестве «лексических центров» выступают лексемы, имеющие наибольшую абсолютную частоту и наиболее сильные лексические связи.

Оба алгоритма состоят из трех общих фаз.

1. Упорядочение ИТБ.

Производится согласно критерию

$$Q_i = q_i e^{-\frac{0,7}{\sum_k q_k \mu_{ik} + 1}} \rightarrow \max,$$

где q_i – относительная частота, выражающая долю лексической единицы в тексте, подвергшемся статистической обработке при составлении частотного словаря, $0 < q_i < 1$; μ_{ik} – относительная частота сочетания i -й и k -й лексем, отражающая силу ассоциативной связи.

2. Перебор числа основных лексем.

2.1. Поиск связанных лексем.

2.2. Вычисление функции качества ИТБ как совокупности ЛС-компонентов от числа основных лексем:

$$Q(n) = \sum_i q_i e^{-\frac{0,7}{\sum_k q_k \mu_{ik} + 1}} \rightarrow \max.$$

3. Определение оптимального количества основных лексем и структуры ЛС-компонентов путем максимизации функции качества $Q(n)$.

Исследуемые алгоритмы имеют различия в фазе 2.1: в случае алгоритма 1 поиск связанных лексем осуществляется непосредственно при переборе основных лексем с учетом данных об их лексических связях; в случае алгоритма 2 поиск осуществляется путем перебора связанных лексем j и нахождения наилучших сочетаний:

$$\Delta Q_i = q_i e^{-\frac{0,7}{(\sum_k q_k \mu_{ik} + 1) + q_j \mu_{ij}}} - Q_i \rightarrow \max.$$

Теперь, когда мы имеем общее представление об исследуемых алгоритмах, можно переходить к фазе тестирования.

Итак, основными оцениваемыми характеристиками будут максимум функции качества как показатель эффективности алгоритма и количество итераций как показатель его ресурсоемкости.

Для более полного анализа исследуемых алгоритмов введем дополнительные характеристики, такие как количество основных лексем, количество свободных элементов и время исполнения как независимый показатель ресурсоемкости (для различных алгоритмов одна итерация может содержать различное число простых операций).

Настраиваемые параметры базиса:

- объем базиса в терминах (1 000);
- максимальное количество связей, приходящихся на одну лексему (10);
- максимальное значение абсолютной частоты лексем (100/50 000);
- максимальное значение частоты сочетаний лексем (20/50 000);
- объем материала, по которому произведен частотный анализ (50 000);
- коэффициент связанности лексем (1).

Результаты тестирования приведены в таблице.

Анализ данных тестирования показывает, что алгоритм 2 превзошел по значению максимума $Q(n)$ алгоритм 1 на 0,000 000 004 402 925, что составляет $\approx 10^{-6}$ %. Показатель качества увеличился незначительно, в то время как количество итераций и время исполнения алгоритма увеличились на несколько порядков. Тем не менее если рассматривать время исполнения алгоритма 2 независимо от аналогичного показателя алгоритма 1, то оно не так уж и велико, особенно если речь идет об этапе формирования ИТБ. Но это заключение является преждевременным, поскольку был проведен всего один эксперимент на одной модели.

Проведение ряда подобных экспериментов на моделях ИТБ с различными параметрами даст достаточную эмпирическую базу для анализа исследуемых алгоритмов, чтобы результаты этого анализа можно было считать достоверными.

Все это в полной мере относится не только к приведенным в примере алгоритмам, но и ко всем алгоритмам и структурам данных, которые включает в себя МЛ-технология.

Библиографические ссылки

1. Ковалев И. В., Кустов Д. В., Слободин М. Ю. Интеллектуализация информационных технологий в корпоративных системах // Информ. ресурсы России. 2006. № 3 (91). С. 31–34.
2. Ковалев И. В., Карасева М. В. Англо-немецко-русский частотный словарь по системному анализу / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2004.
3. Карасева М. В., Лесков В. О. Система формирования информационно-терминологического базиса мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии // Вестник СибГАУ. 2007. Вып. 4 (17). С. 31–35.
4. Лесков В. О. Комплекс программного моделирования КПИМ v.1.0 / ВНИИЦ. М., 2008. № 50200802242.

Тестирование алгоритмов

Название алгоритма	Алгоритм 1	Алгоритм 2
$\max Q(n)$	0,496 118 565 143 325	0,496 118 569 546 25
Основных лексем	188	188
Свободных элементов	320	324
Итераций	4 981 096	2 000 498 500
Время исполнения, с	3,41	130,75

M. V. Karaseva, A. V. Datsenko

PROGRAM REALIZATION OF EMPIRICAL SUPPORT OF MULTILINGUAL TECHNOLOGY IN A CORPORATIVE INTELLIGENT SYSTEM

The article considers ways of realization of empirical support of multilingual adaptive-training technology, used in distributed intelligent systems, on the example of program modeling complex КПИМ v.1.0.

Keywords: intelligent system, multilingual technology, adaptive training.

© Карасева М. В., Даценко А. В., 2012

УДК 621.355

Т. А. Леонова, А. И. Дудник, А. Е. Михеев, И. В. Осипова, Г. Н. Чурилов

РАЗРЯДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ С УГЛЕРОДНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ*

Исследованы литий-ионные аккумуляторы, в которых в качестве отрицательного электрода использовались фуллерит-литиевые композитные пленки, пластины гексагонального графита и пластины турбостратного графита (ТГ). Положительными электродами во всех литий-ионных аккумуляторах служили пластины металлического лития. При использовании в качестве анода турбостратного графита наблюдалось максимальное значение разрядного тока, в 1, 5 раза превышающее максимальный ток для анода из гексагонального графита. По результатам рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии установлено, что толщина активного слоя (слоя анода интеркалированного ионами лития) для турбостратного графита составила 600 нм. Максимальное значение удельной емкости наблюдалось также при использовании турбостратного графита в качестве анода и достигало 244 мА·ч/г.

Ключевые слова: литий-ионные аккумуляторы, фуллерит, турбостратный графит, гексагональный графит, удельная емкость.

Углерод является перспективным и популярным на сегодняшний день материалом для литиевых химических источников тока (ЛХИТ). Как известно, ЛХИТ широко используются в электронной технике благодаря высоким удельным характеристикам: емкости (180...400 мА·ч/г), плотности тока (0,1...100 мА/см², в зависимости от материала) и доступности в цене, по сравнению с другими химическими источниками тока (ХИТ). Однако во всем мире продолжает рассматриваться маловероятная перспектива применения чистых фуллеренов в ЛИА, поскольку материалы на их основе не обладают ионной проводимостью. Известно, что элементарная ячейка ГЦК-решетки фуллерита содержит 8 тетраэдрических (2,2 Å) и 4 октаэдрических пустот (4,2 Å), поэтому эти пустоты способны вместить ионы лития (радиус иона 0,68 Å) при интеркаляции. По теоретическим расчетам отношение числа ионов лития к числу атомов углерода в фуллерите составляет 1/3, а в графите – 1/6, поэтому использование фуллерита в качестве анода может существенно увеличить емкость ЛХИТ [1].

Решение задачи по увеличению удельных характеристик ЛХИТ осложняется тем, что большинство материалов, имеющих высокие показатели по удельной емкости до 3 000 мА·ч/г, такие как кремний [2], на-

нотрубки и нановолокна на основе Si, Ge, TiSi₂, ZnO, TiO₂, SiC [3; 4] и графен [5; 6], при интеркаляции-деинтеркаляции ионов лития увеличивает свой объем это увеличение может составлять 400 %) и постепенно разрушается. Неоспоримым преимуществом углеродных материалов является изменение объема всего на 12 % при внедрении ионов лития. В графите расстояние между атомными плоскостями 3,35 Å, что позволяет проникать туда ионам лития. Как известно, в турбостратной структуре графита расстояние между графитовыми слоями больше и составляет 3,42 Å [7]. Поэтому интеркаляция ионов лития в ТГ будет приводить к меньшим необратимым изменениям структуры, чем в гексагональном графите, а значит, и количество циклов «заряд-разряд» аккумулятора увеличится. В увеличенную межплоскостную область ТГ может проникнуть больше ионов лития, что означает увеличение удельной емкости ЛИА с электродом из ТГ. В связи с этим использование турбостратного графита в качестве анода может повысить значение удельной емкости и разрядного тока аккумулятора, снизить деградацию емкостных параметров в процессе интеркаляции-деинтеркаляции ионов лития. Исследование анодов для ЛХИТ на основе углеродных материалов является актуальной задачей на сегодняшний день.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашения 14.B37.21.0163 и 8194, РФФИ в рамках научного проекта № 12-03-31439 проекта фундаментальных исследований НАН Беларуси и СО РАН № 24.

В данной работе фуллерит-литиевая пленка была получена методом индукционного термовакuumного испарения в модифицированной установке на базе ВУП-5. Пленка была пролегирована литием в процессе осаждения для увеличения электропроводности. В вакуумной камере происходило одновременное напыление смеси фуллерита и лития из разных тиглей. Толщина полученной композитной пленки 600 нм.

Турбостратный графит был получен при конденсации углерода из плазмы углеродно-гелиевой дуги на внешнем электроде [8]. В качестве гексагонального графита использовался графит марки ГС-1, ГОСТ 8295–73. Графитовые электроды были изготовлены из монолитных пластин. Диаметр электродов составлял 13 мм, толщина – 1 мм. Конструкция аккумулятораной ячейки представлена на рис. 1.

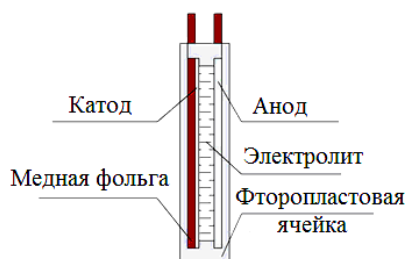


Рис. 1. Конструкция аккумуляторной ячейки.
Межэлектродное расстояние 1,5 мм

Для исследования электрохимических характеристик была изготовлена фторопластовая ячейка и помещена в атмосферу аргона. Катодом служил металлический литий в виде пластины диаметром 13 мм. Отвод тока от электродов осуществлялся медной фольгой. В качестве электролита использовали одномолярный раствор LiBr в тетрагидрофуране (C_4H_8O).

Исследование распределения элементов в образцах выполнено методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) на спектрометре фирмы SPECS GmbH. Поверхность образца подвергалась травлению ионами аргона (время травления – 5 мин, энергия – 5 кэВ). Через определенные промежутки времени проводился рентгеноэлектронный анализ поверхности и получалась зависимость интенсивностей определенных линий от времени травления. Разрядные характеристики были получены с помощью мультиметра AM-1109, с погрешностью по напряжению $\pm 0,001$ В, по току $\pm 0,002$ А.

После сборки аккумуляторы заряжались при постоянном напряжении 5 В, до тех пор пока ток, протекающий через аккумулятор, не достигал своего максимального значения и его дальнейшее увеличение становилось незначительным. Нагрузкой аккумуляторов при разряде являлся резистор 10 кОм. Расчет емкости аккумуляторов осуществляли по разрядным зависимостям тока от времени.

Разрядные характеристики аккумулятора с анодом из фуллерит-литиевой пленки для первого, пятого и десятого циклов разряда представлены на рис. 2.

При первом разряде величина тока уменьшалась в течение 4 ч, а при последующих разрядах стабилизировалась уже после 30 мин. Уменьшение емкости в

процессе десяти циклов разряда указывает на сильное воздействие процесса интеркаляции-деинтеркаляции ионов лития на структуру фуллерит-литиевой пленки. Для определения удельной емкости аккумулятора была рассчитана масса пленки на основе ее геометрических размеров и средней плотности фуллеренов ($1,7$ г/см³). Масса составила $9,8 \cdot 10^{-4}$ г. Соответственно среднее значение удельной емкости аккумулятора – 221 мА·ч/г и среднее значение удельной плотности тока – $4,5$ мкА/см².

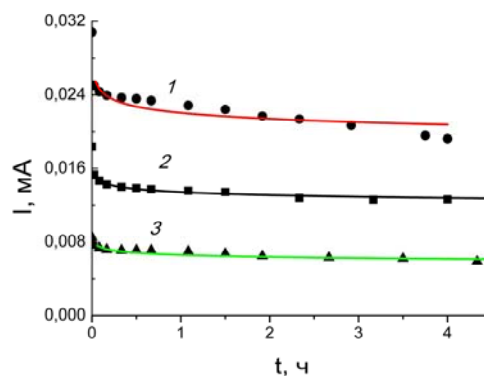


Рис. 2. Зависимости разрядного тока от времени.
Аппроксимация с Re не менее 0,99:
1 – первый цикл разряда; 2 – пятый цикл разряда;
3 – десятый цикл разряда

Разрядные характеристики аккумуляторов с анодом из гексагонального и турбостратного графита соответственно показаны на рис. 3 и 4.

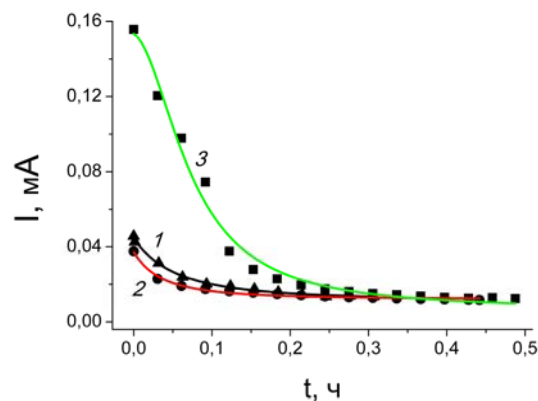


Рис. 3. Зависимости разрядного тока от времени для гексагонального графита:
1 – первый цикл разряда; 2 – пятый цикл разряда;
3 – десятый цикл разряда

У аккумулятора с анодом из гексагонального графита при последующих разрядах емкость уменьшается в несколько раз. У аккумулятора с анодом из ТГ уменьшения емкости практически не происходит. Среднее значение удельной емкости аккумулятора на основе гексагонального и турбостратного графитов составило $0,043$ мА·ч/г и $0,15$ мА·ч/г соответственно. Плотность тока для гексагонального графита $0,13$ мА/см², максимальный разрядный ток 150 мкА. Эти же параметры для ТГ составили $0,2$ мА/см² и 230 мкА соответственно.

Концентрация ионов лития в структуре графитовых электродов на разной глубине анода определялась методом РФЭС (рис. 5).

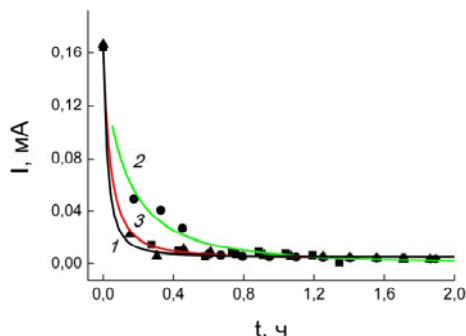


Рис. 4. Зависимости разрядного тока от времени для турбоэстратного графита:
1 – первый цикл разряда; 2 – пятый цикл разряда;
3 – десятый цикл разряда

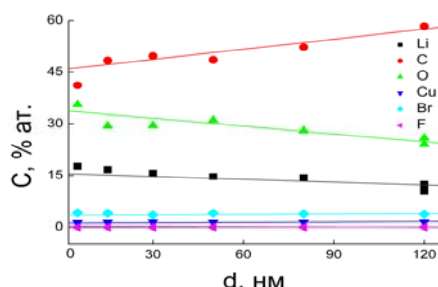


Рис. 5. Изменение концентрации элементов по толщине в электроде из турбоэстратного графита

Травление поверхности анода осуществлялось ионами Ag^+ в течение 120 мин, и поверхность стравливалась до 120 нм. Концентрация атомов лития на поверхности 18 ат. %, на глубине 100 нм – 10 ат. %. Аппроксимируя кривую концентрации для лития, установили, что ионы лития при рециклировании электрохимической ячейки интеркалировали в электрод из турбоэстратного графита на глубину не более 600 нм. Это значит, что всего 0,1 % объема графитового электрода использовалась для накопления ионов лития в процессе заряда. Таким образом, удельная емкость электрода из ТГ с учетом глубины проникнове-

ния ионов лития составляет 244 мА·ч/г, а из гексагонального графита – 86 мА·ч/г.

Таким образом, методом РФЭС установлено, что толщина активного слоя в ТГ не более 600 нм. Рассчитанное значение удельной емкости для данной толщины активного слоя составляет 224 мА·ч/г. Показано, что турбоэстратный графит существенно более устойчив к рециклированию, чем гексагональный. Это можно объяснить большей величиной межплоскостного расстояния (3,42 Å). Полученное значение удельной емкости ТГ при активном слое 600 нм ниже теоретического значения для графита. Мы считаем, что это вызвано в основном высоким сопротивлением электролита и высокой необратимой емкостью. Дальнейшие исследования и поиск новых эффективных электролитов, не растворяющих фуллерены, помогут увеличить емкость данных анодов.

Библиографические ссылки

1. Скундин А. Литий-ионные аккумуляторы: современное состояние, проблемы и перспективы // Письма ЖЭТФ. 2007. Т. 25. С. 46–49.
2. Чо Д. Трехмерный пористый кремний является эффективным анодом для литиевых аккумуляторов [Электронный ресурс] // Новости хим. науки : электрон. журн. 2008. URL: <http://www.chemport.ru/datenews.php?news=1336> (дата обращения 01.12.2011).
3. Xie J. Comparing one- and two-dimensional heteronanostructures as silicon-based lithium ion battery anode materials // ACS Nano. 2011. Vol. 5, № 11. P. 9225–9231.
4. Cui L. Crystalline-amorphous core-shell silicon nanowires for high capacity and high current battery electrodes // Nanoletters. 2009. Vol. 9, № 1. P. 491–495.
5. Wang H. Graphene-wrapped sulfur particles as a rechargeable lithium-sulfur battery cathode materials with high capacity and cycling stability // Nanoletters. 2011. № 11, № 7. P. 2644–2647.
6. Yoo E. Large reversible Li storage of graphene nanosheet families for use in rechargeable lithium ion batteries // Nanoletters. 2008. Vol. 8, № 8. P. 2277–2282.
7. Вяткин С. Е., Деев А. Н., Нагорный В. Г. Ядерный графит. М. : Атомиздат, 1967.
8. Чурилов Г.Н. Плазменный синтез фуллеренов // Приборы и техника эксперимента. 2000. № 1. С. 5–15.

T. A. Leonova, A. I. Dudnik, A. E. Mikheev, I. V. Osipova, G. N. Churilov

DISCHARGE CHARACTERISTICS OF LITHIUM-ION ACCUMULATORS WITH CARBON ELECTRODES

Lithium-ion accumulators in which fulleride-lithium composite films of hexagonal graphite and turbostratic graphite (TG) plates were used as negative electrodes are the subject for research, described in the article. The metallic lithium plates were used as positive electrodes in all the accumulators. While using turbostratic graphite as anode, the maximum value of discharge current was observed, which 1.5 times exceeded the maximum current for hexagonal graphite. By results of X-ray photoelectron spectroscopy it was determined that the thickness of active layer (the layer of anode which was intercalated lithium ions) for turbostratic graphite was 600 nm. The maximum value of the specific capacity was observed under the use of turbostratic graphite as anode and came up to 244 mA·h/g.

Keywords: lithium-ion accumulator, fullerite, turbostratic graphite, hexagonal graphite, specific capacity.

© Леонова Т. А., Дудник А. И., Михеев А. Е., Осипова И. В., Чурилов Г. Н., 2012

PRINCIPLES OF COMPRESSION AND DECOMPRESSION WITHIN THE FRAME OF MULTIDIMENSIONAL LANGUAGE REPRESENTATION APPLIED TO EDUCATIONAL TASKS GENERATION*

In the given work the problem of semantic decompression patterns addition to the meaningful sentences generated as functions in multidimensional vector space of the notions of the natural language is considered. The model of adding semantic decompression patterns based on stylistically-oriented sets of generative grammar rules is offered. The complexity of natural language translation problem is discussed. The considered model provides the algorithm of adding semantic decompression patterns that can be used for improving the performance of educational tasks generation software.

Keywords: Natural Language Generation, Meaningful Sentences Generation, Turing Test.

At the present moment, people are facing a huge amount of information that is not always well absorbed and efficiently used because of the complexity of its structure. Presenting the language as a model of a multidimensional data set can improve the quality of linguistic software. A multidimensional view of data on natural language is important for the construction of electronic translators, abstracting systems, expert systems, generative grammar, etc. In this regard, the analysis of a multidimensional model of language data is relevant at the present stage of development the information technology and mathematical foundations of computer science.

The problem of formal modeling of natural language, particularly, English, is the central task for computational linguistics – a discipline that lies at the intersection of computer science, mathematics, systems analysis, linguistics, philosophy, psychology, etc.

Solving the problems of developing linguistic software successfully implemented numerous theories, concepts and software systems. Numerous works in the field of semantics, discrete mathematics, linguistics and Artificial Intelligence, let people hope for solution many of the problems of formalization of natural language and passing the Turing test in increasingly tough conditions for the test systems in the near future.

For solving the problem of generating the meaningful speech a lot of tools are used today by both Semantics and Artificial Intelligence within the notional apparatus and the various models of mathematical Semantics. In particular, the analysis of natural language was traditionally applied within the following models and tools such as the method of ontology, the method of linguistic classification, the method of multidimensional data, OLAP systems, relational database, frames, generative grammars, in particular, generating Montague grammar, semantic network theory graphs and the resolution method, hybrid systems, and linguistic methods, such as component analysis, the paradigmatic method, the approach of American structuralism, etc [1–8].

There is a topical problem of generating meaningful subsets of the natural language with various approximations. The solution to this problem greatly

simplifies tasks such as the construction of expert systems, e-learning systems, automatic transfer systems, programs to support dialogue with users, creating natural-language interface. The solution to this problem is mainly determined by the problem of passing Turing test by software systems, providing identity and the inability to distinguish a dialogue with a person and a dialogue with a software system.

The novelty to offer a classification of generative grammar rules or relational patterns subsets, based on the multidimensional model of the natural language based on the proposed vectorized semantic classification of words and notions of natural language.

The main idea is to view the grammatical and lexical spaces sequence linked by the generation process according to this or that generative grammar rules subset or relational patterns subset. The idea can be applied to solving the task of automatic educational tasks generation algorithms creation.

In the work of D. V. Lichargin “The Methods and Tools for the Generation of Semantic Structures is the Natural Language Interface of Software Systems” and “A Multidimensional View of Data on Vocabulary and Grammar of the English Language” the following model of the meaningful natural language generation is offered.

One can specify the states space for such units of the natural language, as words and notions. The space of the grammar of language is described by the space coordinates (Fig. 1, 2):

- Members of the Sentence (Subject, Predicate, Object, ...);
- Parts of Speech (Noun, Pronoun, Verb, ...);
- Grammar Categories (Plural, Collective, Superlatives, ...).

Next, we construct the lexical space of words of the language (data cube) with the following coordinates is presented:

- Word Order (Doer, Action, Receiver, Property of the Receiver, ...);
- Topics (Food, Clothes, Body, Building, Money, ...);
- Options for Substitution of Words in a Sentence (Positive, Neutral, Negative; Maximal, Large, Medium, Little, Minimal, ...).

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.1010.

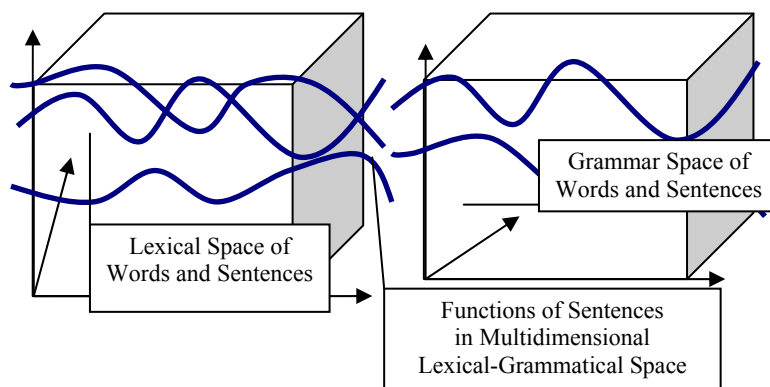


Fig. 1. The Lexical and Grammatical Space in the Model of Meaningful Language Generation

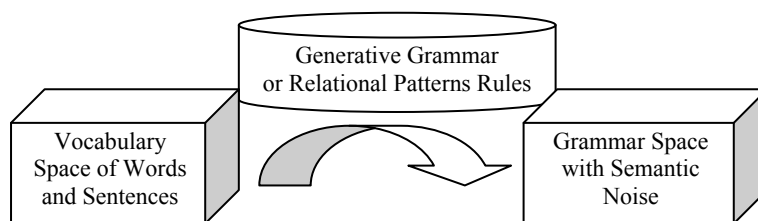


Fig. 2. The principle of Lexical Space – Grammatical Space transformation

Methods of Pattern-Based Semantic Decompression patterns Adding and Text Composition / Decompression

Doer	Action	Object	Substance
I	Eats	The ...	With / without ...
We	Cooks	Dish	Beef
Bob	Roasts	Potatoes	Fish
I	Sews	The ...	From ...
They	Knits	Jacket	Wool
The girl	Irons	Shirt	Cotton

Subject	Predicate	Object	Modifier
My DOER's	<i>ACTION.MAKING-ing</i>	<i>Needs / requires / ...</i>	<i>Good / nice / ... + SUBSTANCE</i>
My cook's	roasting	needs	(good) beef
My mother's	sewing	refers to	(brilliant) silk
<i>This / the / the given + SUBSTANCE</i>	<i>Is good / nice / ideal / ... for</i>	<i>For my / his / her / ... + DOER</i>	<i>To + ACTION</i>
Silk	Is good for	My mother	To sew
Fish	Is ideal for	My brother	To cook
<i>ACTION-ing</i>	<i>Cannot / will not + go on / continue / be done / be all right</i>	–	<i>Without + such / this / ... > like this + SUBSTANCE</i>
Cooking	Will not be done	–	Without beef
Knitting	Will not be all right	–	Without wool

In this respect, when addressing the problem of real texts processing in a particular language as a part of program – generators and analyzers of meaningful speech, it is necessary to solve the problem of removing the semantic decompression patterns. Semantic decompression patterns are present in the texts written in different language styles: from the academic style with a

low degree of semantic decompression patterns up to slang with an extremely high degree of semantic decompression patterns.

Semantic decompression patterns are the formal interpretation of emotional expression and depth of the subject. The computer, in particular, can consider it to be unimportant for the task of generating any units of the

natural language: words (such as neologisms) sentences and texts.

For the generation of statements with semantic decompression patterns one can also use the method of generating semantic decompression patterns by analyzing the semantic structures of notions and their transformation. For example, the word “to like” corresponds to the vector of coordinates:

[RELATION-CREATURE-X \ ESSENCE \ POSITIVENESS].

The word “beautiful” corresponds to the vector attributes:

[RELATION-X \ ESSENCE \ RELATION-CREATURE-X \ IDEA \ ON (NOT) LIVE \ POSITIVENESS].

The word “to look” corresponds to the vector of semantic features:

[RELATION-CREATURE-X \ ESSENCE \ RELATION-CREATURE-X \ IDEA \ ON (NOT) LIVE \ POSITIVENESS].

As a result, it is possible to take an opportunity to regroup the semes of the natural language within a semantic web for each of the word. For example, the phrase “the apple is beautiful” can be transformed into the phrase “I like the form of the apple”. In this case, the concept of “beautiful” falls into the group of semes with the meaning “to see” and a group of semes with a value of “good”, “love” or, for example, “nice”.

Based on the offered model the following scheme of natural language generation is offered (see the table).

For example, the sentence “I cook dinner” can be transformed into (“My cooking dinner” ... & “The dinner being cooked by me ...” & “It was ... for me to cook dinner” & “My dinner after cooking ...”). The example of parallel generation in the other topics is presented below: “We build the museum” → (“Our building the museum ...” & “The museum being built by us ...” & “It was ... for us to build the museum” & “Our museum after

building ...”), similarly “They listen to the music” → (“Their listening to the music ...” & “Music being listened to by them ...” & “It was ... for them to listen the music” & “Their music after listening ...”).

The generative grammar or relational patterns, used for sentences / text composition and decompression and semantic decompression patterns addition, can be subdivided into stylistic subclasses like the ones below.

1. Common Style.
 - 1.1. Slang.
 - 1.1.1. Tabooed Style.
 - 1.1.2. Criminal Argo.
 - 1.2. Neutral Common.
 - 1.3. Pun.
 - 1.4. Mass Media Style.
2. Artistic Style.
 - 2.1. Poetry.
 - 2.2. Prose.
 - 2.1. Fantasy.
 - 2.2. ...
3. Scientific Style.
 - 3.1. Academic.
 - 3.2. General Science.
 - 3.3. Popular Science.
4. Religious Style.
 - 4.1. Orthodox.
 - 4.2. Buddhism.
 - 4.3. Islam.
 - 4.4. ...
5. Neutral Style.
 - 5.1. Journalistic Style.
6. Mixed Style.

Below a general scheme of reducing a complex literary phrase to a simplified synonymic equivalent by adding logical, semantic, grammatical, morphological, sound and other noise addition patterns / decompression patterns is presented (Fig. 3).

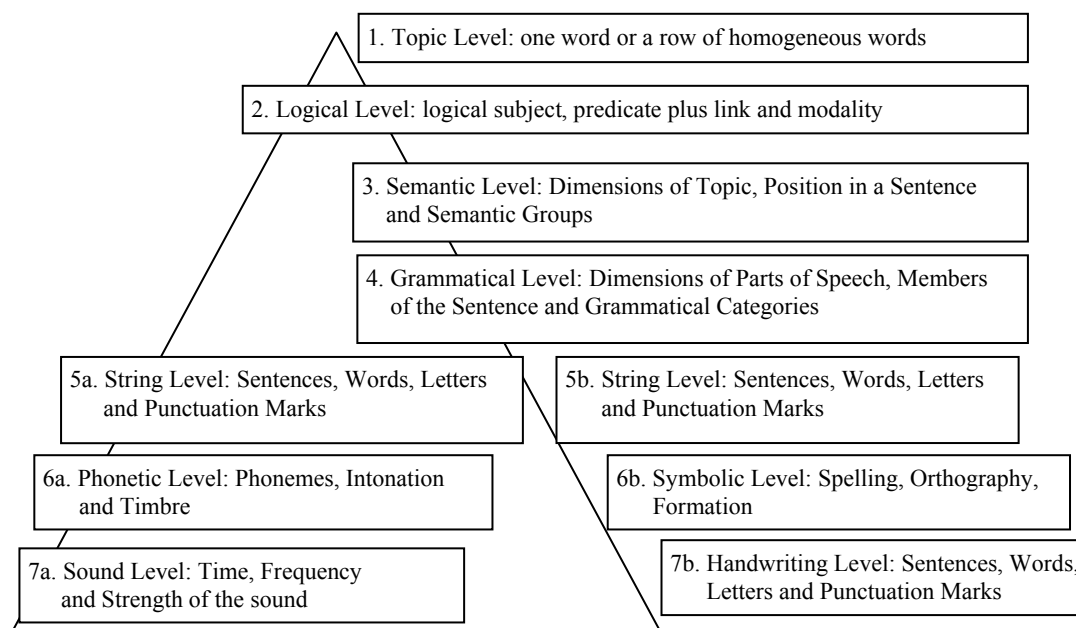


Fig. 3. The decompression patterns tree going through semantic, grammatical, morphological, phonetic multi-attribute descriptions – multidimensional spaces

This approach supposed to be used for creating different kinds of linguistic ware, for example, summarizing systems, electronic translation systems, expert systems, natural texts data extraction systems and others.

Let's view some principles of translation of a complex literary text from the point of art – semantic noise computer interpretation. Translation theory, based on a solid foundation on understanding of how languages work, translation theory recognizes that different languages encode meaning in differing forms, yet guides translators to find appropriate ways of preserving meaning, while using the most appropriate forms of each language.

Translation theory includes principles for translating figurative language, dealing with lexical mismatches, rhetorical questions, inclusion of cohesion markers, and many other topics crucial to good translation, which are supposed to be viewed as lexical, grammatical, morphological, phonetic categories multidimensional spaces data presentation as multilevel means of compression tree generation for example.

1. "The driver carries the cans ..." – Водитель привозит консервы ...

1.1. "The cans carried by the driver ..." – Консервы, привозимые водителем ...

1.2. "The driver, who carries the cans ..." – Водитель, который привозит консервы ...

1.3. "Carrying the cans by the driver ..." – Перевозка консервов водителем ...

1.3.1. "Carrying the cans from the side of the driver ..." – Перевозка консервов со стороны водителя ...

1.3.2. "Carrying the cans by the efforts of the driver ..." – Перевозка консервов усилиями водителя ...

1.3.2.1. "The process of carrying the cans by the efforts of the driver ..." – Процесс перевозки консервов усилиями водителя ...

1.3.2.2. "The task of carrying the cans by the efforts of the driver ..." – Задача перевозки консервов усилиями водителя ...

1.3.2.3. "Carrying the goods, for example, cans by the efforts of the driver ..." – Перевозка товаров, например, консервов усилиями водителя ...

1.3.2.3.1. "Carrying the consumer goods – cans by the effort of the driver ..." – Перевозка потребительских товаров – консервов – усилиями водителя ...

1.3.2.3.2. "Carrying the goods – round cans by the effort of the driver ..." – Перевозка товаров – круглых консервов – усилиями водителя ...

1.3.2.3.3. "Carrying the goods – metal cans by the effort of the driver ..." – Перевозка товаров – металлических консервов – усилиями водителя ...

It is also important for human translation process [9; 10] and teaching future translators and interpreters. The translator should understand perfectly the content and intention of the author whom he is translating. The principal way to reach it is reading all the sentences or the text completely so that you can give the idea that you want to say in the target language because the most important characteristic of this technique is translating the

message as clearly and natural as possible. The translator should have a perfect knowledge of the language from which he is translating and an equally excellent knowledge of the language structure into which he is translating. At this point the translator should have a wide knowledge in both languages for getting the equivalence in the target language, because the deficiency of the knowledge of both languages decompression and compression principles will result in a translation without logic and sense.

The translator should avoid the tendency to translate word by word, because doing so is to destroy the meaning of the original and to ruin the beauty of the expression. This point is very important and some reader can express another meaning or understanding in the translation. The translator should use the types of speech in common usage. The translator should bear in mind the people to whom the translation will be addressed and use words that can be easily understood. Similarly electronic translation systems should have an option for simplifying the translation for a definite user – form a child to a specialist in another sphere, an ordinary user. All this makes the problem of translation a task of AI level.

The translation adequacy must be taken into account in fiction literature translation especially carefully, and much more intellectual electronic translators should be used for this in the future. Khatuna Beridze, lecturer of the translation theory and practice at the Batumi State University mentions that there are both linguistic and extralinguistic aspects that hinder to reach adequacy in fiction translation. Semantic information of the text differs essentially from the expressive-emotional information of the text but they have one common trait: both can bear and render extralinguistic information. Extralinguistic information often becomes a stone to stumble over by a translator, as it is a lingvoethnic barrier for a fiction literature translator; misunderstanding or misinterpretation of the extralinguistic information means can be the following:

1) Either what was actually communicated in the SL text, what means the pragmatic core of the SL text may be lost or therefore in the TL text ambivalence may arise for the recipient reader;

2) Or there may be misrepresented the author's communicative intention, the social context of the scene/situation as well as disposition or relationships of the communication participants.

Good examples could be brought from translation of stories and novels by V. P. Astafiev. The works of world famous Siberian writer V. P. Astafiev are very difficult to translate because his language is very distinctive, he uses a lot of non-standard events (phenomena), and the translator must handle the material carefully, for not to lose the value and meaning of the content. All non-standard language features in his works can be divided into the following groups: dialect, vernacular, colloquial vocabulary, considering that the vernacular vocabulary is relatively the largest group.

Abnormalities in the speech of the characters serve as a mean of typification or, alternatively, as a mean of

linguistic characteristics of a story hero. Abnormalities in the speech of the characters appear at all levels of the language: phonetic – phonetic distortion of the word shape, morphological – mistakes in coordination of number, gender, declension of nouns, syntactic – the use of specifiers (“эдак”, “нате вам”) to connect the sentence. However, most examples of deviations from the norm are at the level of vocabulary that can be considered as a marker of social status of heroes.

So, the semantic compression and decompression should take into account all the tiny particularities of the natural language.

In the author's speech non-normative events often serve as a mean of creating imagery, expressing the author's expression. Sometimes the vernaculars in the speech can be considered as the author's irony.

Let's see some examples of vernaculars from Astafiev's text.

«Варнак» – villain (злодей, негодяй).

«Охламон» – dolt (дурень, болван).

«Поросята хоркают» (хрюкать) – to snort (фыркать).

«Закокать курочкой» (кудахтать) – cackle like a hen.

Sometimes interpreters can't find the appropriate translation of definite phrases, because of distinctive character of Astafiev's prose.

«Фулиган» – hooligan.

«За что жисть погубил» – What have I made such a mess in my life for.

«А тютюшеньки-тютю» – A-diddums, a-diddums, a-diddums!

«А люлюшеньки-люлю» – A-doodle, a-doodle, a-doodlums!

«А малюшеньки-малю» – A-doodle, a-doodle, a-doodlums!

In some cases interpreters translate words and phrases in such case that readers can understand the sense, but originality of author's language is lost.

«Жили худо, бедно, нутужно и недружно, вразнопляс» –

We had a mean, poor, strained, discordant life, dancing to different tunes.

«Исподличался совсем» – I had turned into a real little scoundrel.

The algorithm of more effective translation will be viewed as the following sequence of actions.

1. Writing generative grammar rules for potentially fully generation of a natural language subset in a definite approximation.

2. Potential generation of all possible states of the language around the standard classifications of the needed natural language units – standard words, new, occasional words, simple sentences, sentences with artistic phenomena (conditionally) interpreted by computer as semantic noise.

Because of the fact that deep emotional connotation is a very difficult task for linguistic software, the task to create the software, algorithms and approaches for automatic task generation was selected for applying the semantic noise addition model. It can be very useful in e-learning courses systems [10]. Such a task was realized based on language combinability theory and now such educational task generation systems are improved (Fig. 4). One of the next steps is to use second level patterns for language generation (see the table).

Генератор учебных заданий

Файл Настройки Помощь

Генератор заданий

1. Заполнить пропуск в предложении That physicist destroys a ... transistor This ... creates a main project This engineer operates a medium ...	medium engineer Выберите правильный вариант
2. Заполнить пропуск в слове ...rder - заказывать m...chanism - механизм f...llowing - следующий	Выберите правильный вариант Выберите правильный вариант Выберите правильный вариант
3. Выбрать перевод слова на русский язык digital computer device	Выберите правильный вариант Выберите правильный вариант Выберите правильный вариант
4. Напечатать перевод слова на русский язык engineer display sophisticated	Введите слово по-русски Введите слово по-русски Введите слово по-русски
5. Напечатать перевод слова на английский язык радио усилитель сложный калькулятор	Введите слово по-английски Введите слово по-английски Введите слово по-английски

Выполнено заданий: 0 Правильно: 0 С ошибками: 0

Старт Пауза Завершить

Количество тест 30 Сохранить задание

Fig. 4. Software for Automatic Educational Tasks Generation

In this way the two-levels patterns can be used for example for generating an educational task based on word combinability principles: “the user + takes + some wire” (Topic: Details of Equipment, Positions: Doer + Action + Receiver, Variants: Passive + Presentation-Passive + Metal-Long-Flexible); based on the phrase a task can be formed: “the user + takes / eats / wears / lives in + some wire”. The head of the task can be like: “select a proper word from the list” or “fill in the gaps with one of the variants, offered below”, etc. But further the decompression of the phrase can be made by adding semantic noise: “the user’s taking the wire was necessary” or “the wire after taking by the user was given to me” (see the table). Corresponding tasks could be made based on the decompressed sentences of the non-reduced form, for example, “the wire after taking / eating / wearing / living by the user was given to me”. The database of the second level semantic patterns should be created for the applications in e-learning linguistic software.

In the article the observation of multidimensional data by the natural language, particularly English, is given. It is possible to apply a multidimensional model of the natural language, semantic vectorized classification of words and notions of the natural language to make an assumption about the stylistic classification structure of the generative grammar rules set or relational word-sentences pattern sets, used for natural language generation. The structure of such rules has been analyzed. They can be used for text and sentences compression and decompression. The methods of using decompression by second level speech patterns for language generation are offered for improving linguistic software for automatic tasks generation for examples for the lessons of a foreign language. Further investigation in the sphere is necessary.

References

1. Verma A., Kumar A. Voice Fonts for Individuality Representation and Translation // ACM Translation on

Speech and Language Processing. 2005. Vol. 2, № 1. Article 4.

2. Agamdjanova V. I. Contextual Redundancy of the Lexical Meaning of a Word. M. : Higher School, 1977.

3. Apresyan Yu. D. Ideas and Methods of Modern Structural Linguistics. M. : Science, 1966.

4. Evaluating Discourse Understanding in Spoken Dialogue Systems / R. Higashinaka, N. Miyazaki, M. Nakano, K. Aikawa. // ACM Translation on Speech and Language Processing. 2004. Vol. 1. P. 1–20.

5. Towards Efficient Human Machine Speech Communication: The Speech Graffiti Project / S. Tomko, T. K. Harris, A. Toth et al. // ACM Translation on Speech and Language Processing. 2005. Vol. 2, № 1. Article 2.

6. Lichargin D. V., Taranchuk E. A. Hierarchy Structure of Educational Electronic Course and its Variability for Teaching a Foreign Language // J. Distant and Virtual Education. 2011. № 4. P. 56–75.

7. Lichargin D. V., Bachurina E. P. Generalized Hierarchy Structure of the Educational Electronic Course and Viewing an Electronic Course of the English Language of RIYa IKIT SibFU Based on It // Informatization of Education and Science. 2012. № 3. P. 20–26.

8. Lichargin D. V., Sumaneeva Ya. A., Yuryeva E. V. Methods of Substitution Tables and its Application in the Sphere of Teaching Russian Language to the Foreigners // Bulletin of the Surgut State Pedagogical University. 2012. № 6.

9. Sdobnikov V. V. New view on the strategy of translation: communicative-functional approach // J. of SibFU. Krasnoyarsk, 2011. Vol. 4, № 10. P. 1444–1453.

10. Teaching Mathematics in the Moodle Environment by example of an electronic learning course / T. V. Zyкова, A. A. Kytmanov, G. M. Tsibulskiy, V. A. Shershneva // The Bulletin of Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafiev. 2012. № 1. P. 60–63.

Д. В. Личаргин, К. В. Сафонов, Н. В. Николаева, Е. Б. Чубарева

ПРИНЦИПЫ КОМПРЕССИИ И ДЕКОМПРЕССИИ В РАМКАХ МНОГОМЕРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА В ПРИМЕНЕНИИ К ГЕНЕРАЦИИ УЧЕБНЫХ ЗАДАНИЙ

В данной работе рассматривается проблема добавления шаблонов семантической декомпрессии к осмысленным предложениям, порождаемым в виде функций на многомерном векторном пространстве понятий естественного языка. Предлагается модель добавления шаблонов семантической декомпрессии, на основе стилистически выделенных множеств правил порождающей грамматики. Рассматривается сложность проблемы перевода естественных языков. Рассмотренная модель обеспечивает выполнение алгоритмов добавления шаблонов семантической декомпрессии, которые могут быть использованы для улучшения производительности программного обеспечения, предназначенного для генерации учебных заданий.

Ключевые слова: порождение естественного языка, генерация осмысленных предложений, тест Тьюринга.

© Lichargin D. V., Safonov K. V., Nikolaeva N. V., Chubareva E. B., 2012

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА НАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА РЕКУПЕРАЦИОННОГО ТИПА*

Приведены результаты экспериментального исследования опытного образца нагрузочного устройства рекуперационного типа.

Ключевые слова: нагрузочное устройство, энергосбережение, рекуперация.

Нагрузочное устройство рекуперационного типа (НУРТ) входит в состав энергосберегающего испытательного комплекса, предназначенного для наземных испытаний мощных вторичных источников энергосистем космических аппаратов (КА) [1]. Отличительной особенностью рассматриваемого НУРТ является рекуперация электроэнергии в сеть постоянного тока, питающую комплекс.

Целью экспериментальных исследований является проверка соответствия статических и динамических характеристик опытного образца НУРТ расчетным значениям.

Структурная схема энергосберегающего испытательного комплекса (рис. 1) содержит источник бесперебойного питания (ИБП), первичный источник электроэнергии (ПИЭ) с выходом на постоянном токе, имитатор солнечной батареи (ИСБ), воспроизводящий вольтамперную характеристику (ВАХ) и выходной импеданс солнечной батареи, испытываемый вторичный источник электропитания (ВИП) и НУРТ, являющееся потребителем по отношению к ВИП. ПИЭ может входить в состав ИСБ.

Опытный образец НУРТ содержит два импульсных стабилизатора входного тока (ИСТ), включенных параллельно. Каждый ИСТ состоит из импульсного преобразователя напряжения (ИПН) с фазовым управлением и блока управления (БУ). ИПН представляет собой мостовую схему с гальванической развязкой на повышающем трансформаторе. В качестве ШИМ-контроллера использован контроллер UC3875 с

фазовым управлением, обеспечивающим «мягкий» режим переключения силовых ключей [2].

Величина тока стабилизации задается соответствующей уставкой источника опорного напряжения (ИОН) командой управляющего устройства (УУ). УУ также контролирует выходной ток и напряжение ВИП. При превышении выходного тока ВИП максимально возможного потребляемого тока НУРТ управляющее устройство выдает команду на размыкание твердотельного реле (ТТР). Во избежание скачка тока при включении или подключении ВИП, УУ уменьшает напряжение ИОН до нуля при отсутствии напряжения на входе НУРТ.

Выходная ВАХ ИСТ при постоянной входной мощности представляет собой обратно пропорциональную зависимость (рис. 2), выходная ВАХ ПИЭ (стабилизатора напряжения) – практически горизонтальная линия. В случае если выходное напряжение ИПН1 или ИПН2 ниже выходного напряжения ПИЭ, то соответствующий диод VD2 или VD3 будет закрыт, ИПН попадет в режим холостого хода, что приводит к росту выходного напряжения и отпиаранию соответствующего диода VD2 или VD3. Повышение выходного напряжения ИПН1 или ИПН2 выше выходного напряжения ПИЭ приведет к запиаранию диода VD1 и уменьшению уровня энергии, накопленной в контуре рекуперации (ИБС, ВИП, НУРТ), что в конечном счете приведет к уменьшению выходного напряжения ИПН и отпиаранию диода VD1. Таким образом, в статическом режиме выходные напряжения ИПН1 и ИПН2 равны выходному напряжению ПИЭ.

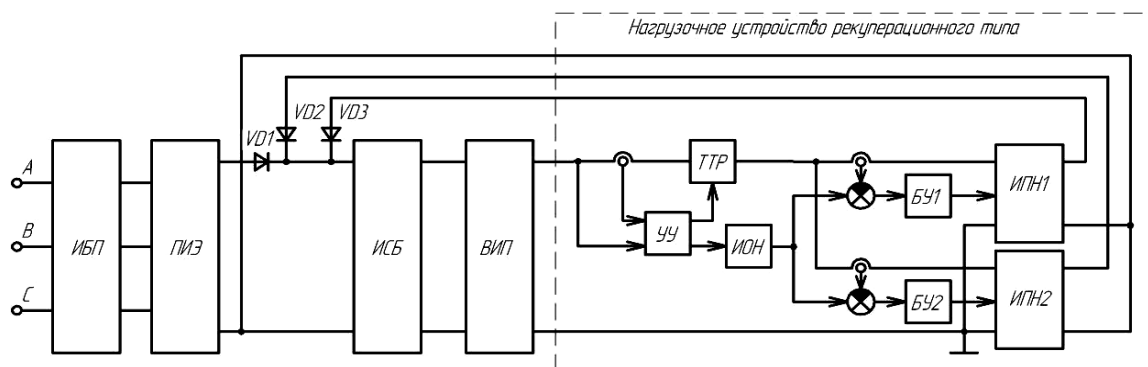


Рис. 1. Структурная схема испытательного комплекса с опытным образцом НУРТ:

ИБП – источник бесперебойного питания; ПИЭ – первичный источник электроэнергии; ИСБ – имитатор солнечной батареи; ВИП – испытываемый вторичный источник электропитания; УУ – устройство управления; ТТР – твердотельное реле; ИОН – источник опорного напряжения; ИПН – импульсный преобразователь напряжения; БУ – блок управления ИПН

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

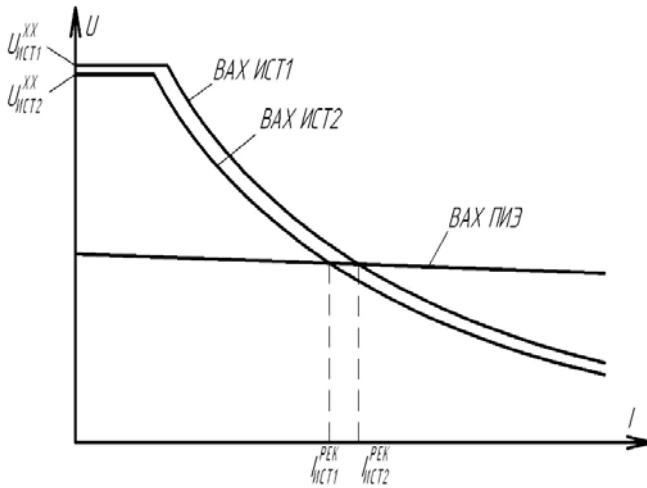


Рис. 2. Выходные вольтамперные характеристики ИСТ и ПИЭ

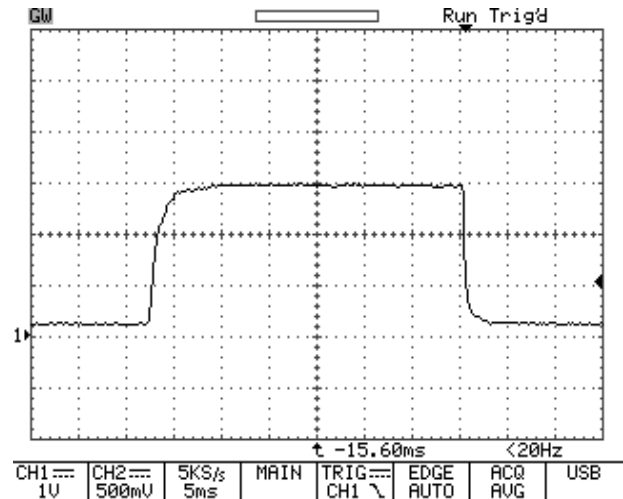


Рис. 3. Переходной процесс при набросе и сбросе тока нагрузки. Масштаб 5 А/В

Для практики повышения мощности НУРТ путем параллельного включения ИСТ представляет интерес токовыравнивание параллельно включенных ИСТ как по входному току, так и по выходному.

При крутопадающих ВАХ ИСТ разброс по току рекуперации ИСТ незначителен, поэтому не требуется технических средств для токовыравнивания ИСТ. Эксперимент показал, что разброс по выходному току составляет порядка 3,2 %, по входному – 1,4 % (см. рис. 2).

Динамические характеристики НУРТ оцениваются по виду переходного процесса при ступенчатом набросе и сбросе тока нагрузки ВИП. Максимальная скорость нарастания входного тока НУРТ составляет 6,6 А/мс, максимальная скорость спада – 160 А/мс. Время регулирования составляет порядка 5 мс (рис. 3).

Соответствие экспериментального переходного процесса при ступенчатом набросе и сбросе тока нагрузки ВИП расчетному подтверждается графиком приведенной ошибки (рис. 4) (1):

$$\varepsilon(t) = \frac{I_{\text{Э}}(t) - I_{\text{Т}}(t)}{I_{\text{max}}} \cdot 100 \%,$$

где $\varepsilon(t)$ – приведенная ошибка; $I_{\text{Э}}(t)$ – значения тока нагрузки ВИП, полученные экспериментально; $I_{\text{Т}}(t)$ – значения тока нагрузки ВИП, полученные теоретически; I_{max} – максимальное значение тока нагрузки ВИП. Максимальное значение ошибки не превышает 7 %.

Для оценки эффективности НУРТ измерены энергетические характеристики НУРТ и ПИЭ (рис. 5). От ПИЭ потребляется энергия, необходимая только для компенсации потерь в ИСБ, ВИП и НУРТ. При входной мощности НУРТ 3,0 кВт от ПИЭ потребляется мощность не более 0,9 кВт.

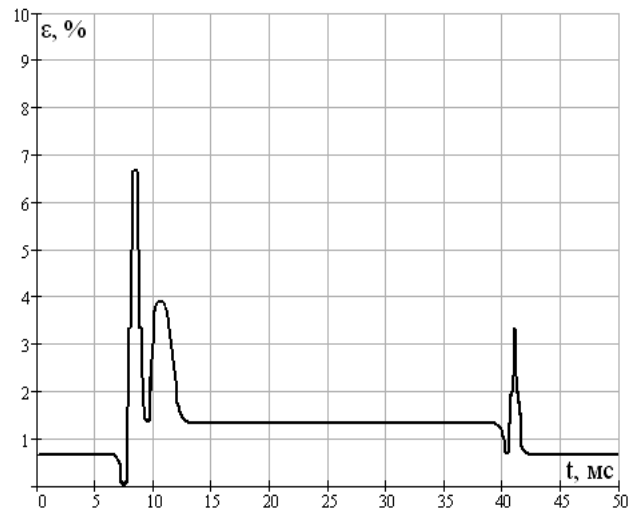


Рис. 4. Приведенная ошибка по току нагрузки ВИП

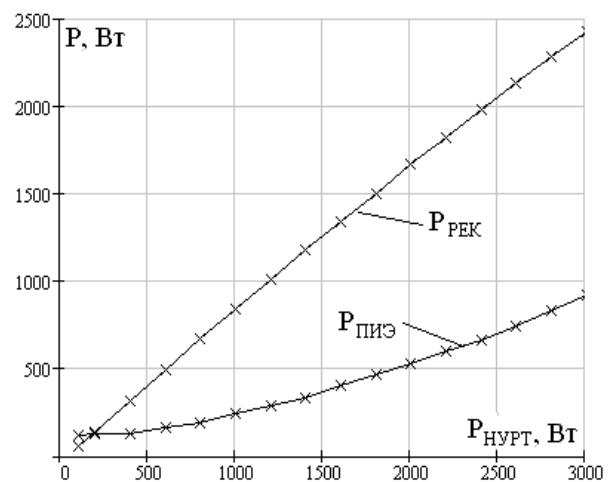


Рис. 5. Зависимости рекуperiруемой мощности НУРТ и выходной мощности ПИЭ от входной мощности НУРТ

Коэффициент рекуперации ($K_{\text{РЕК}} = P_{\text{РЕК}}/P_{\text{НУРТ}}$) сначала увеличивается с ростом входной мощности НУРТ, затем уменьшается (рис. 6). Рост обусловлен увеличением доли рекуперированной мощности по отношению к потерям. Спад коэффициента рекуперации вызван увеличением потерь с ростом входного тока НУРТ. Максимальное значение коэффициента рекуперации – 84 %.

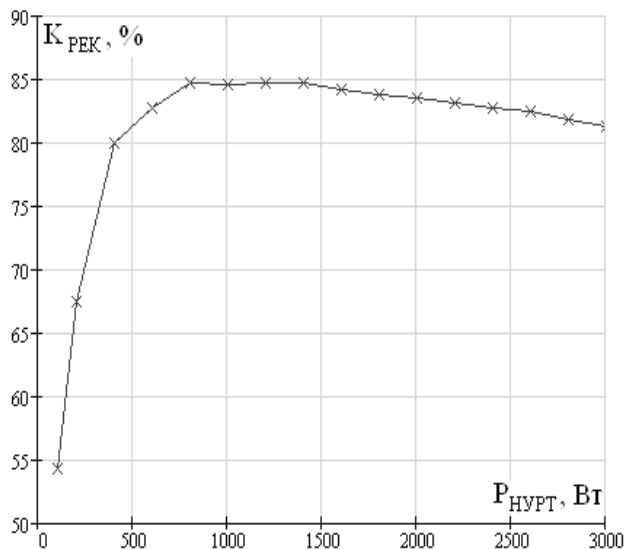


Рис. 6. Зависимость коэффициента рекуперации от входной мощности НУРТ

Испытания ВИП могут занимать длительное время, и во избежание срыва графиков испытаний при пропадании сети переменного тока, в состав испытательного комплекса входит ИБП. При пропадании питающей сети переменного тока использование рекуперации электроэнергии в сеть постоянного тока увеличивает время работы испытательного комплекса от аккумуляторов ИБП. При использовании ИБП марки Eaton 9130 5000 при нагрузке в 3 кВт применение рекуперации электроэнергии в сеть постоянного тока позволяет увеличить время работы испытательного комплекса от батарей ИБП приблизительно в 3 раза.

Опытный образец НУРТ 100/3,0 (рис. 7) обладает следующими характеристиками:

- максимальная потребляемая мощность – 3 кВт;
- диапазон входных напряжений – 65...120 В;
- максимальный потребляемый ток – 46 А;
- максимальная скорость нарастания входного тока – 6,6 А/мс;
- максимальная скорость спада входного тока – 160 А/мс;
- максимальный коэффициент рекуперации – 84 %.

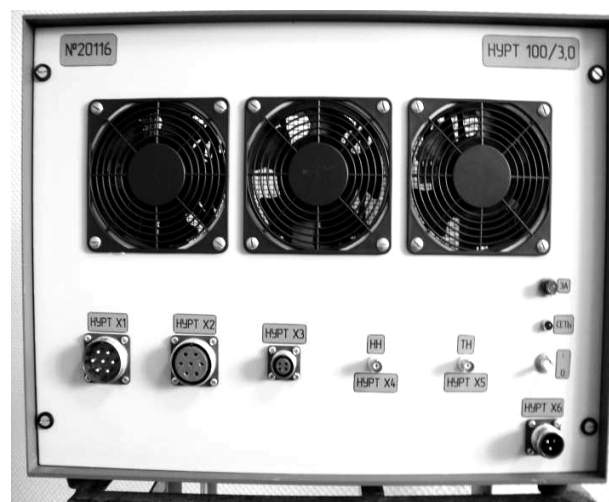


Рис. 7. Внешний вид НУРТ 100/3,0.

Комплекс имеет возможность управления по интерфейсу RS-232 и Ethernet.

НУРТ позволяет задавать выходной ток испытуемого ВИП в диапазоне от 0 до 46 А с шагом 0,1 А.

Библиографические ссылки

1. Мизрах Е. А., Лобанов Д. К. Энергосберегающее нагрузочное устройство для испытаний систем электропитания постоянного тока // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 6 (32). С. 56.
2. Мелешин В. И. Транзисторная преобразовательная техника. М. : Техносфера, 2005.

D. K. Lobanov, E. A. Mizrakh

EXPERIMENTAL RESEARCH OF LOADING DEVICE OF RECUPERATION TYPE

The results of experimental research of loading device of recuperation type are presented in this article.

Keywords: loading device, energy-efficiency, recuperation.

© Лобанов Д. К., Мизрах Е. А., 2012

УДК 544.18

А. О. Лыхин, А. А. Кузубов, С. А. Варганов, М. В. Сержантова, Н. С. Елисеева

ЗАВИСИМОСТЬ СПИНА ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ АКТИВНОГО ЦЕНТРА Fe_2S_2 ФЕРРЕДОКСИНА ОТ ОРИЕНТАЦИИ ЛИГАНДОВ*

В рамках теории функционала плотности рассмотрено строение окисленной формы кластера $[2\text{Fe}-2\text{S}-4(\text{SCH}_3)]^{2-}$, являющегося аналогом активного центра белка ферредоксина. Показана возможность неадиабатических спин-запрещенных переходов между конформерами кластера, находящимися в синглетном и триплетном спиновых состояниях. Полученные переходные структуры могут быть использованы при изучении механизма реакций кластера с участием вырожденных спиновых состояний.

Ключевые слова: ферредоксин, неадиабатические процессы, теория функционала плотности.

Широко используемое в квантовой химии адиабатическое приближение предполагает расчет энергии структуры при фиксированных положениях ядер атомов и нахождении системы в основном электронном состоянии. Однако в ряде случаев разница между основным и возбужденным состоянием может быть достаточно мала, в результате чего становится возможным переход на поверхность потенциальной энергии возбужденного состояния. Изучение таких неадиабатических процессов является одной из наиболее актуальных задач в области динамики химических реакций [1; 2].

Описание спинового состояния системы играет особую роль в элементоорганической и бионеорганической химии [3]. В частности, давно известно, что изменение спинового состояния напрямую связано с протеканием реакций, в которых участвуют гемопротеины [4]. Все большее значение приобретает контроль спинового состояния в каталитических процессах, например с участием железа [5]. Реализация неадиабатических эффектов в системах с переходными металлами напрямую связана со спин-орбитальными взаимодействиями между электронными состояниями с разными спинами. В этой связи особое внимание уделяется рассмотрению железосодержащих белков, например ферредоксина. В качестве активного центра этого белка чаще всего выступает биядерный кластер $[2\text{Fe}-2\text{S}]$, который связан с четырьмя цистеиновыми остатками, формирующими близкое к тетраэдрическому окружение для каждого атома Fe. Такая модель активного центра характеризуется заменой цистеиновых остатков на тиометильные группы.

Применение теории функционала плотности в моделировании структуры активного центра ферредоксина показало возможность существования окисленной формы кластера $[2\text{Fe}-2\text{S}-4(\text{SCH}_3)]^{2-}$ в виде одной из 17 равновесных конформаций, отличающихся величиной двугранного угла, образуемого атомами Fe–Fe–S–C [6]. Однако кристаллографические данные строения белков свидетельствуют об отклонениях рассчитанных значений углов в газовой фазе от экспериментальных, что, по мнению авторов, связано с аминокислотным окружением активного центра ферредоксина. Вместе с тем геометрические параметры

системы оказывают определяющее влияние на спиновое состояние кластера, его нахождение в устойчивом, возбужденном или переходном состоянии. Установление возможности существования системы в вырожденном спиновом состоянии является важнейшим этапом на пути исследования механизма реакций, протекающих по неадиабатическому спин-запрещенному механизму [7].

На основании квантово-химических расчетов, приведенных в [6], были рассмотрены пять наиболее энергетически выгодных структур окисленной формы кластера $[2\text{Fe}-2\text{S}-4(\text{SCH}_3)]^{2-}$, отличающихся величинами двугранных углов Fe–Fe–S(Cys)–C, где S(Cys) – терминальные атомы серы. Моделирование отобранных конформеров выполнялось в рамках теории функционала плотности в квантово-химическом пакете GAMESS [8]. При расчетах использовался обменно-корреляционный функционал PBE [9] в базисном наборе def2-TZVP [10]. Выбор этого базисного набора был обусловлен высокой точностью приближения, характеризующегося стандартным отклонением в энергии атомизации на атом, равным 0,022 эВ при средней ошибке в длине связи менее 1 пм, и отклонением в величине угла менее 1°.

Оптимизация конформеров проводилась без наложения ограничений по симметрии до достижения стандартного критерия сходимости. Были рассмотрены конформеры в антиферромагнитном состоянии ($S = 0$) и триплетном спиновом состоянии. Для наиболее энергетически выгодных конформеров также рассчитывались состояния с более высокой мультиплетностью.

Геометрические параметры полученных конформеров представлены в табл. 1.

Атомы железа и связанные с ними мостиковые атомы серы S3 и S4 расположены практически в одной плоскости. Выход атома серы из плоскости трех атомов не превышает 4° (рис. 1). Для описания двугранных углов введен фиктивный атом X, такой, что прямая, проходящая через атомы X и Fe2, перпендикулярна прямым Fe1–Fe2 и S3–Fe2. Таким образом, два атома железа и фиктивный атом X вместе образуют плоскость σ , перпендикулярную к плоскости Fe1–Fe2–S3.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение 14.B37.21.0916).

Двугранные углы оптимизированных структур кластера $[2\text{Fe}-2\text{S}-4(\text{SCH}_3)]^{2-}$

№ конформера	Атом	φ_1	Abs	Атом	φ_2	Abs	φ_3
Синглетное спиновое состояние							
A1	S5	23	23	C9	176	4	0,04
	S6	−157	23	C10	−3	3	
	S7	23	23	C11	−174	6	
	S8	−157	23	C12	3	3	
B1	S5	−24	24	C9	176	4	0,2
	S6	158	22	C10	0	0	
	S7	22	22	C11	177	3	
	S8	−156	24	C12	−2	2	
C1	S5	−27	27	C9	154	26	2,1
	S6	142	38	C10	118	62	
	S7	21	21	C11	−5	5	
	S8	−157	23	C12	−3	3	
D1	S5	−2	2	C9	−112	68	0,3
	S6	176	4	C10	19	19	
	S7	−5	5	C11	120	60	
	S8	177	3	C12	120	60	
E1	S5	3	3	C9	112	68	1,0
	S6	−175	5	C10	−18	18	
	S7	−3	3	C11	124	56	
	S8	176	4	C12	118	62	
X1	S5	4	4	C9	117	63	1,7
	S6	−174	6	C10	125	55	
	S7	5	5	C11	25	25	
	S8	−174	6	C12	30	30	
Триплетное спиновое состояние							
A3	S5	0	0	C9	−109	71	3,5
	S6	177	3	C10	23	23	
	S7	−11	11	C11	173	7	
	S8	165	15	C12	−3	3	
B3	S5	5	5	C9	108	72	3,4
	S6	−173	7	C10	−19	19	
	S7	17	17	C11	−176	4	
	S8	−159	21	C12	4	4	
C3	S5	5	5	C9	118	62	1,3
	S6	−174	6	C10	125	55	
	S7	18	18	C11	6	6	
	S8	−162	18	C12	7	7	
D3	S5	−4	4	C9	−116	64	0,7
	S6	175	5	C10	26	26	
	S7	−16	16	C11	133	47	
	S8	165	15	C12	134	46	
E3	S5	3	3	C9	116	64	0,3
	S6	−176	4	C10	103	77	
	S7	16	16	C11	135	45	
	S8	−165	15	C12	131	49	

Окончание табл. 1

№ конформера	Атом	φ_1	Abs	Атом	φ_2	Abs	φ_3
<i>Переходное спиновое состояние</i>							
I	S5	5	5	C9	118	62	1,5
	S6	-174	6	C10	125	55	
	S7	14	14	C11	12	12	
	S8	-166	14	C12	14	14	
II	S5	5	5	C9	119	61	1,4
	S6	-173	7	C10	125	55	
	S7	15	15	C11	20	20	
	S8	-166	14	C12	11	11	

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения: φ_1 – двугранный угол X–Fe1–Fe2–S(Cys); φ_2 – двугранный угол Fe–Fe–S(Cys)–C; φ_3 – двугранный угол Fe–Fe–S3–S4; Abs – абсолютное значение углов; все величины приведены в градусах.

Таблица 2

Относительные энергии оптимизированных структур

Структура	E , ккал/моль	Атомная спиновая плотность		Спин S_z	S^2
		Fe1	Fe2		
A1	11,4	-0,367	0,365	0	2,266
A3	5,5	-0,343	0,498	1	4,051
B1	11,0	-0,369	0,360	0	2,207
B3	5,5	-0,347	0,499	1	4,076
C1	1 865,9	-0,721	0,348	0	2,165
C3	3,8	-0,349	0,504	1	4,042
D1	0	-0,504	0,503	0	4,000
D3	9,0	-0,320	0,490	1	4,065
E1	0,1	-0,504	0,503	0	4,001
E3	9,4	-0,324	0,492	1	4,029
X1	0,9	-0,505	0,504	0	4,007

Двугранные углы φ_1 показывают отклонение плоскости Fe1–Fe2–S(Cys) от σ , в свою очередь двугранные углы φ_2 Fe–Fe–S(Cys)–C характеризуют выход углерода из плоскости, формируемой атомами железа и терминальным атомом серы, с которым углерод непосредственно связан. При определении углов φ_2 первый атом железа выбран как наиболее удаленный от атома углерода. В соответствии с нумерацией атомов в соединении к терминальным атомам серы S(Cys) относятся атомы S5 и S6, связанные с Fe1, а также S7 и S8, связанные с Fe2.

Согласно значениям, представленным в табл. 2, наиболее энергетически выгодную конфигурацию в синглетном спиновом состоянии имеют два конформера: D1 и E1, в триплетном состоянии – конформер C3.

В случае конформеров в синглетном состоянии распределение спиновой плотности на атомах железа свидетельствует об антиферромагнитном упорядочении спинов, при котором неспаренные электроны с одинаковыми спинами локализованы на разных атомах Fe. Рассчитанные спиновые плотности для Fe1 и Fe2 равны по абсолютным значениям и противоположны по знаку. Отклонение, наблюдаемое в случае конформера C1, обуславливает его высокую неустойчивость по сравнению с другими структурами.

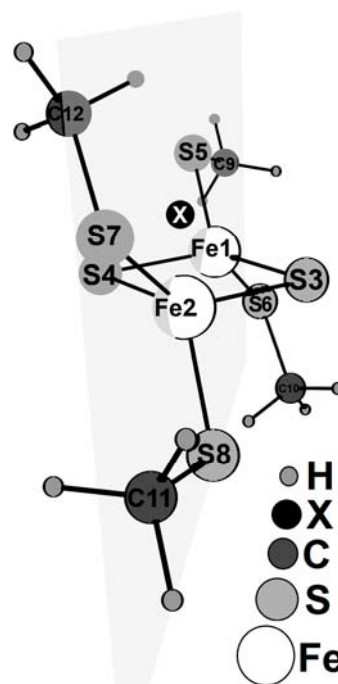


Рис. 1. Строение конформера A1 кластера $[2\text{Fe}-2\text{S}-4(\text{SCH}_3)]^{2-}$

Вместе с тем для конформеров в синглетном спиновом состоянии характерны исчезающе малые величины спиновой плотности на мостиковых атомах S – около $1 \cdot 10^{-4}$ электрон/атом, которые возрастают в среднем на два порядка при переходе системы в триплетное состояние. Значительная делокализация спиновой плотности проявляется лишь на мостиковых атомах S, в то время как у терминальных атомов S подобного эффекта не наблюдается. Используя значения квадратов длины вектора спинового момента, можно определить величину суммарного спинового числа, которая для значений S^2 , равных 4 и 2, округленно составит 3/2 и 1. Поскольку заряды атомов железа равны, то в случае $S^2 \approx 2$ каждый из электронов локализуется на одном из атомов железа. При этом проекции спина у электронов направлены в противоположные стороны, что дает суммарную проекцию спина, равную 0. В случае $S^2 \approx 4$ электронное облако третьего электрона делокализовано между атомами железа и мостиковыми атомами серы.

В соответствии с данными об относительной энергии состояний с различной мультиплетностью для структур фиксированной геометрии C3 и E1, представленными на рис. 2, устойчивость состояний иной мультиплетности в сравнении со спиновым состоянием оптимизированной структуры ниже, что свидетельствует о том, что для конформеров C3 и E1 основными являются соответственно триплетное и синглетное спиновые состояния.

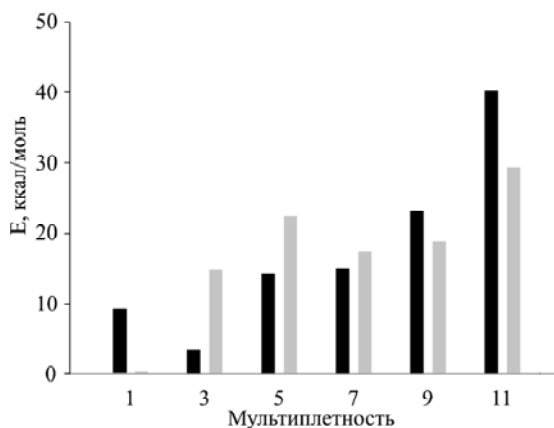


Рис. 2. Относительные энергии основных и высокоспиновых состояний конформеров C3 и E1 в сравнении с синглетным спиновым состоянием C3: темные столбцы – исходный конформер E1; светлые столбцы – исходный конформер C3

Оптимизация геометрии конформеров C3 и E1 в состояниях с различной мультиплетностью приводит к понижению энергии высокоспиновых состояний. Однако в целом они остаются менее энергетически выгодными по сравнению с состояниями C3 и E1 (рис. 3). При этом в случае оптимизации синглетного состояния структуры C3 получен конформер X1, близкий по энергии к конформерам D1 и E1 и вместе с тем имеющий геометрию, наиболее сходную со структурой C3 (см. табл. 1).

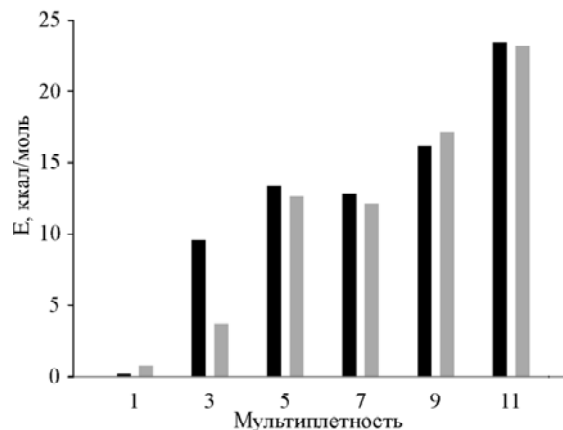


Рис. 3. Относительные энергии оптимизированных структур в сравнении с конформером E1 в синглетном состоянии: темные столбцы – исходный конформер E1; светлые столбцы – исходный конформер C3

Геометрические различия между конформерами C3 ($S = 1$) и X1 ($S = 0$) состоят в том, что внешние атомы серы одного из атомов железа выходят из плоскости σ при сохранении положения метильных групп (рис. 4). Таким образом, триплет-синглетный переход с изменением геометрии осуществляется за счет смещения внешних атомов серы, связанных с одним центром. С другой стороны, переходы между конформерами D1 или E1 и C3 зависят от перемещений как атомов S, так и связанных с ними CH_3 -групп.

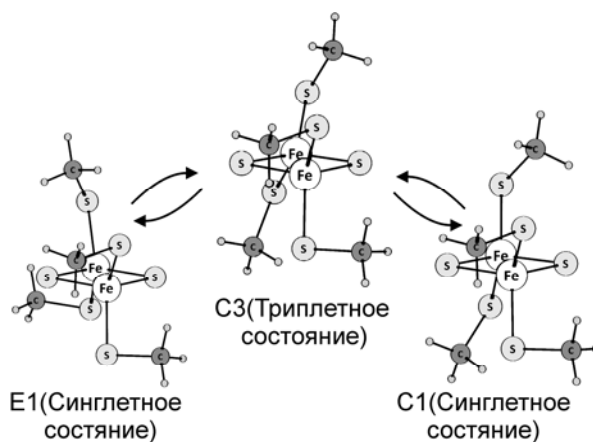


Рис. 4. Основные и высокоспиновые состояния конформеров C3 и E1 $[2\text{Fe}-2\text{S}-4(\text{SCH}_3)]^{2-}$ кластера

Переход между конформерами был разделен на 10 промежуточных геометрий. Плавное изменение положений атомов при переходе от одной структуры к другой достигалось путем интерполяции геометрических параметров системы во внутренних координатах [11] (рис. 5, 6).

Перегибы, наблюдаемые в случае C3–E1-перехода (см. рис. 6), связаны с вращением метильных групп. Геометрия, соответствующая пересечению кривых, использовалась в качестве исходной при поиске минимума энергии на пересечении синглетной и триплетной поверхностей потенциальной энергии. Поиск

минимума проводился при помощи процедуры MEX пакета GAMESS по стандартным критериям. Полученные переходные состояния близки по геометрическим параметрам и отличаются лишь расположением одной метильной группы.

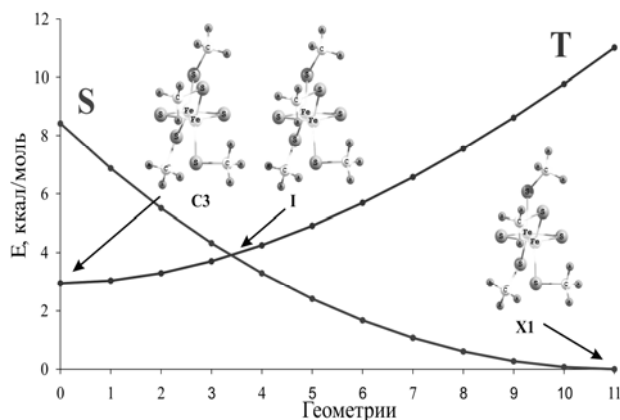


Рис. 5. Относительные энергии структур, характеризующие триплет-синглетный переход I: геометрия 0 – конформер C3; геометрия 11 – конформер X1

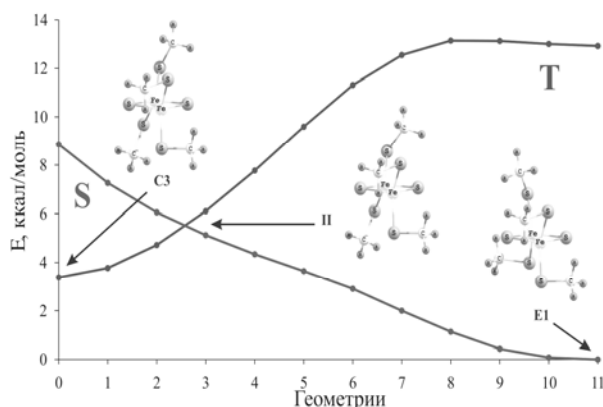


Рис. 6. Относительные энергии структур при триплет-синглетном переходе II: геометрия 0 – конформер C3; геометрия 11 – конформер E1

В случае перехода II геометрия, отвечающая минимуму энергии на пересечении синглетной и триплетной поверхностей потенциальной энергии, оказалась ниже точки пресечения кривой на рис. 6 на 2,8 ккал/моль.

В результате разница между энергией конформера C3 в триплетном спиновом состоянии и энергией переходного состояния при переходах I и II равна 0,95 и 0,91 ккал/моль соответственно.

Таким образом, незначительные энергетические различия в полученных структурах обуславливают высокую вероятность переходов между устойчивой конформацией C3 в триплетном спиновом состоянии и конформерами E1 и X1 с одновременным понижением мультиплетности системы до синглетного состояния. Подобные переходы являются очень важными в процессах спин-орбитального взаимодействия. При воздействии на геометрические параметры модельного кластера активного центра ферредоксина $[2\text{Fe}-2\text{S}-4(\text{SCH}_3)]^{2-}$, в частности положения лигандов, можно достичь изменения мультиплетности системы. С одной стороны, такие переходы обуславливают возможность существования кластера в различных спиновых состояниях, с другой – открывают широкие возможности по их применению в спин-запрещенном неадиабатическом катализе.

Библиографические ссылки

1. Cui G., Sun Z., Fang W. // J. of Phys. Chemistry. A. 2011. Vol. 115, № 36. P. 10146–10153.
2. Mahapatra S. // Accounts of Chemical Research. 2009. Vol. 45, № 8. P. 1004–1015.
3. Harvey J. N. // Structure and Bonding. 2004. Vol. 112. P. 151–183.
4. Scheidt W. R., Reed C. A. // Chem. Rev. 1981. Vol 81. P. 543–555.
5. Shaver M. P. [et al.] // Angewandte Chem. Inttn. Ed. 2006. Vol. 45. P. 1241–1244.
6. De Oliveira F. T., Münck E., Bominaar E. L. // Inorganica Chimica Acta. 2008. Vol. 361. P. 1192–1196.
7. Harvey J. N., Poli R. // Coordination Chemistry Rev. 2003. Vol. 238–239. P. 347–361.
8. Schmidt M.W. [et al.] // J. of Computational Chemistry. 1993. Vol. 14. P. 1347–1363.
9. Perdew J. P., Burke J., Ernzerhof M. // Phys. Rev. Letters. 1996. Vol. 77. P. 3865–3868.
10. Weigend F., Ahlrichs R. // Phys. Chemistry Chem. Physics. 2005. Vol. 7. P. 3297–3305.
11. Bode B. M., Gordon M. S. // J. of Molecular Graphics and Modeling. 1998. Vol. 16. P. 133–138.

A. O. Lykhin, A. A. Kuzubov, S. A. Varganov, M. V. Serzhantova, N. S. Eliseeva

CONNECTION OF GROUND STATE SPIN OF FERREDOXIN ACTIVE CENTER POINT Fe_2S_2 ON LIGANDS ORIENTATION

The article considers oxidized state of the cluster $[2\text{Fe}-2\text{S}-4(\text{SCH}_3)]^{2-}$, which is an analog of active center point in ferredoxin proteins, in the framework of DFT and reveals probability of non-adiabatic spin-inhibited junctions between the cluster conformers in singlet and triplet states. Junction structures obtained can be used for study of reaction mechanism of the cluster with a confluent spin states.

Keywords: ferredoxin, non-adiabatic processes, density functional theory (DFT).

© Лыхин А. О., Кузубов А. А., Варганов С. А., Сержантова М. В., Елисеева Н. С., 2012

**НАГРУЗОЧНОЕ УСТРОЙСТВО РЕКУПЕРАЦИОННОГО ТИПА
С УЛУЧШЕННЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ***

Разработана имитационная модель нагрузочного устройства рекуперационного типа с улучшенными динамическими характеристиками. Проведено исследование характеристик нагрузочного устройства рекуперационного типа с каскадным включением импульсного и непрерывного стабилизаторов тока.

Ключевые слова: нагрузочное устройство, энергосбережение, рекуперация, динамические характеристики.

Нагрузочное устройство рекуперационного типа (НУРТ) используется в составе энергосберегающего испытательного комплекса (ЭИК), предназначенного для наземных испытаний мощных вторичных источников электропитания космических аппаратов [1]. Этот комплекс также включает в себя стабилизирующий выпрямитель, имитатор первичного источника электропитания, испытываемый источник вторичного электропитания (ИВЭП).

Топология нагрузочного устройства определяет коэффициент полезного использования электроэнергии всего энергосберегающего испытательного комплекса. Применение НУРТ, осуществляющего частичный возврат электроэнергии в сеть постоянного тока, питающую испытательный комплекс, позволяет значительно улучшить энергетические характеристики ЭИК по сравнению с нагрузочным устройством со сбросом энергии в окружающую среду в виде тепла.

В [2] рассмотрен НУРТ с импульсным регулирующим элементом. В результате моделирования и экспериментальных исследований были выявлены такие его недостатки, как небольшая скорость нарастания входного тока НУРТ при имитации ступенчатой коммутации нагрузки и узкая полоса частот воспроизведения гармонических помех. Для улучшения динамических характеристик НУРТ авторами предложено использовать каскадное включение двух стабилизаторов тока: непрерывного (НСТ) и импульсного (ИСТ).

Исследование характеристик нагрузочного устройства рекуперационного типа с улучшенными динамическими характеристиками выполнялось с помощью пакета схемотехнического моделирования Micro-CAP.

Имитационная модель НУРТ (рис. 1) состоит из ИВЭП, первичного источника электроэнергии (ПИЭ), питающего ИВЭП, и НУРТ, являющегося нагрузкой для ИВЭП. НУРТ содержит включенные каскадно НСТ и ИСТ, причем НСТ стабилизирует входной ток НУРТ, а ИСТ – ток, протекающий через НСТ, что ограничивает мощность, выделяемую на транзисторах НСТ. Выход ИСТ подключен параллельно через развязывающие диоды к выходу ПИЭ, что позволяет рекуперирующую электроэнергию в сеть постоянного тока электропитания ЭИК. Такая структура объединяет в себе высокое быстродействие устройств, работающих

в непрерывном режиме, и высокий КПД устройств, функционирующих в импульсном режиме.

В непрерывный стабилизатор тока входят шесть параллельно включенных МДП-транзисторов VT1–VT6 по схеме «общий исток» и операционный усилитель (ОУ) DA3, вырабатывающий сигнал ошибки, пропорциональный отклонению входного тока НУРТ от требуемого значения выходного тока ИВЭП.

Импульсный стабилизатор тока выполнен в виде мостового импульсного преобразователя (ИП) с фазовым управлением с гальванической развязкой на повышающем трансформаторе. Силовая часть образована мостом VT7–VT10, повышающим трансформатором Т1, выпрямителями VD7, VD6, VD11, VD12, выходным фильтром L6C19. Система управления ИП содержит ОУ DA4, вырабатывающий сигнал ошибки, пропорциональный отклонению тока, протекающего через НСТ, от требуемого значения. Элементы DD1–DD19, R32–R35, C12–C15 образуют фазоимпульсный модулятор, управляющий ключами ИП VT7–VT10. Параметры схемы моделирования ИСТ уточнены на основании экспериментальных исследований макета ИСТ.

С помощью разработанной модели были проведены вычислительные эксперименты, в ходе которых получены энергетические и динамические характеристики НУРТ.

Об эффективности НУРТ можно судить по коэффициенту рекуперации – отношению рекуперируемой мощности к мощности, потребляемой НУРТ (рис. 2). Результаты моделирования показывают, что из-за введения НСТ коэффициент рекуперации НУРТ с улучшенными динамическими характеристиками ниже, чем коэффициент рекуперации НУРТ с ИСТ. С ростом мощности, потребляемой НУРТ с каскадным включением НСТ и ИСТ, коэффициент рекуперации растет, что обусловлено увеличением рекуперируемой мощности по отношению к мощности, потребляемой НСТ, которая практически постоянна.

Анализ переходных процессов при ступенчатом набросе и сбросе входного тока НУРТ (рис. 3) позволяет сделать вывод о том, что НСТ в момент сброса выходит из активного режима (транзисторы НСТ полностью закрыты), в результате чего происходит затягивание фронта спада тока. Скорость нарастания входного тока НУРТ равна 30 А/мкс, скорость спада – 0,1 А/мкс.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

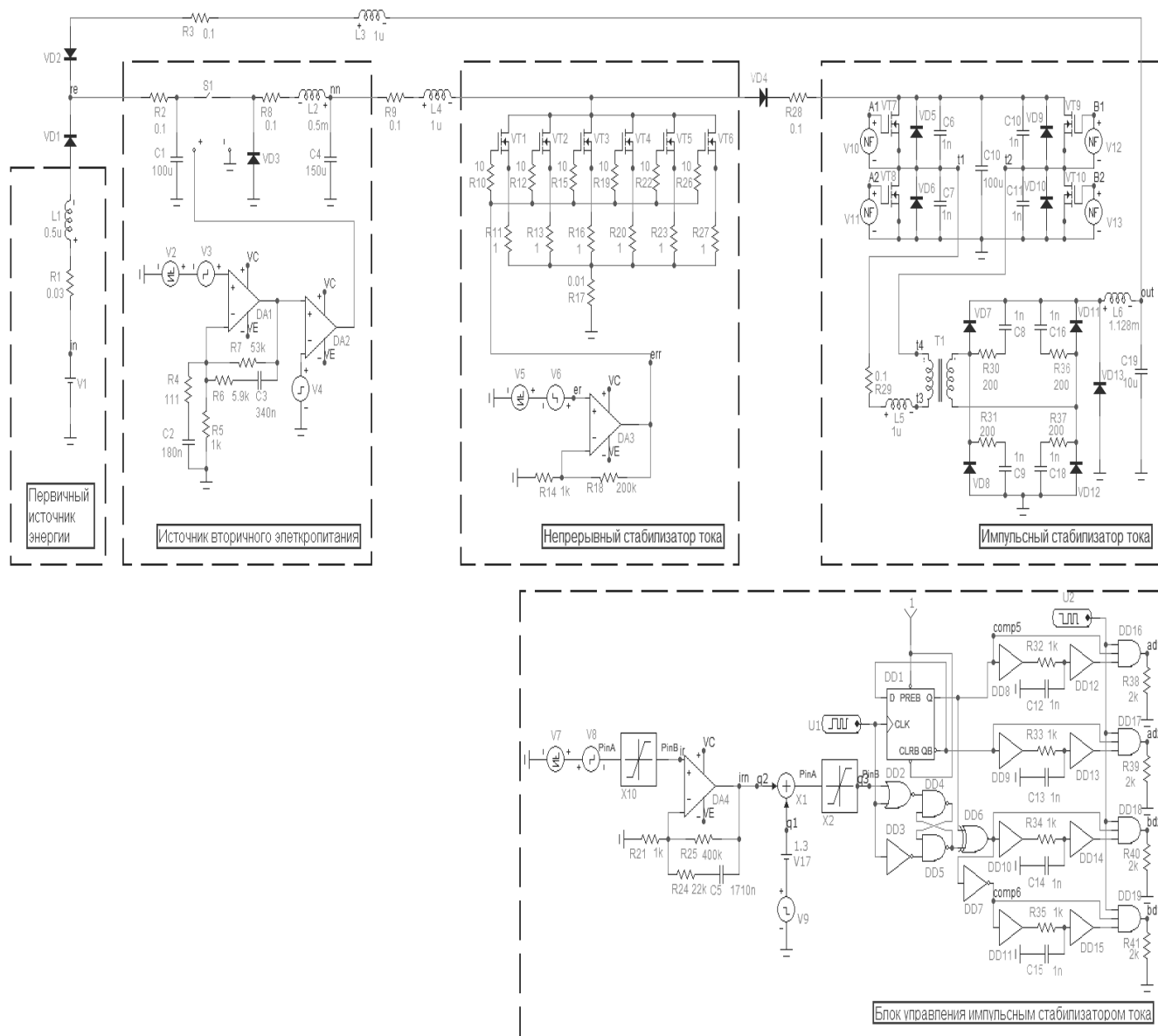


Рис. 1. Имитационная модель НУРТ, выполненная в пакете Micro-CAP

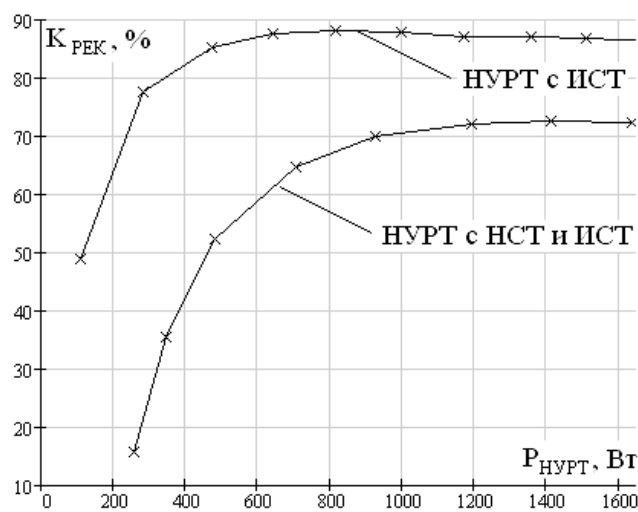


Рис. 2. Зависимость коэффициента рекуперации от входной мощности НУРТ

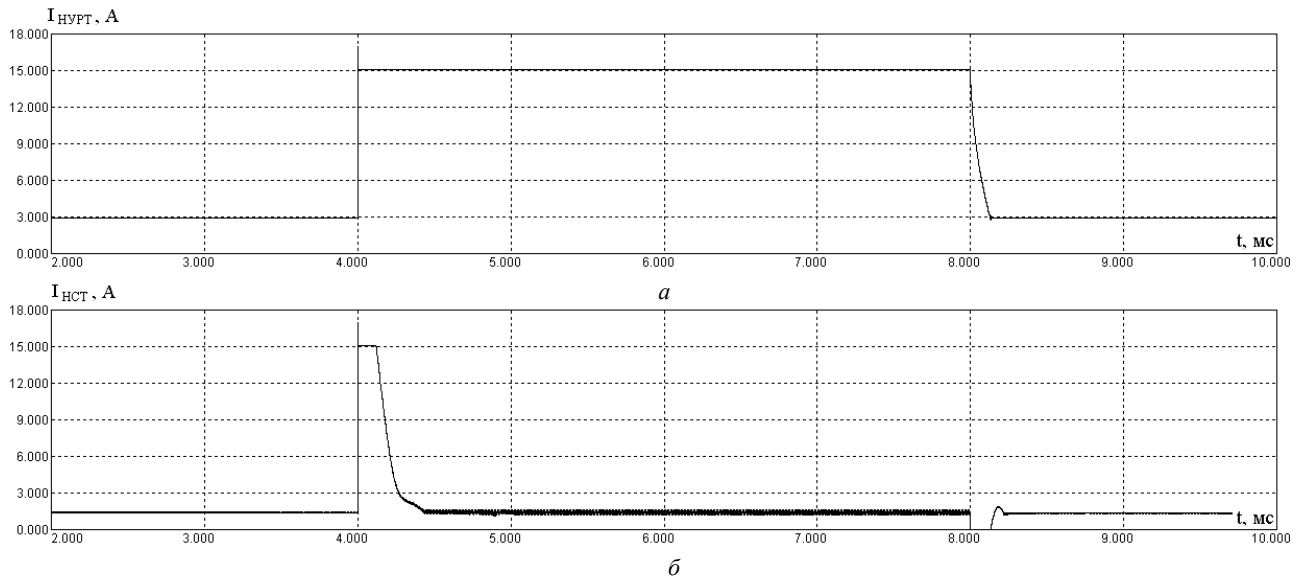


Рис. 3. Переходные процессы при ступенчатом набросе и сбросе входного тока НУРТ с постоянной установкой тока НСТ

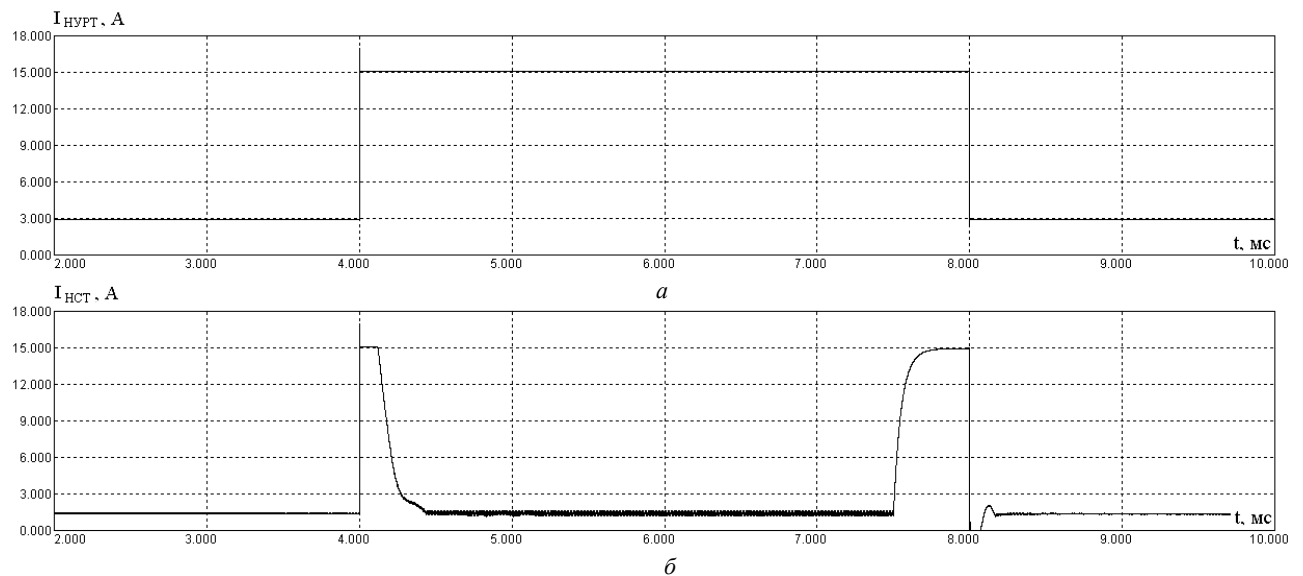


Рис. 4. Переходные процессы при ступенчатом набросе и сбросе входного тока НУРТ с изменяемой установкой тока НСТ

Увеличить скорость спада входного тока НУРТ можно за счет предварительного увеличения тока НСТ (рис. 4), когда ступенчатый сброс осуществляется за счет ступенчатого уменьшения тока НСТ, при этом скорость спада входного тока НУРТ составляет 26 А/мкс.

Рекуперация электроэнергии в сеть постоянного тока снижает мощность, потребляемую от ПИЭ. В установившемся режиме электроэнергия используется только для компенсации потерь в ИВЭП и НУРТ (рис. 5). Так, при входной мощности НУРТ в 1 500 Вт от ПИЭ потребляется мощность 550 Вт.

При длительных испытаниях ИВЭП нередко отключения сети переменного тока, приводящие к работе в аварийном режиме. Для исключения такого режима в состав испытательного комплекса вводится

источник бесперебойного питания. В этом случае рекуперация в сеть постоянного тока позволяет либо уменьшить емкость аккумуляторных батарей, либо увеличить время работы комплекса в аварийном режиме.

Реальные потребители электроэнергии на борту космического аппарата, как правило, имеют в своем составе импульсные преобразователи напряжения, являющиеся источниками импульсных и гармонических помех. Поэтому для проведения испытаний ИВЭП нагрузочное устройство должно иметь возможность наведения помех. Исследуемое НУРТ позволяет наводить синусоидальные помехи частотой до 100 кГц (рис. 6) и импульсные помехи частотой до 10 кГц (рис. 7). Максимальная амплитуда помех определяется величиной тока, стабилизируемого на

НСТ. Во избежание выхода НСТ из активного режима и искажения формы наводимого на входной ток НУРТ сигнала амплитуда гармонического или импульсного тока ограничена величиной тока, стабилизируемого на НСТ. В частности, увеличение тока,

стабилизируемого на НСТ, вызывает необходимость проектирования НСТ на большую мощность, что ухудшает его динамические характеристики, уменьшает коэффициент полезного использования энергии и увеличивает массу и габариты всего устройства.

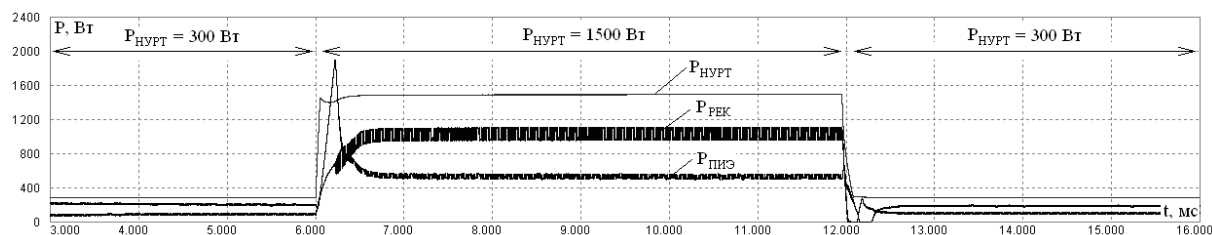


Рис. 5. Графики мощностей:
 $P_{\text{НУРТ}}$ – входная мощность НУРТ; $P_{\text{рек}}$ – рекуперированная мощность;
 $P_{\text{ПИЭ}}$ – мощность, потребляемая от ПИЭ

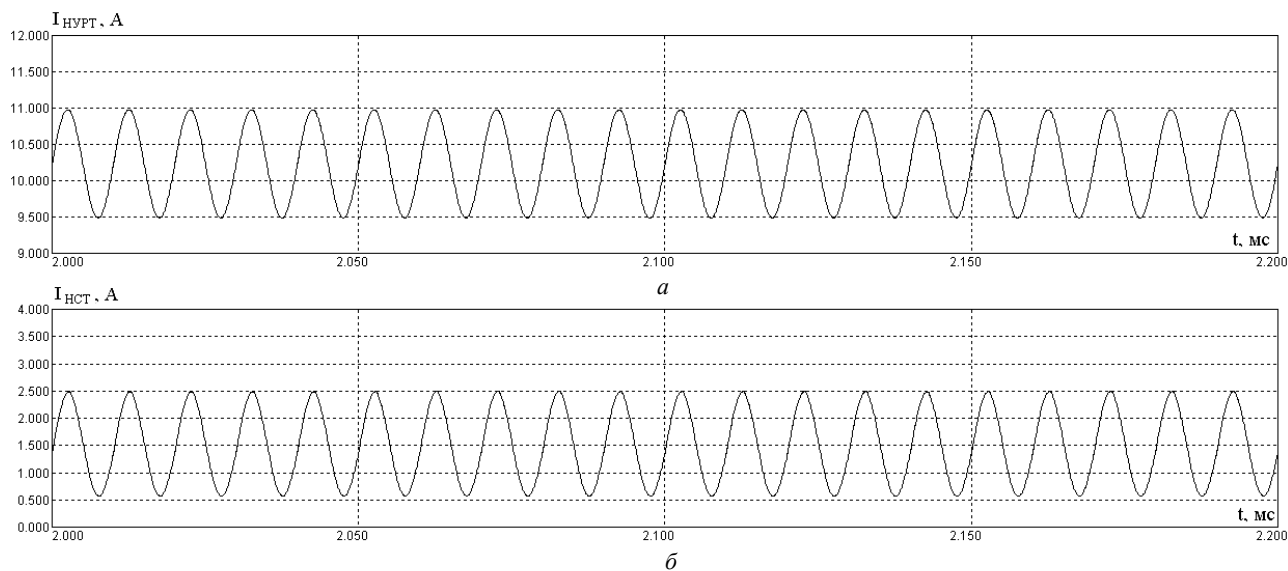


Рис. 6. Режим наведения синусоидальных помех

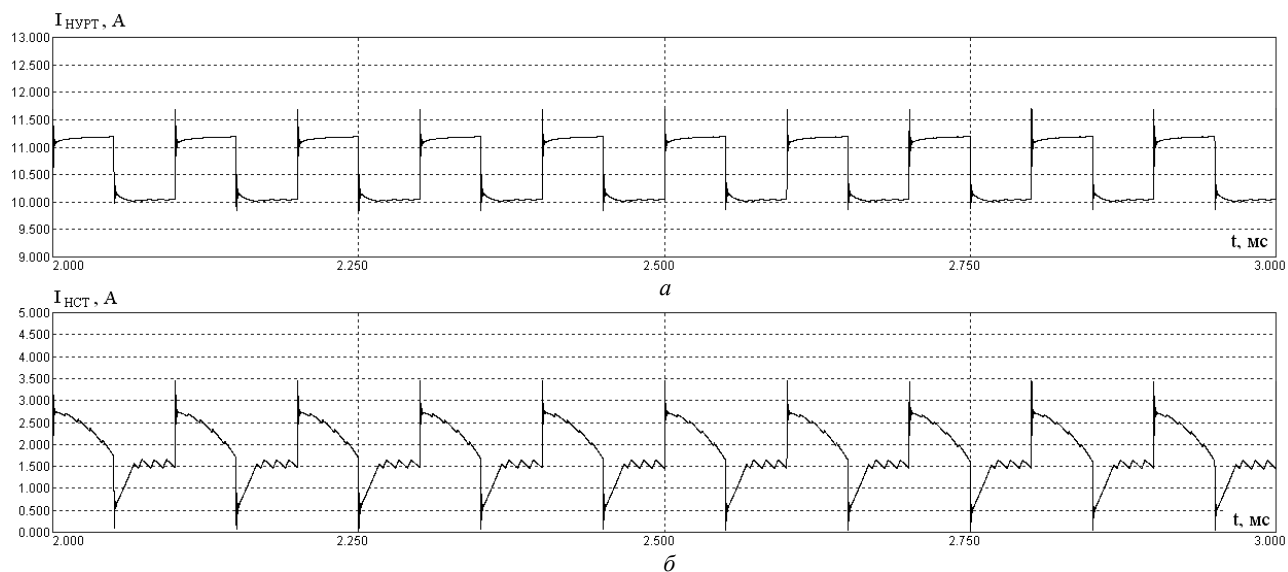


Рис. 7. Режим наведения импульсных помех

Динамические характеристики НУРТ

Параметр	НУРТ с ИСТ	НУРТ с каскадным включением НСТ и ИСТ	Коэффициент улучшения (отношение параметров)
Длительность переходного процесса	285 мкс	22 мкс	13,0
Скорость нарастания входного тока НУРТ	0,04 А/мкс	30 А/мкс	750
Скорость спада входного тока НУРТ	0,05 А/мкс	26 А/мкс	520
Коэффициент рекуперации	85 %	72,2 %	0,85

Высокочастотные помехи (см. рис. 6) наводятся за счет изменения тока НСТ, и в этом случае динамические характеристики ИСТ таковы, что он практически не отрабатывает изменение тока НСТ. При наведении низкочастотных помех (см. рис. 7) ИСТ частично компенсирует изменение тока НСТ. Несимметричность графика тока НСТ (рис. 7, б) объясняется различием скорости нарастания и спада входного тока ИСТ.

Модель, разработанная в пакете Micro-CAP, позволяет сократить время на проектирование нагрузочных устройств рекуперационного типа и может быть использована для анализа динамических и энергетических характеристик НУРТ (см. таблицу).

Таким образом, каскадное включение регулирующих элементов существенно улучшает динамические характеристики НУРТ, но уменьшает коэффициент

полезного использования электроэнергии из-за потерь в НСТ. Этот недостаток особенно проявляется при относительно малых мощностях нагружения, соизмеримых с мощностью потребления НСТ (см. рис. 2).

Библиографические ссылки

1. Мизрах Е. А., Лобанов Д. К. Динамический синтез нагрузочных устройств с рекуперацией электроэнергии в сеть электропитания испытательного комплекса энергосистем космического аппарата // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 4 (37). С. 142–147.
2. Мизрах Е. А., Лобанов Д. К. Энергосберегающее нагрузочное устройство для испытаний систем электропитания постоянного тока // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 6 (32). С. 56–61.

E. A. Mizrakh, D. K. Lobanov

LOADING DEVICE OF RECUPERATION TYPE WITH IMPROVED DYNAMIC CHARACTERISTICS

Simulation model of loading device of recuperation type with improved dynamic characteristics for Micro-CAP program has been developed. Research of characteristics of loading device of recuperation type with cascade connection of impulse and continuous current regulators is performed and described in the article.

Keywords: loading device, energy-efficiency, recuperation, dynamic characteristics.

© Мизрах Е. А., Лобанов Д. К., 2012

УДК 621.01

Р. А. Мирзаев, Н. А. Смирнов

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ МАНИПУЛЯТОРА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ (ДЕЛЬТА-МЕХАНИЗМА)

Рассмотрена кинематика манипулятора с параллельной структурой – дельта-механизма. Аналитически решена прямая задача кинематики манипулятора. Проведена проверка полученного решения с помощью трехмерного моделирования. Найдены крайние положения манипулятора и область рабочей зоны.

Ключевые слова: прямая задача кинематики, рабочая зона, дельта-механизм, устройства параллельной кинематики, манипуляторы.

В некоторых областях техники перспективным является применение роботов-манипуляторов на основе механизмов параллельной кинематики, используемых при механической обработке изделий сложной формы (например, штампов, пресс-форм, лопаток турбин и т. д.), когда требуется перемещение инструмента по пяти-шести координатам.

В отличие от традиционных манипуляторов, структуры с параллельной кинематикой содержат замкнутые кинематические цепи и воспринимают нагрузку как пространственные фермы [1], т. е. звенья этих механизмов работают на растяжение и сжатие, что обеспечивает жесткость всей конструкции и, как следствие, повышение точности позиционирования схвата [2].

Достоинствами манипуляторов, построенных на основе параллельных механизмов, являются большая точность и жесткость, высокие рабочие нагрузки [3].

Среди недостатков этих манипуляторов следует отметить использование большого количества приводов и более сложных систем управления, меньший размер рабочей области и высокую стоимость, сложность в проектировании. Однако эти недостатки не являются препятствием для распространения параллельных манипуляторов в тех областях, где требуется точное позиционирование, высокие нагрузки и маневренность [3].

Математические и имитационные модели кинематики и динамики некоторых параллельных механизмов, а также задача оптимизации их формы и размеров рассматривались в [4].

Трехмерное моделирование кинематически сложных механизмов целесообразно выполнять с помощью системы автоматизированного проектирования (САПР) CATIA, в которой используются алгоритмы моделирования движения кинематически сложных механизмов, таких как устройства параллельной кинематики. Для решения систем уравнений, описывающих положение устройства параллельной структуры, наиболее подходящим является программный пакет Maple – система компьютерной алгебры, позволяющая решать сложные системы уравнений как в численном, так и в символьном виде. В работе [5], в которой рассматривались особенности динамики манипуляторов параллельной структуры и переходные процессы, для расчета параметров управления приводами механизмов применялся программный комплекс MATLAB/Simulink.

Постановка задачи. Рассмотрим устройство параллельной кинематики – дельта-механизм (рис. 1), включающий в себя основание, образованное точками 3, 6, 9, верхнюю платформу, на движение которой накладываются ограничения три кинематические цепи: 1–2–3, 4–5–6, 7–8–9. В точках 1, 2, 4, 5, 7, 8 установлены поворотные шарниры с одной вращательной степенью свободы, в точках 3, 6, 9 – сферические шарниры с тремя вращательными степенями свободы. Основание и поворотная платформа представляют собой равносторонние треугольники.

Введем следующие обозначения элементов дельта-механизма (см. рис. 1):

- x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} – координаты i -й точки в j -й системе координат;
- l_i – длина i -го звена, во всех кинематических цепях $l_1 = 37$ мм, $l_2 = 58$ мм;
- φ_{ij} – угол i -го шарнира в j -й кинематической цепи;
- δ_i – угол между первой системой координат i -й кинематической цепи и базовой системой координат, $\delta_1 = 330^\circ$, $\delta_2 = 210^\circ$, $\delta_3 = 90^\circ$;
- E – расстояние между сферическими шарнирами 3, 6, 9 дельта-механизма, $E = 60$ мм;
- F – расстояние от начала базовой системы координат до поворотных шарниров 1, 4, 7, $F = 60$ мм;

- R – расстояние от полюса схвата P до сферических шарниров 3, 6, 9, $R = 34,641$ мм;
- $X_0Y_0Z_0$ – базовая система координат;
- $X_1Y_1Z_1$ – первая система координат.

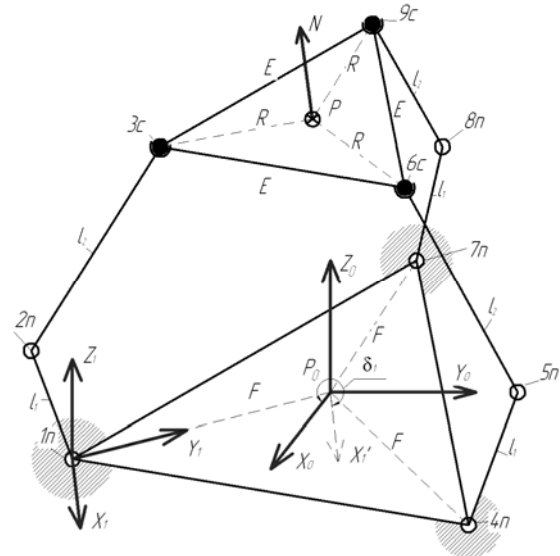


Рис. 1. Общий вид дельта-механизма (обозначения см. в тексте)

Решение прямой задачи кинематики. Прямая задача кинематики манипуляторов применительно к дельта-механизму сводится к нахождению координат поворотной платформы при заданных длинах звеньев l_1, l_2 и углах поворотов шарниров $\varphi_{11}, \varphi_{21}, \varphi_{12}, \varphi_{22}, \varphi_{13}, \varphi_{23}$ (рис. 2).

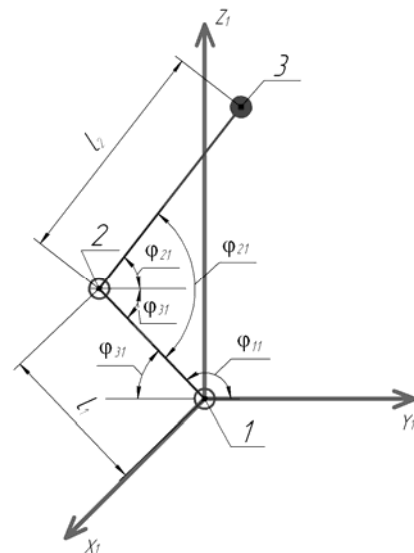


Рис. 2. Определение положения точек 2 и 3 в первой системе координат

Для решения этой задачи сначала находят координаты сферического шарнира (точки 3) в первой системе координат $X_1Y_1Z_1$, а затем с помощью переноса

на расстояние F и поворота на угол δ переходят к базовой системе координат $X_0Y_0Z_0$. Аналогично определяют координаты остальных сферических шарниров – точек 6, 9, которые вместе с точкой 3 задают плоскость поворотной платформы (рис. 3). По уравнению этой плоскости можно найти углы ее наклона в базовой системе координат $X_0Y_0Z_0$, а также высоту полюса схвата.

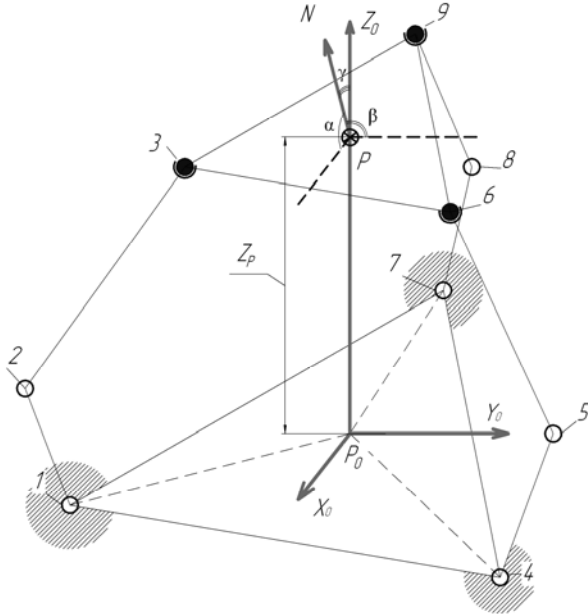


Рис. 3. Схема положения плоскости поворотной платформы в базовой системе координат

В первой системе координат $X_1Y_1Z_1$ координаты точки 3 определяются по уравнениям

$$\begin{cases} x_{31} = 0, \\ y_{31} = l_1 \cdot \cos(\varphi_{11}) + l_2 \cdot \cos(\varphi_{21} + \varphi_{11} - 180^\circ), \\ z_{31} = l_1 \cdot \sin(\varphi_{11}) + l_2 \cdot \sin(\varphi_{21} + \varphi_{11} - 180^\circ). \end{cases}$$

При переходе от первой системы координат $X_1Y_1Z_1$, связанной с кинематической цепью $I-2-3$, к базовой системе $X_0Y_0Z_0$ следует выполнить перенос на расстояние F и поворот на угол δ (см. рис. 1). Для уравнений координат точки 3 этот угол равен углу δ_1 , т. е. 330° :

$$\begin{cases} x_{30} = (l_1 \cdot \cos(\varphi_{11}) + l_2 \cdot \cos(\varphi_{21} + \varphi_{11} - 180^\circ) - F) \sin(\delta_1), \\ y_{30} = (l_1 \cdot \cos(\varphi_{11}) + l_2 \cdot \cos(\varphi_{21} + \varphi_{11} - 180^\circ) - F) \cos(\delta_1), \\ z_{30} = l_1 \cdot \sin(\varphi_{11}) + l_2 \cdot \sin(\varphi_{21} + \varphi_{11} - 180^\circ). \end{cases}$$

Аналогично находят координаты точки 6 в базовой системе координат $X_0Y_0Z_0$:

$$\begin{cases} x_{60} = (l_1 \cdot \cos(\varphi_{12}) + l_2 \cdot \cos(\varphi_{22} + \varphi_{12} - 180^\circ) - F) \sin(\delta_2), \\ y_{60} = (l_1 \cdot \cos(\varphi_{12}) + l_2 \cdot \cos(\varphi_{22} + \varphi_{12} - 180^\circ) - F) \cos(\delta_2), \\ z_{60} = l_1 \cdot \sin(\varphi_{12}) + l_2 \cdot \sin(\varphi_{22} + \varphi_{12} - 180^\circ). \end{cases}$$

Координаты точки 9 в базовой системе координат $X_0Y_0Z_0$ задаются уравнениями

$$\begin{cases} x_{90} = (l_1 \cdot \cos(\varphi_{13}) + l_2 \cdot \cos(\varphi_{23} + \varphi_{13} - 180^\circ) - F) \sin(\delta_3), \\ y_{90} = (l_1 \cdot \cos(\varphi_{13}) + l_2 \cdot \cos(\varphi_{23} + \varphi_{13} - 180^\circ) - F) \cos(\delta_3), \\ z_{90} = l_1 \cdot \sin(\varphi_{13}) + l_2 \cdot \sin(\varphi_{23} + \varphi_{13} - 180^\circ). \end{cases}$$

Поворотная платформа представляет собой равно-сторонний треугольник с вершинами 3, 6, 9. Зная координаты этих точек, можно найти уравнение плоскости поворотной платформы, а затем и координаты нормали N в базовой системе координат.

Уравнение плоскости поворотной платформы записывается следующим образом:

$$A \cdot x + B \cdot y + C \cdot z + D = 0.$$

По координатам трех точек 3, 6, 9 получают коэффициенты уравнения плоскости верхней платформы:

$$\begin{aligned} A &= y_{30}(z_{60} - z_{90}) + y_{60}(z_{90} - z_{30}) + y_{90}(z_{30} - z_{60}), \\ B &= z_{30}(x_{60} - x_{90}) + z_{60}(x_{90} - x_{30}) + z_{90}(x_{30} - x_{60}), \\ C &= x_{30}(y_{60} - y_{90}) + x_{60}(y_{90} - y_{30}) + x_{90}(y_{30} - y_{60}), \\ -D &= x_{30}(y_{60} \cdot z_{90} - y_{90} \cdot z_{60}) + x_{60}(y_{90} \cdot z_{30} - y_{30} \cdot z_{90}) + \\ &\quad + x_{90}(y_{30} \cdot z_{60} - y_{60} \cdot z_{30}), \end{aligned}$$

где коэффициенты A, B, C – координаты вектора нормали N к плоскости поворотной платформы 3, 6, 9 (см. рис. 3). Направляющие косинусы вектора N относительно базовой системы координат $X_0Y_0Z_0$ рассчитывают по формулам

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}, \\ \cos \beta &= \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}, \\ \cos \gamma &= \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}. \end{aligned}$$

За обобщенные координаты поворотной платформы приняты два: угла α, β – и высота полюса схвата Z_p . Третий из углов наклона плоскости поворотной платформы γ не следует включать в обобщенные координаты, поскольку положение плоскости в пространстве однозначно определено двумя углами и высотой. Кроме того, число степеней свободы дельта-механизма, вычисленное по формуле Чебышева–Малышева, равно трем [5], а число обобщенных координат должно быть равно числу степеней свободы механизма. Координату Z_p вычисляют как среднее арифметическое координат Z трех точек, так как треугольник, образованный точками 3, 6, 9, является равно-сторонним:

$$Z_p = \frac{z_{30} + z_{60} + z_{90}}{3}.$$

Результаты решения прямой задачи кинематики манипулятора параллельной структуры представлены в таблице.

Координаты поворотной платформы

Координаты схвата в базовой системе координат $X_0Y_0Z_0$	Координаты, определенные в САПР CATIA	Координаты, рассчитанные аналитически в пакете Maple	Отклонение, %
α	$85,131^\circ$	$85,011^\circ$	0,14
β	$103,493^\circ$	$103,514^\circ$	-0,02
γ	$14,376^\circ$	$14,437^\circ$	-0,42
Z_P	85,587 мм	85,574 мм	0,02

Определение рабочей зоны манипулятора. Допустимые значения координат положения верхней платформы Z_P , α , β определяются следующими параметрами механизма:

- длиной звеньев l_1, l_2 ;
- максимальным и минимальным углами поворота сферических шарниров: по оси $X - \theta_{\max}, \theta_{\min}$, по оси $Y - \omega_{\max}, \omega_{\min}$;
- максимальным и минимальным углами поворота сферических шарниров $\varphi_{12\max}, \varphi_{12\min}$.

Определить максимальные углы наклона платформы в базовой системе координат α и β , высоту полюса схвата Z_P , а также зависимость между ними можно с помощью трехмерной модели дельта-механизма (рис. 4).

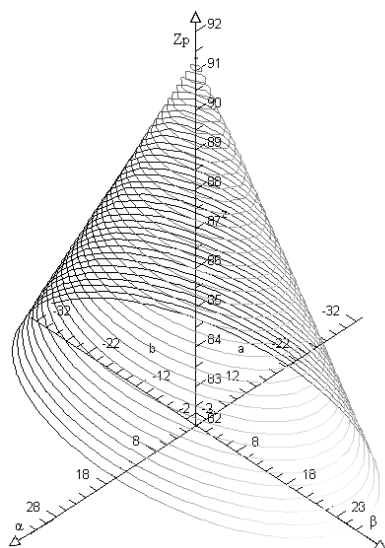


Рис. 4. Рабочая зона дельта-механизма

В ходе экспериментов с трехмерной моделью получена область рабочей зоны механизма – конус с эллиптическим основанием, описываемый уравнением

$$Z_P = -8,814 \sqrt{\frac{\alpha^2}{16,541^2} + \frac{\beta^2}{31,118^2}} + 91,4.$$

Таким образом, при помощи трехмерного моделирования определена рабочая зона механизма – это конус с эллиптическим сечением. При максимальной высоте Z_P поворот платформы невозможен. Снизу рабочая зона ограничена максимальными углами поворота шарниров $1, 4, 7$, а также длинами l_1, l_2 .

Авторами представлены трехмерная модель манипулятора с параллельной структурой – дельта-механизма – и аналитическое решение прямой задачи кинематики этого манипулятора. Проверка вычисленных координат поворотной платформы показала правильность полученного решения. С помощью трехмерной модели дельта-механизма также найдена рабочая зона манипулятора.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании аналогичных манипуляторов.

Библиографические ссылки

1. Merlet J. P. Parallel Robots. Solid Mechanics and its Applications. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2000.
2. Разработка манипуляционных механизмов параллельно-перекрестной структуры / В. А. Глазунов [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. Вып. 2. М. : Наука, 2008. С. 100–110.
3. Каганов Ю. Т., Карпенко А. П. Математическое моделирование кинематики и динамики робота-манипулятора типа «хобот». 1. Математические модели секции манипулятора как механизма параллельной кинематики типа «трипод» [Электронный ресурс] // Наука и образование. URL: <http://techno-new.developer.stack.net/doc/133262.html> (дата обращения: 27.11.2012).
4. Волкоморов С. В., Каганов Ю. Т., Карпенко А. П. Моделирование и оптимизация некоторых параллельных механизмов // Информ. технологии. 2010. Вып. 5. С. 1–32.
5. Мирзаев Р. А., Смирнов Н. А., Смирнов А. Н. Расчет параметров движения приводов механизма параллельной структуры // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 5 (38). С. 62–64.

R. A. Mirzaev, N. A. Smirnov

RESEARCH OF KINEMATICS OF MANIPULATOR WITH PARALLEL STRUCTURE (DELTA MECHANISM)

The article considers kinematics of manipulator with parallel structure. Direct kinematic problem of manipulator solved analytically. The obtained solution verified with the help of three-dimensional simulation of the mechanism. Limit positions of the manipulator and operating area zone are defined.

Keywords: direct kinematic problem, operating area zone, delta mechanism, parallel kinematic device, manipulators.

© Мирзаев Р. А., Смирнов Н. А., 2012

УДК 004.021

С. С. Огнерубов, Д. И. Ковалев, А. И. Середин, К. К. Бахмарева, В. В. Брезницкая

МОДЕЛЬНО-АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА МУЛЬТИЛИНГВИСТИЧЕСКОГО ИНФОРМАЦИОННО-ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОГО БАЗИСА В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ*

Рассматривается формирование мультилингвистического информационно-терминологического базиса и модель его изучения на основе марковских цепей. Приводится алгоритм разбиения информационного базиса на модули по принципу релевантности.

Ключевые слова: мультилингвистическая адаптивно-обучающая технология, информационно-терминологический базис, марковская цепь, принцип релевантности.

Для современных информационно-управляющих систем (ИУС) характерно то, что количество информационных материалов на различных языках в последние годы существенно увеличивалось. Поэтому современному квалифицированному специалисту, принимающему решения в ИУС, трудно обойтись без знания иностранных языков. Однако требование повысить уровень обучения иностранным языкам в неязыковом вузе вступает в противоречие с некоторыми условиями этого обучения, одним из которых является ограниченное количество часов, отводимых на изучение этих языков. Выходом из этого положения может стать оптимизация процесса обучения. В данной статье рассматриваются анализ процесса обучения и способы разбиения учебного материала на модули.

Формирование модулей. Ранее в работах [1–3], в которых решались задачи разбиения мультилингвистического информационно-терминологического базиса (ИТБ), акцент делался на оптимальное разбиение этого базиса на модули. Это позволяло создавать модули, трудоемкость изучения которых была оптимальной или стремилась к оптимальному значению с точки зрения количества слов в нем. Разработки в данной области были успешны и привели к получению ряда новых результатов [3]. Однако недостатком предложенных в этих работах методов является отсутствие анализа слов, находящихся в модулях, кото-

рые формируются из случайных слов либо из слов, попадающих в модули в алфавитном порядке. В таком случае слова могут быть как трудно, так и легко запоминаемыми, созвучными друг другу, однокоренными или просто похожими.

Решая задачу анализа связей между словами, необходимо обратиться к вопросу изучения памяти и ее свойств, которым занимаются такие науки, как психология и мнемоника. В работах психологов Г. Эббингауза и Ф. Ч. Бартлетта, проводивших различные опыты для изучения особенностей памяти, было выявлено, что степень соответствия слов между собой влияет на их запоминание [4]. В дальнейшем было выяснено, что логически или образно связанная информация (или взаимообусловленные данные) запоминается эффективнее, поскольку при этом складывается ассоциативная связь. У схожих слов в человеческом сознании формируются похожие образы, и по этой причине процесс их запоминания протекает эффективнее, поскольку нет необходимости формировать в памяти новую ячейку. В результате происходит группировка слов со схожими образами и построение ассоциативных рядов, что позволяет запомнить больше при минимальных затратах памяти.

Исходя из вышесказанного задача разбиения мультилингвистического информационно-терминологического базиса на модули с учетом взаимосвязи приобретает особую актуальность.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение 14.B37.21.0116).

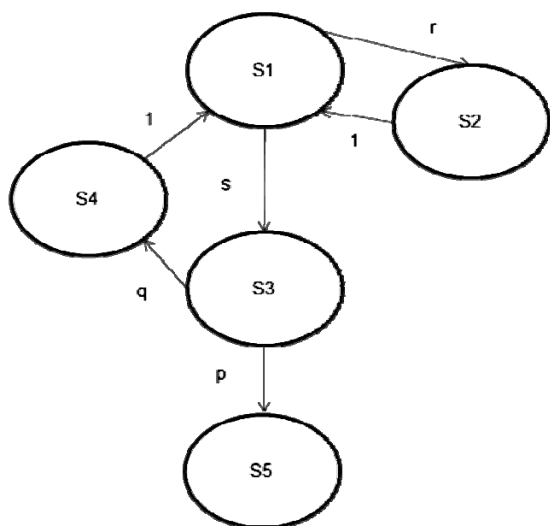
Модель изучения информационно-терминологического базиса. В работах [5–7] рассматривалась гипотеза об экспоненциальном характере зависимости вероятности успешного прохождения контрольных мероприятий от объема базиса и влиянии на эту вероятность степени соответствия слов REL. Если объем информационного материала некоторого ИТБ составляет Θ ч, то вероятность успешного выполнения контрольных мероприятий может быть представлена в виде

$$p(\Theta) = \frac{\exp(-\lambda\Theta) + \text{REL}}{2}, \quad (1)$$

где λ – константа, показывающая скорость снижения вероятности успешного завершения изучения ИТБ в зависимости от его объема, ч^{-1} ; REL – степень соответствия слов между собой ($0 < \text{REL} < 1$).

В моделях, используемых в работах [1–4], не учитывалась ассоциативная связь между словами и мнемотехники. Поэтому в разработанную авторами модель изучения ИТБ были внесены некоторые изменения.

Рассмотрим модель на основе цепи Маркова, описывающую вероятностный процесс изучения отдельного базиса (см. рисунок).



Модель изучения информационно-терминологического базиса (обозначения см. в тексте)

В этой модели выделены следующие состояния:

- S1 – изучение информационного материала;
- S2 – получение консультаций при изучении слов;
- S3 – выполнение контрольных мероприятий;
- S4 – применение мнемотехник для работы над словами, в которых были допущены ошибки;
- S5 – завершение изучения базиса.

Зададим вероятности переходов из одного состояния в другое:

– r – вероятность обращения за справками или консультациями при изучении информационно-терминологического базиса;

– s – вероятность перехода к контрольным мероприятиям;

– p – вероятность успешного выполнения контрольных мероприятий и завершения изучения базиса;

– q – вероятность неудачи при выполнении контрольных мероприятий и повторном изучении базиса.

В рассматриваемой модели выполняются очевидные соотношения:

$$r + s = 1, p + q = 1. \quad (2)$$

Матрица вероятностей переходов между состояниями имеет вид

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} s1 & s2 & s3 & s4 & s5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S1 \\ S2 \\ S3 \\ S4 \\ S5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & r & s & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q & p \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}. \quad (3)$$

Выделим в P матрицу вероятностей переходов между состояниями невозвратного множества Q :

$$Q = \begin{matrix} & \begin{matrix} s1 & s2 & s3 & s4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} s1 \\ s2 \\ s3 \\ s4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & r & s & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}. \quad (4)$$

Тогда фундаментальная матрица цепи Маркова будет выглядеть следующим образом:

$$N = (I - Q)^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & -r & -s & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -q \\ -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1}, \quad (5)$$

где I – единичная матрица размерностью 4×4 .

Процесс изучения базиса всегда стартует из состояния S_i , поэтому достаточно определить только первую строчку матрицы N с ее элементами $n1, \dots, n4$. Вычислив обратную матрицу $(I - Q)^{-1}$, получим оценки среднего числа попыток изучения всех компонентов информационного базиса – среднее число пребывания процесса в состояниях $\{S1, \dots, S6\}$ при старте из состояния $S1$:

$$n1 = \frac{1}{ps}, \quad n2 = \frac{r}{ps}, \quad n3 = \frac{1}{p}, \quad n4 = \frac{q}{p}, \quad (6)$$

где $n1$ – среднее число попыток изучения информационного материала; $n2$ – среднее число обращений за справками и консультациями при изучении информационного материала; $n3$ – среднее число попыток выполнения контрольных мероприятий; $n4$ – среднее число применений мнемотехник для работы над словами, в которых были допущены ошибки.

Обозначим трудоемкости изучения всех компонентов информационного базиса, ч:

– Θ – трудоемкость изучения информационного материала;

– $\Theta1$ – трудоемкость получения справок и консультаций при изучении информационного материала (состояние $S2$);

– Θ_2 – трудоемкость выполнения контрольных мероприятий (состояние S_3);

– Θ_3 – трудоемкость выполнения мнемотехник (состояние S_4).

Суммарная трудоемкость прохождения информационного базиса с учетом (6) определяется выражением

$$R = n_1 \cdot \Theta + n_2 \cdot \Theta_1 + n_3 \cdot \Theta_2 + n_4 \cdot \Theta_3 = \frac{1}{p} \left[\frac{1}{s} (\Theta + r\Theta_1) + \Theta_2 + q\Theta_3 \right]. \quad (7)$$

Рассмотрим оценки параметров, входящих в формулу (7).

Вероятность r определяется экспертно или на основе обработки результатов изучения информационно-терминологического базиса.

Вероятность p вычисляется по формуле (1).

Трудоемкость Θ зависит от объема информационного базиса.

Трудоемкость Θ_1 может быть получена как доля величины Θ :

$$\Theta_1 = k_1 \Theta, \quad (8)$$

где $0 < k_1 < 1$ – доля затрат на получение справок и консультаций, определяемая экспертно или на основе статистики.

Трудоемкость Θ_2 является суммой постоянной и переменной составляющих:

$$\Theta_2 = m + k_2 \Theta, \quad (9)$$

где m – трудоемкость работы по выполнению контрольных мероприятий, не зависящая от размеров базиса, ч; $0 < k_2 < 1$ – доля затрат на выполнение контрольных мероприятий.

Трудоемкость Θ_3 можно представить как сумму доли трудоемкости Θ и постоянной составляющей:

$$\Theta_3 = w + k_3 \Theta, \quad (10)$$

где w – трудоемкость работы по изучению мнемотехник, не зависящая от размеров базиса, ч; $0 < k_3 < 1$ – доля затрат на применение мнемотехник.

В результате подстановки значений параметров (8)–(10) формула (7) приобретет вид

$$R = \frac{2}{e^{-\lambda \Theta} + \text{REL}} \times \left[\left(\frac{1}{s} (1 + k_1 r) + k_2 + qk_3 \right) \Theta + m + qw \right] = R_1 + R_2 + R_3, \quad (11)$$

где $R_1 = \frac{2}{e^{-\lambda \Theta} + \text{REL}} [1 + k_1 r] \frac{\Theta}{s}$ – затраты времени на изучение базиса; $R_2 = \frac{2}{e^{-\lambda \Theta} + \text{REL}} (k_2 \Theta + m)$ – затраты времени на выполнение контрольных мероприятий; $R_3 = \frac{2}{e^{-\lambda \Theta} + \text{REL}} [qk_3 \Theta + qw]$ – затраты времени на выполнение мнемотехник.

Введем обозначение

$$\frac{1}{s} (1 + k_1 r) + k_2 + qk_3 = k, \quad (12)$$

с учетом которого выражение для суммарной трудоемкости (11) упростится:

$$R = \frac{2}{e^{-\lambda \Theta} + \text{REL}} (k\Theta + m + qw). \quad (13)$$

Формирование модулей по принципу релевантности. В рассматриваемой нами модели связь между словами определяется по принципу релевантности или соответствия между собой. Если у двух сравниваемых побуквенно слов на одном и том же месте находится одна и та же буква, то это увеличивает степень их соответствия. Если слова схожи, то вероятно, что они либо однокоренные, либо просто похожи. В первом случае слова отличаются только своей формой или частью речи, во втором слова запоминаются как созвучные, но разные по смыслу. Все это увеличивает ассоциативную связь между словами, что облегчает человеческому мозгу процесс их запоминания.

Приведем подробный алгоритм формирования модуля ИТБ.

Шаг 1. Количество слов в базисе, который хранится в базе данных, заносим в SizeOfBasis.

Шаг 2. Задаем коэффициент схожести слов KOF .

Шаг 3. $I = 1$.

Шаг 4. Если I больше SizeOfBasis, то переходим к шагу 17. В противном случае берем слово из базы данных под индексом I .

Шаг 5. Если флаг use-слова под индексом I равен 0, то use равен 1 и слово записывается в MainWord. В противном случае значение I увеличиваем на 1 и переходим к шагу 4.

Шаг 6. Создаем новый модуль, в котором same равно 0.

Шаг 7. $J = 1$.

Шаг 8. Если J меньше или равно SizeOfBasic, то берем слово из базы данных под индексом J .

Шаг 9. Если флаг use-слова под индексом J равен 0, то записываем его в переменную Word. В противном случае J увеличиваем на 1 и переходим к шагу 8.

Шаг 10. Сравниваем количество букв в словах Word и MainWord, выбираем из них наименьшее и заносим его в SizeOfWord.

Шаг 11. $K = 1$.

Шаг 12. Если K больше SizeOfWord, то переходим к шагу 15, в противном случае – к шагу 13.

Шаг 13. Если буква с индексом K MainWord равна букве с индексом K Word, то увеличиваем same на 1.

Шаг 14. Увеличиваем K на 1 и переходим к шагу 12.

Шаг 15. Если same равно 0, то увеличиваем J на 1 и переходим к шагу 8.

Шаг 16. Если same/SizeOfWord больше KOF , то присваиваем use значение 1, J увеличиваем на 1, в результате слово помещается в модуль, и переходим к шагу 8. В противном случае J увеличиваем на 1 и переходим к шагу 8.

Шаг 17. Выход.

После формирования модулей ИТБ по релевантности применяются алгоритмы разбиения информации

онно-терминологического базиса, состоящего из заранее заданных модулей, которые описаны в работах [6; 7].

На основе анализа способов формирования модулей информационно-терминологического базиса получена новая модель изучения ИТБ с учетом свойств человеческой памяти и применения мнемотехник, использующих принцип релевантности. Авторами предложен новый алгоритм для разбиения всего базиса на модули, который обеспечивает учет ассоциативной связи между словами, что облегчает процесс их запоминания обучаемыми. Данный алгоритм был использован при разработке программного комплекса в среде Microsoft Visual Studio, который может работать с любыми системами управления базами данных, имеющими ODBC-драйвер.

Библиографические ссылки

1. Kovalev I., Kovaleva T., Susdaleva E. Effective Information Training Technology Based on the Learner's Memory State Model // Modeling, Measurement and Control. D. 2000. Vol. 21, № 3–4. P. 11–26.
2. Ковалев И. В., Огнерубов С. С., Лохмаков П. М. Программно-алгоритмические средства персонифи-

кации информационно-терминологического базиса в области аэрокосмической техники // Авиакосмич. приборостроение. 2007. № 9. С. 67–71.

3. Мультилингвистическая технология поиска данных для подготовки и принятия решения в информационно-управляющих системах / И. В. Ковалев, П. В. Зеленков, С. С. Огнерубов, П. М. Лохмаков // Прогр. продукты и системы. 2007. № 2. С. 11.

4. Растрингин Л. А. Адаптация сложных систем. Методы и приложения. Рига : Зинатне, 1981.

5. System Aspects of Multilingual Adaptive-Training Technology Organization and Usage / I. V. Kovalev, T. A. Kovaleva, M. V. Karasyova, S. N. Ezhemanskay // Proc. of Intern. Conf. on Modeling and Simulation. Lyon, 2004. P. 212–214.

6. Ковалев И. В., Карасева М. В., Лесков В. О. Алгоритмизация процедур включения связанных лексем в структуру информационно-терминологического базиса // Прогр. продукты и системы. 2009. № 4. С. 28.

7. Ковалев И. В., Лесков О. В., Карасева М. В. Внутряязыковые ассоциативные поля в мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии // Системы управления и информ. технологии. 2008. № 3.1 (33). С. 157–160.

S. S. Ognerubov, D. I. Kovalev, A. I. Seredin, K. K. Bakhmareva, V. V. Brezitskaya

MODEL-ALGORITHMIC SUPPORT OF MULTILINGUAL INFORMATION-TERMINOLOGICAL BASIS IN INTELLIGENT SYSTEMS

The authors consider formation of multilingual information-terminological basis and the model of its study based on Markovian chains. The algorithm of decomposition of informational basis into modules, according to relevance principle, is presented.

Keywords: multilingual adaptive-training technology, information-vocabulary basis, Markovian chain, relevance principle.

© Огнерубов С. С., Ковалев Д. И., Середин А. И., Бахмарева К. К., Брезицкая В. В., 2012

УДК 539.374

С. И. Сенашов, Е. В. Филюшина

О НОВЫХ РЕШЕНИЯХ УРАВНЕНИЙ ПЛАСТИЧНОСТИ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ВЫСШИХ СИММЕТРИЙ

Показано, как высшие симметрии плоской идеальной пластичности действуют на точные решения уравнений двумерной идеальной пластичности. Подробно рассмотрено решение Прандтля. Получены новые точные решения.

Ключевые слова: двумерная пластичность, точные решения, высшие симметрии.

Основным свойством симметрий, допускаемым системой дифференциальных уравнений, является то, что под их действием любое решение системы уравнений переходит в решение этой же системы. Это свойство позволяет получать новые решения не интегрированием исходной системы, а применением групповых преобразований к уже известным решени-

ям. Таким способом найдены многие интересные решения для различных дифференциальных уравнений. В данной статье представлено, как можно использовать высшие симметрии для построения точных решений из решения Прандтля.

Рассмотрим дифференциальные уравнения теории идеальной пластичности в плоском случае [1]:

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{\partial \sigma}{\partial x} - 2k(\cos 2\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} + \sin 2\theta \frac{\partial \theta}{\partial y}) = 0, \\ F_2 &= \frac{\partial \sigma}{\partial y} - 2k(\sin 2\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} - \cos 2\theta \frac{\partial \theta}{\partial y}) = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\sigma_x = \sigma - k \sin 2\theta$, $\sigma_y = \sigma + k \sin 2\theta$, $\tau = k \cos 2\theta$ – компоненты тензора напряжений; σ – гидростатическое давление; $\theta = (1; x) - \frac{\pi}{4}, (1; x)$ – угол между первым главным направлением тензора напряжений и осью OX .

Известно, что система уравнений (1) допускает бесконечную группу точечных симметрий, бесконечную алгебру высших симметрий и бесконечную систему законов сохранения [2].

Точечная группа, допускаемая системой (1), уже неплохо изучена. С ее помощью удалось построить новые серии точных решений уравнений (1) и изучить качественные свойства этих уравнений.

Законы сохранения, допускаемые системой (1), позволили решить краевые задачи Коши и Римана в аналитическом виде.

В данной статье впервые будет показано, как высшие симметрии могут быть использованы для построения новых точных решений уравнений (1).

Приведем необходимые сведения о высших симметриях уравнения (1).

Пусть

$$\frac{\partial^{i+j} \sigma}{\partial x^i \partial y^j} = p_{ij}^1, \quad \frac{\partial^{i+j} \theta}{\partial x^i \partial y^j} = p_{ij}^2, \quad i, j = 1, 2, \dots$$

Рассмотрим бесконечномерное пространство J^∞ с координатами $(x, y, \sigma, \theta, p_{ij}^k)$, $k = 1, 2, \dots$, и преобразование этого пространства вида

$$\begin{aligned} x' &= f^1(x, y, \sigma, \theta, p_{ij}^k, \alpha), \\ y' &= f^2(x, y, \sigma, \theta, p_{ij}^k, \alpha), \\ \sigma' &= g^1(x, y, \sigma, \theta, p_{ij}^k, \alpha), \\ \theta' &= g^2(x, y, \sigma, \theta, p_{ij}^k, \alpha), \end{aligned} \quad (2)$$

$$(p_{ij}^k)' = h_{ij}^k(x, y, \sigma, \theta, p_{ij}^k, \alpha), \quad k = 1, 2, \dots, \quad i, j = 1, 2, \dots,$$

где α – одномерный параметр из некоторой окрестности нуля.

Пусть преобразования (2) составляют локальную однопараметрическую группу. Тогда

$$(p_{ij}^1)' = \frac{\partial^{i+j} \sigma}{\partial (x')^i \partial (y')^j}, \quad (p_{ij}^2)' = \frac{\partial^{i+j} \theta}{\partial (x')^i \partial (y')^j}, \dots$$

Система уравнений (1) определяет в пространстве J^∞ бесконечную систему уравнений

$$D_v(F_1) = 0, \quad D_v(F_2) = 0. \quad (3)$$

Здесь оператор полной производной имеет вид

$$D_x = \frac{\partial}{\partial x} + \sum_{k,i,j} p_{i+1,j}^k \frac{\partial}{\partial p_{i,j}^k},$$

$$D_y = \frac{\partial}{\partial y} + \sum_{k,i,j} p_{i,j+1}^k \frac{\partial}{\partial p_{i,j}^k},$$

$$v = (l, m), \quad D_v = D_x^l \circ D_y^m,$$

где v – любое целое число.

Будем говорить, что система уравнений (1) допускает группу преобразований (2), если бесконечная система (3) инвариантна при этих преобразованиях.

Каждой однопараметрической группе (2) соответствует производящая функция симметрий $\varphi = \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{pmatrix}$,

которая определяется по системе уравнений

$$\overline{l_F} \varphi = 0, \quad (4)$$

где черта вверх означает, что в уравнениях (4) следует перейти на многообразие (1).

Оператор l_F из (4) для системы (1) будет следующим:

$$l_F = \begin{pmatrix} D_x - 2k(-2 \sin 2\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} + 2 \cos 2\theta \frac{\partial \theta}{\partial y} + \\ + \cos 2\theta D_x + \sin 2\theta D_y) \\ D_y - 2k(2 \cos 2\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} + 2 \sin 2\theta \frac{\partial \theta}{\partial y} + \\ + \sin 2\theta D_x - \cos 2\theta D_y) \end{pmatrix}.$$

Подробности вычислений высших симметрий и многочисленные примеры можно найти в [2] и цитируемых там источниках.

В [2] найдены все высшие симметрии, допускаемые уравнением пластичности (1). Простейшие из них имеют вид

$$f_2 = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 \bar{y}}{\partial \xi^2} \\ \frac{\partial^2 \bar{y}}{\partial \eta^2} \end{pmatrix}, \quad f_3 = \begin{pmatrix} \frac{\partial^3 \bar{y}}{\partial \xi^3} \\ \frac{\partial^3 \bar{y}}{\partial \eta^3} \end{pmatrix}, \dots, \quad f_n = \begin{pmatrix} \frac{\partial^n \bar{y}}{\partial \xi^n} \\ \frac{\partial^n \bar{y}}{\partial \eta^n} \end{pmatrix}, \dots \quad (5)$$

Используем некоторые эти симметрии для построения новых решений пластичности согласно следующей методике.

Пусть $\bar{x}_0, \bar{y}_0$ – некоторые известные решения уравнений пластичности, а f_k возьмем из семейства симметрий (5).

Серия новых решений, которые получаются из точного решения $\bar{x}_0(\xi, \eta), \bar{y}_0(\xi, \eta)$, определяется как решение системы уравнений

$$\frac{\partial \bar{y}}{\partial \tau} = \frac{\partial^k \bar{y}}{\partial \xi^k}, \quad \frac{\partial \bar{x}}{\partial \tau} = \frac{\partial^k \bar{x}}{\partial \eta^k} \quad (6)$$

со следующими начальными условиями:

$$\bar{y}(0, \xi, \eta) = \bar{y}_0, \quad \bar{x}(0, \xi, \eta) = \bar{x}_0.$$

Тогда пара функций $(\bar{y}(\tau, \xi, \eta), \bar{x}(\tau, \xi, \eta))$ является решением уравнений пластичности для каждого τ .

Единственное затруднение при использовании этой методики состоит в отсутствии формул для

решения задачи Коши для уравнений (6), которых нет, например, даже в [3].

По аналогии со случаем $k = 2$ запишем общее решение уравнений (6).

Лемма. Решение задачи Коши

$\frac{\partial \bar{y}}{\partial \tau} = \frac{\partial^k \bar{y}}{\partial \xi^k}$, $\bar{y}|_{\tau=0} = \bar{y}_0$ можно представить в виде

$$\bar{y}(\tau, \xi, \eta) = \bar{y}_0 + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\tau^i}{i!} \frac{d^{(ik)} \bar{y}_0}{d\xi^{(ik)}}. \quad (7)$$

Доказательство этой леммы осуществляется простой проверкой того, что (7) действительно есть решение уравнения (7) и удовлетворяет начальному условию.

В качестве исходного решения возьмем решение Прандтля:

$$\bar{x}_0(\xi, \eta) = -\sin \theta - (\eta + \xi) \cos \theta,$$

$$\bar{y}_0(\xi, \eta) = \cos \theta + (\eta + \xi) \sin \theta.$$

Подставляя это решение в (7) и сворачивая полученные ряды, имеем

$$\bar{x}(\tau, \xi, \eta) = (-\sin \theta - (\eta + \xi) \cos \theta + \tau \sin \theta) \exp\left(-\frac{\tau}{4}\right),$$

$$\bar{y}(\tau, \xi, \eta) = (\cos \theta + (\eta + \xi) \sin \theta + \tau \cos \theta) \exp\left(-\frac{\tau}{4}\right).$$

Характеристики для этого решения и решения Надаи приведены в [4].

Теперь, используя решение Прандтля, рассмотрим случай $k = 3$. Согласно предыдущим рассуждениям получим

$$\bar{x}(\tau, \xi, \eta) = (- (\eta + \xi) \cos \theta - \sin \theta) \operatorname{ch}\left(-\frac{\tau}{8}\right) +$$

$$+ ((\eta + \xi) \sin \theta - \cos \theta) \operatorname{sh}\left(-\frac{\tau}{8}\right),$$

$$\bar{y}(\tau, \xi, \eta) = ((\eta + \xi) \sin \theta + \cos \theta) \operatorname{ch}\left(-\frac{\tau}{8}\right) +$$

$$+ ((\eta + \xi) \cos \theta - \sin \theta) \operatorname{sh}\left(-\frac{\tau}{8}\right).$$

Возвращаясь к исходным координатам, по формулам $x = \bar{x} \cos \theta - \bar{y} \sin \theta$, $y = \bar{x} \sin \theta + \bar{y} \cos \theta$ имеем

$$x = (-\sigma - \sin 2\theta) \operatorname{ch} a - \cos 2\theta \operatorname{sh} a,$$

$$y = \cos 2\theta \operatorname{ch} a + (\sigma - \sin 2\theta) \operatorname{sh} a,$$

где $a = -\left(\frac{\tau}{8}\right)$.

Характеристики и соотношения на характеристиках для этого решения имеют вид

$$\xi = \sigma - 2\theta = c_1,$$

$$x = (-2\theta - \sin 2\theta - c_1) \operatorname{ch} a - \cos 2\theta \operatorname{sh} a,$$

$$y = \cos 2\theta \operatorname{ch} a - (2\theta - \sin 2\theta + c_1) \operatorname{sh} a,$$

$$\eta = \sigma + 2\theta = c_1,$$

$$x = (2\theta - \sin 2\theta + c_1) \operatorname{ch} a - \cos 2\theta \operatorname{sh} a,$$

$$y = \cos 2\theta \operatorname{ch} a - (-2\theta - \sin 2\theta + c_1) \operatorname{sh} a.$$

Графики новых точных решений уравнений пластичности при $a = 0$, $a = 1$, $a = 2$ и $a = 3$ представлены ниже (рис. 1–4).

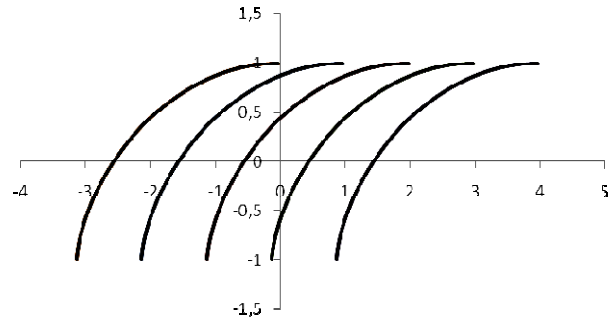


Рис. 1. Линии скольжения первого семейства решения Прандтля – нового решения при $a = 0$

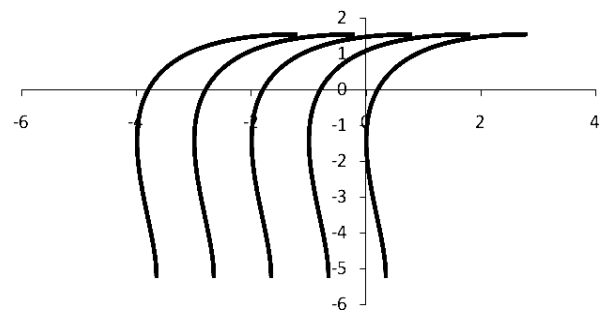


Рис. 2. Линии скольжения первого семейства нового решения при $a = 1$

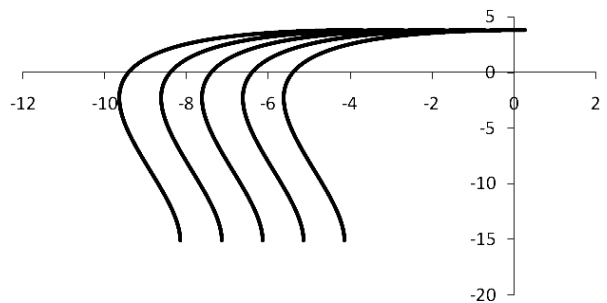


Рис. 3. Линии скольжения первого семейства нового решения при $a = 2$

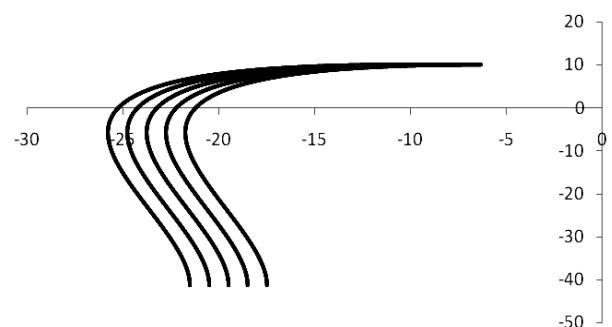


Рис. 4. Линии скольжения первого семейства нового решения при $a = 3$

Библиографические ссылки

1. Хилл Р. Математическая теория пластичности. М. : Гостехиздат, 1954.
2. Киряков П. П., Сенашов С. И., Яхно А. И. Приложение симметрии и законов сохранения к решению дифференциальных уравнений. Новосибирск : Изд-во Сиб. отд-ния Рос. акад. наук, 2001.
3. Полянин А. Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики. М. : Физматлит, 2001.
4. Сенашов С. И., Филюшина Е. В., Попов Е. А. Преобразование точных решений уравнений пластичности высшими симметриями // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 5 (38). С. 90–92.

S. I. Senashov, E. V. Filyushina

ABOUT NEW SOLUTIONS OF EQUATIONS OF PLASTICITY OBTAINED WITH THE HELP OF HIGHER SYMMETRIES

In the article the authors show how higher symmetries of plane ideal plasticity operate on exact solutions of two-dimensional ideal plasticity. New solutions are obtained.

Keywords: two-dimensional plasticity, exact solutions, higher symmetry.

© Сенашов С. И., Филюшина Е. В., 2012

УДК 004.056

А. А. Ступина, А. В. Золотарев

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ*

Проведен сравнительный анализ методов решения задачи оценки защищенности автоматизированных систем. Рассмотрены их свойства, преимущества, недостатки, а также продукты, созданные на их основе.

Ключевые слова: формальный подход, классификационный подход, оценка защищенности.

Стремительное развитие компьютерной сферы и высоких технологий в последние два десятилетия привело к тому, что информация приобрела конкретные финансовые, репутационные, временные и другие выражения. В связи с этим для все большего числа организаций защита информации становится одной из приоритетных задач. Государство принимает активное участие в процессе становления информационной безопасности в Российской Федерации, о чем говорит усиление и ужесточение требований к защите конфиденциальной информации (коммерческой тайны, персональных данных, банковской тайны и т. д.), принятие новых законов и подзаконных актов в этой области, а также руководящих документов по классификации средств защиты информации исходя из требований безопасности. Одним из первых и основных этапов построения защищенной инфраструктуры организации является анализ оценки защищенности автоматизированной системы (АС).

В настоящее время анализ оценки защищенности АС проводится с помощью двух подходов: формального и классификационного.

Основой для *формального подхода* традиционно считается модель системы защиты с полным перекрытием, в которой рассматривается взаимодействие облас-

ти угроз, защищаемой области и системы защиты [1]. Таким образом, имеется три множества:

- $T = \{t_i\}$ – множество угроз безопасности;
- $O = \{o_j\}$ – множество объектов (ресурсов) защищенной системы;
- $M = \{m_k\}$ – множество механизмов безопасности АС.

Элементы этих множеств находятся между собой в определенных отношениях, характеризующих систему защиты. Для описания системы защиты обычно используется графовая модель [1].

Множество отношений «угроза–объект» образует двухдольный граф $\langle T, O \rangle$. Цель защиты состоит в том, чтобы перекрыть все возможные ребра в графе. Это достигается введением третьего набора M , в результате чего получается трехдольный граф $\langle T, M, O \rangle$ (рис. 1).

Развитие модели системы защиты с полным перекрытием предполагает введение еще двух элементов:

- V – набора уязвимых мест, определяемого подмножеством декартова произведения T^*O : $v_r = \langle t_i, o_j \rangle$. Под уязвимостью системы защиты понимается возможность осуществления угрозы t в отношении объекта o ;
- B – набора барьеров, определяемого декартовым произведением V^*M : $b_l = \langle t_i, o_j, m_k \rangle$. Барьеры представляют собой пути осуществления угроз безопасности, перекрытые средствами защиты.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение 14.B37.21.0625).

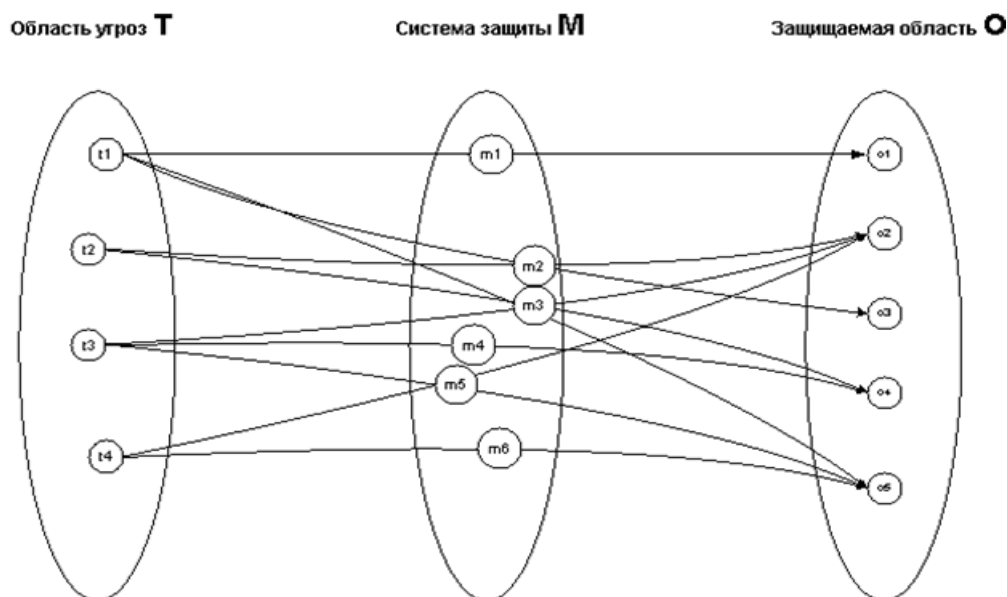


Рис. 1. Графовая модель описания системы защиты информации

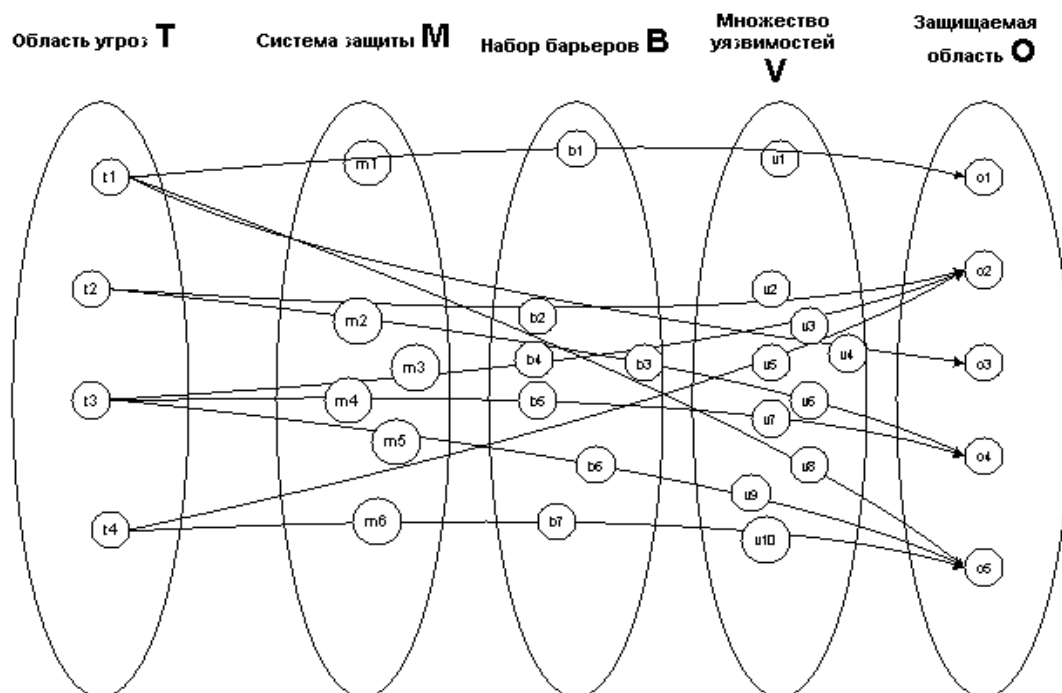


Рис. 2. Модель системы защиты, содержащей уязвимости

В результате будет получена система, состоящая из пяти элементов: $\langle T, O, M, V, B \rangle$, описывающая систему защиты с учетом наличия в ней уязвимостей [1] (рис. 2).

В системе защиты с полным перекрытием для любой уязвимости имеется устраняющий ее барьер. Иными словами, в подобной системе для всех возможных угроз безопасности существуют специальные механизмы защиты, препятствующие осуществлению этих угроз. Это один из факторов, определяющих защищенность АС. Другим фактором является прочность механизмов защиты [1].

В качестве характеристик элемента набора барьеров $b_l = \langle t_i, o_j, m_k \rangle$, $b_l \in B$, может рассматриваться набор $\langle P_l, L_l, R_l \rangle$, где P_l – вероятность появления угрозы; L_l – величина ущерба при удачном осуществлении угрозы в отношении защищаемых объектов (уровень серьезности угрозы); R_l – степень сопротивляемости механизма защиты m_k , характеризующаяся вероятностью его преодоления.

Прочность барьера $b_l = \langle t_i, o_j, m_k \rangle$ зависит от величины остаточного риска $Risk_l$, связанного с возможностью осуществления угрозы t_i в отношении объекта

автоматизированной системы o_j при использовании механизма защиты m_k :

$$\text{Risk}_l = P_k L_k (1 - R_k).$$

Для определения величины защищенности S можно использовать следующую формулу:

$$S = \frac{1}{\left(\sum_{\forall b_k \in B} (P_k L_k (1 - R_k)) \right)},$$

где $P_k, L_k \in (0, 1)$; $R_k \in [0, 1)$. Знаменатель этой формулы определяет суммарную величину остаточных рисков, связанных с возможностью осуществления угроз T в отношении объектов АС O при использовании механизмов защиты M . Эта величина характеризует общую уязвимость системы защиты, а защищенность определяется как величина, обратная уязвимости. При отсутствии в системе барьеров b_k , перекрывающих определенные уязвимости, степень сопротивляемости механизма защиты R_k принимается равной нулю.

На практике получение точных значений указанных характеристик затруднено, поскольку понятия угрозы, ущерба и сопротивляемости механизма защиты трудно формализовать. Так, оценку ущерба в результате несанкционированного доступа к информации политического и военного характера точно определить вообще невозможно, а нахождение вероятности осуществления угрозы не может базироваться на статистическом анализе [1].

В классификационном подходе вместо стоимостных оценок, применяемых в неформальных классификационных подходах, используют категорирование:

- нарушителей (по целям, квалификации и доступным вычислительным ресурсам);
- информации (по уровням критичности и конфиденциальности);
- средств защиты (по функциональности и гарантированности реализуемых возможностей) и т. п.

Такой подход не дает точных значений показателей защищенности, однако позволяет классифицировать АС по уровню защищенности и сравнивать их между собой [1]. Примерами классификационных методик, получивших широкое распространение, могут служить разнообразные критерии оценки безопасности информационных технологий, принятые во многих странах в качестве национальных стандартов, которые устанавливают классы и уровни защищенности.

Наиболее значимыми нормативными документами, определяющими критерии оценки защищенности и требования, предъявляемые к механизмам защиты, являются:

- Общие критерии оценки безопасности информационных технологий (The Common Criteria for Information Technology Security Evaluation) (ISO 15408);
- Практические правила управления информационной безопасностью (Code of Practice for Information Security Management) (ISO 17799);

– стандарт ИСО/МЭК 27001 «Информационные технологии. Методы защиты. Система менеджмента защиты информации. Требования»;

– руководящие документы Государственной технической комиссии (Гостехкомиссии) России и др.

Главное достоинство формального подхода состоит в том, что он позволяет получить точные количественные оценки различных показателей защищенности АС, однако его практическая реализация представляется делом весьма затруднительным и малоэффективным. Поэтому более предпочтительным в этом плане является классификационный подход.

Анализ защищенности АС – это один из основных пунктов создания комплексной системы защиты информации. Однако в последнее время в области информационной безопасности возник целый ряд новых проблем.

Первая из них – это нехватка кадров. Информационная безопасность – относительно новое направление в нашей стране, им занимаются всего несколько десятилетий, а дипломированных специалистов по данному направлению готовят только последние 10 лет. И даже если учесть, что в Российской Федерации специалистов по информационной безопасности выпускают уже 47 вузов (данные 2011 г. [2]), они все равно не могут покрыть дефицит кадров.

Вторая проблема – необходимость придерживаться принципа законности, который предполагает осуществление защитных мероприятий и разработку системы безопасности информации АС в соответствии с действующим законодательством в области информации, информатизации и защиты информации, а также с другими нормативными актами по безопасности, утвержденными органами государственной власти в пределах их компетенции, с применением всех дозволенных методов обнаружения и пресечения правонарушений при работе с информацией [3].

Обычная организация ориентируется на множество стандартов и нормативных и правовых актов в зависимости от вида конфиденциальной информации, циркулирующей в АС. К примеру, для персональных данных такими документами являются Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ «О персональных данных» и подзаконные ему акты. А вот российские банки могут подпадать под действие целого ряда законов и стандартов, однако наибольшее влияние на них оказывают рекомендации Центрального банка (ЦБ) России (здесь следует отметить, что несмотря на рекомендательный характер этих стандартов обеспечение информационной безопасности и получение лицензии от ЦБ России банком без их использования практически невозможно).

Третья проблема – постоянно меняющаяся статистика инцидентов информационной безопасности. Организации должны защищать инфраструктуру, обеспечивая безопасность конечных точек, системы передачи сообщений, веб-трафика и др. Другими приоритетными задачами должны быть защита критических внутренних серверов и обеспечение резервного копирования и восстановления данных. Для быстрого

реагирования на угрозы также необходимо обладать информацией о динамично меняющихся угрозах и методах борьбы с ними [4].

В связи с этим в настоящее время на рынке очень популярны специализированные программные средства оценки защищенности АС, использующие классификационный подход к анализу защищенности, который основан на нормативных документах, определяющих критерии оценки защищенности и требования, предъявляемые к механизмам защиты, такие как программные комплексы Risk Watch (США), CRAMM, COBRA (Великобритания), «АванГард», ГРИФ, КОНДОР+ (Россия) [5].

Сравнение данных программных комплексов (см. таблицу) показывает, что они охватывают большое

количество критериев оценки информационной безопасности, что, безусловно, является положительным моментом. Однако их серьезным недостатком является ориентация только на один-два стандарта информационной безопасности (COBRA – на ISO 17799, CRAMM – на BS 7799:1995, RiskWatch – на LAFE (Local Annual Frequency Estimate) и SAFE (Standard Annual Frequency Estimate), являющихся документами NIST, ГРИФ – на ISO 17799, ISO 15408), и не учитывают руководящие документы Гостехкомиссии и Федеральной службы по техническому и экспортному контролю России, а также нормативные и правовые документы в области информационной безопасности, что делает эти программные продукты фактически непригодными для использования в России.

Сравнение программ анализа оценки защищенности АС

Сравниваемый критерий	ГРИФ	COBRA	CRAMM	Risk Watch	«АванГард»
Риски					
Использование категорий рисков	+	+	+	+	+
Использование понятия максимально допустимого риска	+	+	+	+	+
Подготовка плана мероприятий по снижению риска	+	+	+	+	+
Управление					
Использование понятия «владелец риска»	+	*	+	+	+
План работ по снижению риска:					
проведение тренингов	*	*	*	*	*
проведение семинаров, собраний	*	*	*	*	*
Оценка бизнес-рисков/операционных рисков/ИТ-рисков	+	*	*	+	*
Оценка рисков на техническом уровне	*	*	+	+	+
Оценка рисков на организационном уровне	+	+	+	+	+
Информирование руководителя	+	+	+	+	+
Предлагаемые способы снижения риска					
Обход (исключение) риска		*	*	*	
Снижение риска	+	+	+	+	+
Принятие риска	*	*	*	*	
Процессы					
<i>Использование элементов риска</i>					
Материальные активы	+	+	+	+	+
Нематериальные активы	+	+	+	+	+
Угрозы	+	+	+	+	+
Ценность активов	+		+	+	+
Уязвимости	*	+	+	+	+
Меры безопасности	+	+	+	+	+
Потенциальный ущерб	+	+	+	+	+
Вероятность реализации угроз	+	*	+	+	+
Рассматриваемые типы рисков					
Бизнес-риски	+	*			
Риски, связанные с нарушением законодательных правил		+		+	+
Риски, связанные с использованием технологий	+	+		+	+
Коммерческие риски		*			
Риски, связанные с привлечением третьих лиц					
Риски, связанные с привлечением персонала	+				+
Повторные оценки риска	+	*	*	+	+

Сравниваемый критерий	ГРИФ	COBRA	CRAMM	Risk Watch	«АванГард»
Определение правил принятия риска	*	*	*	*	+
Качественное ранжирование рисков	+	+	+	+	+
Количественное ранжирование рисков	+	*	+	+	+
Использование независимой оценки	+	*	*	+	*
Расчет возврата на инвестиции	+	*		+	
<i>Расчет оптимального соотношения между мерами безопасности</i>					
Меры предотвращения	+	+	+	+	+
Меры выявления	+	*	+	+	+
Меры по исправлению	+	*	+	+	+
Меры по восстановлению	+	+	+	+	+
Интеграция способов управления инцидентами	*	*	*	*	*
Описание назначения способов управления инцидентами	*	*	*	*	*
Процедура принятия остаточных рисков	+	*	+	+	+
Управление остаточными рисками	*	*	*	*	+
<i>Мониторинг рисков</i>					
Применение мониторинга эффективности мер безопасности	*	*	*	*	*
Использование процесса реагирования на инциденты в области информационной безопасности	*	*	*	*	
Проведение мероприятий по снижению риска	+	+	+	+	+
Структурированное документирование результатов оценки риска	+	+	+	+	+

Примечание. В таблице использованы следующие обозначения: + – отвечает критерию; * – не отвечает критерию; без отметки – соответствие критерию зависит от других факторов.

В связи с этим встает проблема создания программного комплекса, который учитывал бы не только зарубежные стандарты по защите информации, но и отечественные разработки в этой области. Такой комплекс мог бы облегчить организациям реализацию защиты информации ограниченного доступа в соответствии с законодательством РФ в условиях недостатка кадров по информационной безопасности. При этом организации придется затратить минимум усилий для аудита информационной безопасности и определения мер по устранению имеющихся недостатков: для этого будет необходимо лишь установить программный комплекс, ответить на контрольные вопросы и получить рекомендации по защите информации в соответствии с законодательством РФ.

Библиографические ссылки

1. Астахов А. Анализ защищенности корпоративных автоматизированных систем [Электронный ресурс]. URL: <http://iso27000.ru/chitalnyi-zai/audit-informacionnoi-bezopasnosti/analiz-zaschischennosti->

korporativnyh-avtomatizirovannyh-sistem (дата обращения: 02.05.2012).

2. Российское образование [Электронный ресурс] : федер. портал. URL: http://www.edu.ru/abitur/act.2/index.php?spe_=090105&sort=0&show_results=0&page=3 (дата обращения: 02.05.2012).

3. Виды мер и основные принципы обеспечения информационной безопасности [Электронный ресурс]. URL: <http://asher.ru/security/book/its/06> (дата обращения: 02.05.2012).

4. Золотарев В. В. Введение в информационную безопасность : учеб. пособие / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2007.

5. Жукова М. Н., Золотарев А. В. Применение нечеткой логики при решении задачи комплексной оценки защищенности автоматизированных систем // В мире науч. открытий. 2011. Вып. 12 (24). С. 205–213.

6. Золотарев В. В., Данилова Е. А. Управление информационной безопасностью : учеб. пособие. В 3 ч. Ч. 1. Анализ информационных рисков / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2010.

А. А. Ступина, А. В. Золотарев

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR SOLUTION OF AUTOMATISED SYSTEMS PROTECTION ESTIMATION PROBLEM

In the article the authors present comparative analysis of methods for solution of problem of estimation of protection of automated systems, their features, advantages, disadvantages and products developed on their basis.

Keywords: formal approach, classified approach, protection estimation.

© Ступина А. А., Золотарев А. В., 2012

ИСКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ БОЛЬШИЕ УНИПОТЕНТНЫЕ АБЕЛЕВЫ ПОДГРУППЫ ГРУПП ЛИЕВА ТИПА*

Пусть G – группа лиева типа над конечным полем K , U – ее унипотентная подгруппа. В связи с проблемой описания больших абелевых подгрупп группы U исключительного типа выявляются большие абелевы подгруппы групп U типа 2E_6 , не являющиеся G -сопряженными с нормальной подгруппой в U . Уточняются известные результаты о подгруппах Томпсона.

Ключевые слова: группа лиева типа, унипотентная подгруппа, большая абелева подгруппа.

В конечной группе для любого теоретико-группового свойства P всякую P -подгруппу наивысшего порядка называют *большой P -подгруппой*.

Вопрос описания больших абелевых подгрупп группы G лиева типа над конечным полем сводится к аналогичному вопросу для унипотентного радикала U подгруппы Бореля в G [1–4]. В 1970–1980-е гг. для классических типов изучено множество $A(U)$ больших абелевых подгрупп в U вместе с подмножествами $A_N(U)$ нормальных и $A_e(U)$ элементарных абелевых подгрупп в U и подгруппами Томпсона $J(U) = \langle A \mid A \in A(U) \rangle$ и $J_e(U) = \langle A \mid A \in A_e(U) \rangle$.

В [3] записана проблема 1.6: описать множества $A(U)$, $A_e(U)$, $A_N(U)$ и подгруппы Томпсона $J(U)$, $J_e(U)$ для оставшихся случаев G .

В [5–7] проблема описания $A(U)$ редуцирована к вопросу о том, что необходимо выявить группы U , в которых любая большая абелева подгруппа G -сопряжена с нормальной подгруппой в U , и перечислить исключительные большие абелевы подгруппы оставшихся групп U .

Существование и описание нормальных больших абелевых подгрупп в U установлены в [8–10], наряду с описанием максимальных нормальных абелевых подгрупп. Там же и в [11] доказано, что всякая большая абелева подгруппа унипотентной подгруппы U группы G лиева типа над конечным полем G -сопряжена с нормальной подгруппой в U или G есть группа типа $G_2, F_4, {}^3D_4$ либо 2E_6 .

В данной статье выявляются исключительные большие абелевы подгруппы групп U типа 2E_6 ; случай групп U типа F_4 см. в [12; 13].

Предварительные замечания. Группу Шевалле $\Phi(K)$ над полем K , ассоциированную с системой корней Φ , порождают корневые подгруппы $X_r = x_r(K)$, $r \in \Phi$. Скрученная группа ${}^m\Phi(K)$ типа ${}^m\Phi$ есть централизатор в $\Phi(K)$ скручивающего автоморфизма $\theta \in \text{Aut } \Phi(K)$ порядка $m = 2$ или 3 . Это

композиция графового автоморфизма τ и автоморфизма $\sigma: t \rightarrow \bar{t}$ ($t \in K$) основного поля, причем $\theta(X_r) = \tau(X_r) = X_{\bar{r}}$ ($r \in \Phi$) для естественного продолжения $\bar{}$ на Φ симметрии графа Кокстера порядка m [14; 15].

Для групп ${}^m\Phi(K)$ типа 2E_6 существует гомоморфизм ζ решетки корней системы Φ на решетку системы типа F_4 , причем корни r и s лежат в одной $\bar{}$ -орбите тогда и только тогда, когда $\zeta(r) = \zeta(s)$ (см. леммы 7, 8 [14] и замечание 13.3.8 [15]). Согласно предложению 13.6.4 [15], $\bar{}$ -орбита α любого корня $r \in \Phi$ однозначно определяет корневую подгруппу X_α скрученной группы.

Обозначая множество всех $\bar{}$ -орбит в Φ через ${}^m\Phi$, считаем, что ${}^m\Phi = \zeta(\Phi)$. База $\Pi(\Phi)$ системы корней Φ дает базу $\Pi({}^m\Phi) = \zeta(\Pi(\Phi))$ системы ${}^m\Phi$. Если $K_\sigma := \text{Ker}(1 - \sigma)$ – ядро преобразования $1 - \sigma$ поля K , то $X_\alpha = x_\alpha(K_\sigma) = x_q(K_\sigma)$ для орбит $\alpha = \{q\}$ длины 1; в остальных случаях $X_\alpha = x_\alpha(K)$.

Для системы $G = {}^m\Phi$ или $G = \Phi$ обозначим через G^+ множество положительных корней относительно фиксированной базы $\Pi = \Pi(G)$ в G , а через $UG(K)$ или U – унипотентную подгруппу $\langle X_r \mid r \in G^+ \rangle$ в ассоциированной с G группе $G(K)$ лиева типа над полем K [14; 15]. В этих работах рассмотрены мономиальная N и диагональная $H \triangleleft N$ подгруппы, разложение Бруа $G(K) = BNB$ с подгруппой Бореля $B = U \rtimes H$ и $B \cap N = H$.

При $G = \Phi$ фактор-группа N/H изоморфна группе Вейля W , порождаемой отражениями w_r ($r \in \Phi$), и для подходящих мономиальных элементов $n_r \in \langle X_r, X_{-r} \rangle$ определен гомоморфизм $n_r \rightarrow w_r$ ($r \in \Phi$) группы N в W с ядром H .

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 12-01-00968) и Министерства образования и науки Российской Федерации (тема 1.34.11).

В расширенной группе Шевалле K -характеру χ решетки корней (его значения на простых корнях можно выбирать произвольно) сопоставляют диагональный элемент $h(\chi)$, причем

$$h(\chi)x_r(t)h(\chi)^{-1} = x_r(\chi(r)t), \\ n_s x_r(t)n_s^{-1} = x_{w_s(r)}(\pm t) \quad (r, s \in \Phi).$$

Если $r = \sum_{\alpha \in \Pi} c_\alpha \alpha \in G$, то число $ht(r) = \sum_{\alpha \in \Pi} c_\alpha$ называют *высотой* r . Максимальный корень в G^+ обозначим через ρ . Числом Кокстера системы G называют число $h = h(G) := ht(\rho) + 1$; для $G = \Phi$. Стандартный центральный ряд в $U = UG(K)$ образуют следующие подгруппы [15]:

$$U_i = \langle X_r \mid r \in G^+, ht(r) \geq i \rangle, \\ 1 \leq i \leq h = h(G) \quad (G = \Phi \text{ или } G = {}^m\Phi).$$

Всякий элемент γ в U допускает единственное (каноническое) разложение в произведение корневых элементов $x_r(\gamma_r)$ ($r \in G^+$), расположенных соответственно произвольному упорядочению G (см. лемму 18 [14]). Коэффициент γ назовем *r -проекцией элемента γ* . Через $\Phi(x)$ для элемента γ в U обозначим, как и в [4], множество таких корней r , что $\gamma_r \neq 0$ в разложении $\gamma = \prod_{r \in \Phi^+} x_r(\gamma_r)$, где корни r выбраны в порядке возрастания.

Пусть $\{r\}^+$ – совокупность всех $s \in G^+$ с неотрицательными коэффициентами в разложении $s - r$ через базу $\Pi(G)$. Подмножество $\Psi \subseteq \Phi^+$ назовем *нормальным*, если $\{r\}^+ \subseteq \Psi$ для всех $r \in \Psi$. Полагаем

$$T(r) := \langle X_s \mid s \in \{r\}^+ \rangle, \\ Q(r) := \langle X_s \mid s \in \{r\}^+, s \neq r \rangle, \quad r \in G.$$

Если $H \subseteq T(r_1)T(r_2)\dots T(r_m)$ и любая замена $T(r_i)$ на $Q(r_i)$ нарушает включение, то тогда $L(H) = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ назовем *множеством углов в H* .

Зафиксируем регулярное упорядочение корней, согласованное с функцией высоты корней (см. лемму 5.3.1 [15]). Тогда первый угол элемента из U соответствует его первому сомножителю в каноническом разложении. Через $L_1(H)$ обозначим множество первых углов всех элементов из H .

Исключительные большие абелевы подгруппы и подгруппы Томсона групп U типа 2E_6 . В силу [12], в группе Шевалле G типа F_4 над полем K при $2K = K$ всякая большая абелева унитарная подгруппа A сопряжена в G с нормальной подгруппой в U и $L_1(A)$ описано леммой 2 [12], однако при $2K = 0$ это не так [13]. Докажем следующую теорему.

Теорема 1. В группе G типа 2E_6 над конечным полем $K = 2K$ существует большая абелева подгруппа

группы U , которая не является G -сопряженной с нормальной подгруппой в U .

Доказательство. Группу U порождают корневые подгруппы X_a , $a \in G^+$, где $X_a = x_a(K_\sigma)$ для орбит a длины 1 (класс первого типа); в остальных случаях $X_a = x_a(K)$. Скручивание системы корней типа E_6 приводит к системе типа F_4 (см. предварительные замечания). Поэтому считаем, что a пробегает систему Φ типа F_4 . Для краткости вместо записи $a\alpha_1 + b\alpha_2 + c\alpha_3 + d\alpha_4$, где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – простые корни системы типа F_4 , будем использовать запись $abcd$ [16].

Пусть A – большая абелева подгруппа группы $U = U^2E_6(K)$, $2K = K$. Согласно [8], группа U имеет единственную большую абелеву нормальную подгруппу $H = X_{0122}U_6$.

Рассмотрим подгруппу

$$X_{1111}(K_\sigma)X_{1121}(K_\sigma)X_{1221}(aK_\sigma)X_{1231}(bK_\sigma)T(0122) \\ (\bar{a} = -a, \bar{b} = -b). \quad (1)$$

Предположим, что подгруппа (1) сопряжена в группе G с подгруппой H , т. е. $gAg^{-1} = H$ для некоторого $g \in G$. Пусть B – подгруппа Бореля группы G , N – мономиальная подгруппа и n_w – фиксированный (произвольно) прообраз в N элемента w группы Вейля W при естественном гомоморфизме $N \mapsto W$. Известно [15], что

$$g = bn_w u, \quad b \in B, \quad u \in U_w^- = \langle X_r \mid r \in G^+, w(r) \in G^- \rangle,$$

причем элементы b , w , u определены однозначно. Тогда $(bn_w u)A(bn_w u)^{-1} = H$ или $n_w(uAu^{-1})n_w^{-1} = H$, при этом $L_1(uAu^{-1}) = L_1(A) = \{1111\}^+$. Множество $\{1111\}^+$ содержит четыре коротких корня, следовательно множество $\Phi(H) = \bigcup_{x \in H} \Phi(x)$ также должно содержать четыре коротких корня. Но $\Phi(H) = \{1221\}^+ \cup \{0122\}^+$ содержит три коротких корня.

Строение подгрупп Томпсона требует уточнения для типов $G_2, {}^3D_4, E_8$ [9–11], а также для типа 2E_6 , как показывает следующая теорема.

Теорема 2. Пусть U – унитарная подгруппа группы G типа 2E_6 над конечным полем K . Тогда $J(U) = J_e(U) = X_{\alpha_2}X_{\alpha_3}X_{\alpha_4}U_2$.

Построение больших абелевых подгрупп групп U использует известные понятия. А. И. Мальцев назвал подмножество $\Psi \subseteq \Phi^+$ *коммутативным*, если $r + s \notin \Phi$ для любых $r, s \in \Psi$ [1]. Описав наибольшие из таких подмножеств в Φ^+ , он применил их в описании коммутативных подалгебр наивысшей размерности в простых комплексных алгебрах Ли.

Лемма 1. Наибольшие коммутативные множества системы корней типа F_4 имеют порядок 9 и W -сопряжены с $\{0122\}^+ \cup \{1221\}^+$.

Подмножество $\Psi \subseteq \Phi^+$ Е. П. Вдовин называл абелевым относительно p , если для любых его корней r, s либо $r+s \in \Phi$ и структурная константа C_{11rs} коммутаторной формулы Шевалле равна нулю в характеристике p , либо $r+s \notin \Phi$ [4] (очевидно, это абелевы, как и в [1], множества корней, если $p > 3$ или в Φ все корни одной длины). Такие максимальные подмножества Ψ описаны компьютерными средствами в [4] для типа G_2 при $p = 2$ и 3, а также для типа F_4 при $p = 2$, где они дают максимальные абелевы подгруппы $X_\Psi = \langle X_r \mid r \in \Psi \rangle$.

Полученные в последнем случае 82 подмножества выписаны в табл. 3 [4] с обозначением $\Psi_{i,j}$, где i – номер строки; j – номер столбца. В частности,

$$\Psi_1 = \{0121\}^+, \Psi_2 = \{1111\}^+ \cup \{0122\}^+, \\ \Psi_3 = \{0011, 0111, 1111, 1231\} \cup \{0122\}^+$$

есть $\Psi_{2,12}, \Psi_{2,13}, \Psi_{6,10}$ соответственно. Из [4] несложно вытекает следующая лемма.

Лемма 2. Всякое максимальное абелево относительно 2 подмножество системы корней типа F_4 либо есть одно из множеств $\Psi_{1,j}, \Psi_{4,j}$ порядка 10 ($1 \leq j \leq 13$), либо W -сопряжено с одним из множеств $\Psi_i, \bar{\Psi}_i$ порядка 11 для $i = 1, 2$ или 3 (всего 28, 22 или 6 соответственно).

При $r, s, r+s \in \Phi^+$ выберем

$$x_r(F) \subseteq X_r, \quad x_s(V) \subseteq X_s, \quad F, V \subseteq K, \quad FV \neq \emptyset.$$

В [10] доказана следующая лемма.

Лемма 3. Если $[x_r(F), x_s(V)] \subseteq Q(r+s)$, то $r+s$ есть класс первого типа, r и s не являются классами первого типа и, с точностью до сопряжения диагональным автоморфизмом, $F \subseteq K_\sigma, V \subseteq K^{1-\sigma}$.

Положим $m(x) := L_1(x) \in \Phi^+$ при всех $x \in U$. Используя лемму 3 и табл. 3 [4], получим две следующие леммы.

Лемма 4. Пусть A – абелева подгруппа группы U типа 2E_6 . Тогда для любых ее неединичных элементов x, y множество $\{m(x), m(y)\}$ – абелево относительно 2, когда $m(x) + m(y) \in \Phi$, $m(x)$ -проекция всех элементов из A с первым углом $m(x)$ лежат в 1-мерном K_σ -модуле.

Лемма 5. Пусть A – большая абелева подгруппа в U , Ψ – максимальное абелево относительно 2 множество системы типа F_4 и $L_1(A) \subseteq \Psi$. Тогда:

а) подмножество $\{r_1, r_2, r_3\} \subseteq \Psi$ лежит в $L_1(A)$, если для всех $i \neq j$ имеем $r_i + r_j \in \Phi$ и $C_{11r_i r_j} = \pm 2$;

б) если $r+s \in \Phi$ для пары $\{r, s\}$ корней из Ψ , не входящей в тройки из п. «а», и $C_{11r,s} = \pm 2$, то r или s входит в $L_1(A)$;

в) если Ψ содержит корень r такой, что $(r+\Psi) \cap \Phi = \emptyset$, то $r \in L_1(A)$.

Аналогично, используя леммы 4, 5 и табл. 3 [4], получим следующую лемму.

Лемма 6. Максимальные абелевы относительно 2 подмножества Ψ , для которых существует большая абелева подгруппа A с условием $L_1(A) \subseteq \Psi$, W -сопряжены с Ψ_1 при $2K = 0$ и с Ψ_2 при $2K = K$. Кроме того, они исчерпываются множествами $\Psi_{2,9}, \Psi_{2,12}, \Psi_{3,1}, \Psi_{3,7}, \Psi_{3,12}, \Psi_{5,1}, \Psi_{5,3}, \Psi_{5,6}, \Psi_{5,8}, \Psi_{5,9}, \Psi_{5,13}, \Psi_{6,4}, \Psi_{6,11}, \Psi_{7,1}; \Psi_{2,10}, \Psi_{2,11}, \Psi_{2,13}, \Psi_{3,13}, \Psi_{5,2}, \Psi_{5,4}, \Psi_{5,5}, \Psi_{5,7}, \Psi_{6,7}, \Psi_{7,2}, \Psi_{7,3}$ соответственно.

Доказательство теоремы 2 вытекает из леммы 6 и табл. 3 [4].

Библиографические ссылки

1. Мальцев А. И. Коммутативные подалгебры полупростых алгебр Ли // Изв. АН СССР. Серия математическая. 1945. Т. 9, № 4. С. 291–300.
2. Barry M. J. J. Large Abelian Subgroups of Chevalley Groups // J. Austral. Math. Soc. Ser. A. 1979. Vol. 27, № 1. P. 59–87.
3. Кондратьев А. С. Подгруппы конечных групп Шевалле // Успехи мат. наук. 1986. Т. 41, № 1 (247). С. 57–96.
4. Вдовин Е. П. Большие абелевы унитарные подгруппы конечных групп Шевалле // Алгебра и логика. 2001. Т. 40, № 5. С. 523–544.
5. Gupta C. K., Levchuk V. M., Ushakov Yu. Yu. Hypercentral and Monic Automorphisms of Classical Algebras, Rings and Groups // J. of Siberian Federal Univ. Mathematics & Physics. 2008. Vol. 1, № 4. P. 280–290.
6. Levchuk V. M., Suleymanova G. S., Voitenko T. Yu. Some Questions for the Unipotent Subgroup of the Chevalley Group // Алгебра и ее приложения : тез. докл. Междунар. конф. / Сиб. федер. ун-т. Красноярск, 2007. С. 168–169.
7. Levchuk V. M., Suleimanova G. S. Automorphisms and Normal Structure of Unipotent Subgroups of Finitary Chevalley Groups // Proc. of the Steklov Inst. of Mathematics. 2009. № 3. P. 118–127.
8. Левчук В. М., Сулейманова Г. С. Нормальное строение унитарной подгруппы группы лиева типа и смежные вопросы // Докл. Рос. акад. наук. 2008. Т. 419, № 5. С. 595–598.
9. Левчук В. М., Сулейманова Г. С. Нормальное строение и экстремальные подгруппы в унитарной подгруппе групп лиева типа // Фундамент. и прикл. математика. 2011. Т. 17, № 10. С. 169–182.
10. Levchuk V. M., Suleimanova G. S. Extremal and Maximal Normal Abelian Subgroups of a Maximal

Unipotent Subgroup in Lie Type Groups // J. of Algebra. 2012. Vol. 349, № 1. P. 98–116.

11. Сулейманова Г. С. Сопряженность в конечной группе Шевалле типа E_8 больших абелевых унипотентных подгрупп // J. of Siberian Federal Univ. Mathematics & Physics. 2011. Vol. 4, № 4. P. 536–540.

12. Сулейманова Г. С. О сопряженности в группе Шевалле больших абелевых подгрупп унипотентной подгруппы // Фундамент. и прикл. математика. 2009. Т. 15, № 7. С. 205–216.

13. Сулейманова Г. С. Классы сопряженных в группе Шевалле типа F_4 больших абелевых подгрупп унипотентной подгруппы // Владикавказ. мат. журнал. 2011. Т. 13, вып. 2. С. 45–55.

14. Стейнберг Р. Лекции о группах Шевалле. М. : Мир, 1975.

15. Carter R. Simple Groups of Lie Type. New York : Wiley and Sons, 1972.

16. Бурбаки Н. Группы и алгебры Ли. М. : Мир, 1972.

G. S. Suleymanova

EXCEPTIONAL LARGE ABELIAN UNIPOTENT SUBGROUPS IN GROUPS OF LIE TYPE

Let G be a group of Lie type over a finite field K and let U be its unipotent subgroup. In the connection to the problem of description of large abelian subgroups in the group U of exceptional type, we discover large abelian subgroups in the group U of type 2E_6 , which are not G -adjoint to a normal subgroup in U . Some results on the Thompson subgroup are revised.

Keywords: group of Lie type, unipotent subgroup, large abelian subgroup.

© Сулейманова Г. С., 2012

УДК 681.34

Р. Ю. Царев, А. В. Штарик, Е. Н. Штарик, М. А. Кочергина, Т. А. Панфилова

АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ*

Представлено описание программного комплекса анализа вероятностно-временных характеристик отказоустойчивого программного обеспечения распределенных вычислительных систем с использованием ГЕРТ-сетей.

Ключевые слова: отказоустойчивое программное обеспечение, распределенные вычисления, ГЕРТ-сети.

На сегодняшний день распределенные вычислительные системы все чаще используются для решения управленческих, исследовательских и производственных задач. Одним из видов таких систем являются гетерогенные вычислительные системы высокой надежности для высокопроизводительных вычислений (системы обработки высокой пропускной способности), объединяющие в единую вычислительную среду гетерогенные вычислительные ресурсы (суперкомпьютеры, серверы, рабочие станции, локальные и глобальные сети с различной пропускной способностью, хранилища данных и пр.), благодаря чему создается единая среда обработки информации и распределенных вычислений.

Большинство исследовательских задач, решаемых в сфере гетерогенных вычислений, направлено на разработку системы поддержки параллельных или распределенных вычислений, стремящихся прибли-

зить практическую продолжительность работы (производительность, коэффициент ускорения) к теоретически возможной для данного кластера.

Постановка задачи. Использование суперкомпьютера или специализированного кластера невозможно или малоэффективно в таких случаях, когда алгоритм программы нельзя эффективно преобразовать из последовательного в параллельный, время выполнения задачи сравнимо со временем создания параллельного алгоритма [1] или требуется решать множество одинаковых задач с различными входными данными, при этом время выполнения каждой задачи в отдельности невелико (не превышает нескольких часов). Для таких задач возможна разработка гетерогенной распределенной вычислительной системы (РВС), использующей узлы с высокой надежностью и отказоустойчивостью.

*Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Эффективное использование подобных РВС связано:

- с разработкой моделей и методов анализа вероятностно-временных характеристик распределенных вычислительных систем с недетерминированным поведением ее вычислительных узлов;
- подготовкой рекомендации по эксплуатации распределенных гетерогенных вычислительных систем для обеспечения эффективного выполнения приоритетных задач обработки информации.

Среда проведения анализа вероятностно-временных характеристик отказоустойчивого программного обеспечения распределенных вычислительных систем. Для решения поставленных задач была разработана среда проведения анализа вероятностно-временных характеристик отказоустойчивого программного обеспечения распределенных вычислительных систем MGNetwork, созданная в среде разработки Delphi 6.0 с использованием следующих дополнительных библиотек:

- SimpleXML версии 1.0.1 (для работы с XML-документами);
- FatExpression версии 1.03 (для расчета произвольных математических выражений).

Среда MGNetwork на основе ГЕРТ-сети, описывающей отказоустойчивое программное обеспечение распределенных вычислительных систем и оформленной в XML-документе специального вида, позволяет:

- оценить характеристики и вещественные параметры ГЕРТ-сети [2]: вероятность выполнения стока сети, математическое ожидание и дисперсию времени выполнения всей сети или стока сети и т. д.;
- оценить агрегатные и стохастические параметры вещественных переменных оцениваемой системы: сумму, среднее, минимум, максимум, математическое ожидание и дисперсию;
- построить графики функций распределения и плотности распределения случайных величин (параметров оцениваемой системы);
- построить графики функций распределения и плотности распределения стохастических параметров ГЕРТ-сети;
- исследовать каждую реализацию отказоустойчивого программного обеспечения распределенных вычислительных систем и маршруты активации узлов;
- оценить параметры каждого узла: вероятность активации узла, математическое ожидание, дисперсию, распределения и плотности распределения стохастических параметров [3; 4].

Для использования продолжительности выполнения работ, заданных случайными величинами в сетях для метода критического пути (МКП) или ПЕРТ-сетях, был разработан и реализован алгоритм преобразования произвольной МКП-сети или ПЕРТ-сети в ГЕРТ-сеть.

Экспериментальная часть. Выполним сравнение результатов для работы двух узлов распределенной вычислительной системы Condor [5], полученных при помощи построенных моделей: узла 1 – компьютера,

размещенного в классе общего доступа; узла 2 – компьютера, размещенного в лаборантском кабинете класса (рис. 1–4, табл. 1).

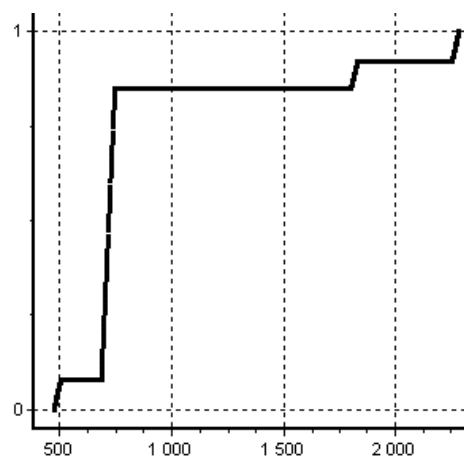


Рис. 1. Функция распределения времени доступности узла 1

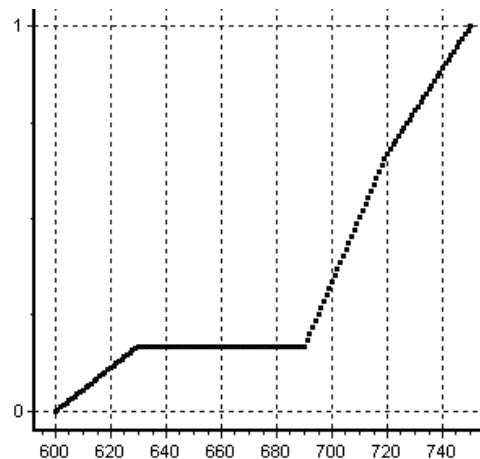


Рис. 2. Функция распределения времени недоступности узла 1

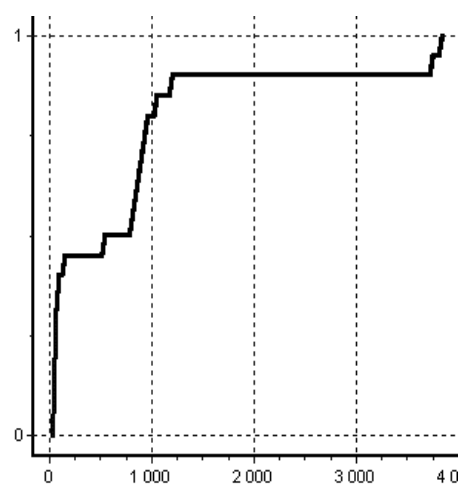


Рис. 3. Функция распределения времени доступности узла 2

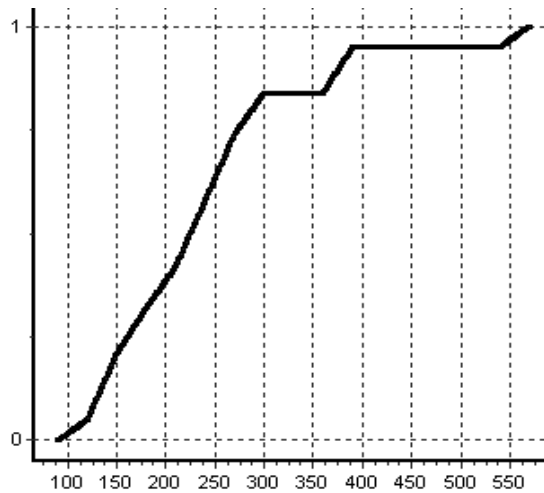


Рис. 4. Функция распределения времени недоступности узла 2

Эксперименты проводились на специально созданных задачах с продолжительностью выполнения 6 и 12 ч. Задачи запускались в режимах без резервного копирования (РК) и с резервным копированием каждые 2, 4 и 6 ч.

Результаты моделирования представлены в табл. 2 и на рис. 5–8, где использованы следующие обозначения: T_Z – время выполнения задачи, ч, на узле без сбоев и резервного копирования; T_R – интервал времени, ч, между выполнением резервных копий состояния задачи; T (результат моделирования работы узла) – случайная величина времени выполнения задачи на соответствующем узле при данной периодичности выполнения РК состояния задачи; $M(T)$, $\sigma(T)$ – математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение времени выполнения задачи на узле; $M(T) / T_Z$ – обратная величина ожидаемого коэффициента ускорения (коэффициента замедления).

Кривая 1 соответствует режиму запуска задачи без использования функции резервного копирования, кривые 2, 3 и 4 – режиму запуска задачи с выполнением резервных копий состояния системы каждые 2, 4 и 6 ч.

Протокол экспериментов приведен в табл. 3. Экспериментальная проверка проводилась не для всех режимов запуска задач, поскольку тогда общая продолжительность эксперимента составляла бы более трех месяцев.

Таблица 1

Параметры моделей функционирования узлов распределенной вычислительной системы

Параметр	Узел 1	Узел 2
Время миграции задачи, мин	10	10
Вероятность доступности узла в начале вычислений	0,583 6	0,778 2
Вероятность успешной миграции задачи с узла при необходимости	0,62	0,86

Таблица 2

Результаты оценки времени выполнения задачи на узлах распределенной вычислительной системы*

T_Z , ч	Узел	T_R , ч	$M(T)$, ч	$\sigma(T)$, ч	$M(T)/T_Z$
12	1	Без РК	48,689 05	36,203 350	4,057 421
12	1	2	27,320 15	4,320 533	2,276 679
12	1	4	27,053 92	5,215 10	2,254 493
12	1	6	27,862 77	7,435 95	2,321 897
12	2	Без РК	15,292 17	6,736 75	1,274 347
12	2	2	27,544 32	7,524 95	2,295 360
12	2	4	22,549 13	7,144 30	1,879 094
12	2	6	21,881 88	7,573 25	1,823 490
6	1	Без РК	15,292 17	6,736 75	2,548 694
6	1	2	15,456 65	4,184 433	2,576 108
6	1	4	15,235 48	4,260 417	2,539 247
6	2	Без РК	10,877 53	6,331 567	1,812 922
6	2	2	14,593 75	5,620 233	2,432 292
6	2	4	13,493 50	5,581 150	2,248 917

* Обозначения см. в тексте.



Рис. 5. Функции распределения времени выполнения задачи ($T_Z = 6$ ч) на узле 1 (обозначения см. в тексте)

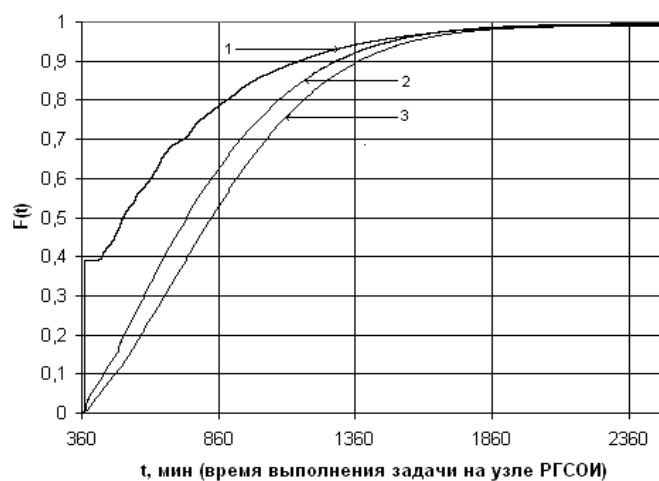


Рис. 6. Функции распределения времени выполнения задачи ($T_Z = 6$ ч) на узле 2 (обозначения см. в тексте)

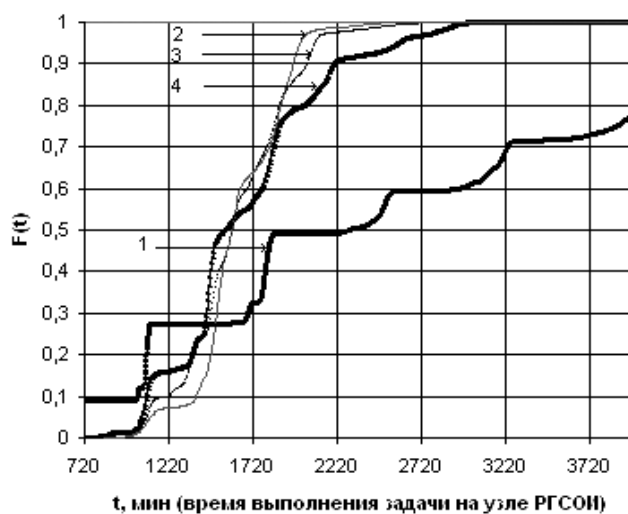


Рис. 7. Функции распределения времени выполнения задачи ($T_Z = 12$ ч) на узле 1 (обозначения см. в тексте)

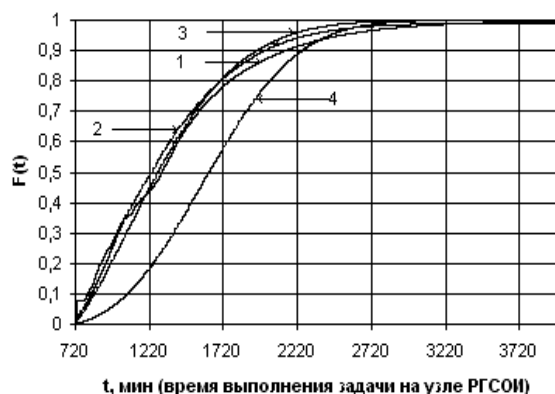


Рис. 8. Функции распределения времени выполнения задачи ($T_Z = 12$ ч) на узле 2 (обозначения см. в тексте)

Таблица 3

Протокол выполнения задач на распределенной вычислительной системе Condor

T_Z , ч	Узел	T_R , ч	№ эксперимента	T , ч
12	1	4	1	31,03
			2	33,53
			3	29,53
12	2	4	1	22,97
			2	31,98
			3	29,07
6	1	Без РК	1	12,07
			2	23,72
			3	11,50
6	1	2	1	12,10
			2	19,87
			3	20,03
6	1	4	1	18,83
			2	12,68
			3	14,30
6	2	Без РК	1	8,55
			2	13,53
			3	17,15
6	2	2	1	13,07
			2	20,17
			3	9,37
6	2	4	1	15,27
			2	20,88
			3	22,12

Полученные результаты не противоречат результатам моделирования. Однако небольшой объем выборки не позволяет использовать статистические методы проверки гипотезы ее соответствия аналитически построенному распределению.

Проведем анализ построенных функций распределения времени выполнения задач на узлах 1 и 2:

– для каждого узла и задачи существует такое значение периода выполнения резервного копирования, при котором среднее квадратичное отклонение времени выполнения задачи наименьшее;

– частое резервное копирование ведет к большим накладным расходам [6];

– желательно, чтобы математическое ожидание времени доступности узла было в два и более раз больше, чем периодичность выполнения резервного копирования;

– вероятность успешной миграции задачи с узла существенно повышает эффективность его работы. Увеличение этого параметра зависит от отказоустойчивости узла и сети передачи данных, объема передаваемых данных и поведения пользователя узла.

На основании графиков функций распределения времени выполнения задач на узле распределенной вычислительной системы (см. рис. 5–8) можно сделать следующие выводы:

- узел 2 не нуждается в частом резервном копировании при данной продолжительности решения задачи, тогда как узел 1 требует выполнения периодических резервных копий;
- для узлов 1 и 2 выполнение резервного копирования каждые 2 ч значительно увеличивает общую продолжительность решения задачи;
- уменьшение интервала резервного копирования для узлов уменьшает дисперсию времени выполнения задачи.

Построенные функции распределения времени выполнения задачи позволяют:

- прогнозировать время выполнения задачи для разных узлов РВС с допустимой вероятностью;
- ранжировать узлы по вероятности завершения выполнения задачи за определенное время;
- выбрать оптимальный интервал времени выполнения резервных копий;
- формировать рекомендации по написанию заявки на ресурсы РВС.

Используя эти функции, можно рассчитать величину, обратную коэффициенту ускорения для узла системы:

$$K_t = \frac{T_l}{T_K}, \quad K_e = \frac{K_t}{N}, \quad (1)$$

где T_l – время, необходимое для расчета задачи без использования РВС; T_K – время расчета задачи с использованием РВС; N – количество узлов системы обработки информации.

Функция распределения $F(y)$ случайной величины $y = K_t$ имеет вид

$$\begin{aligned} F(y) &= \int_{-\infty}^0 f_1(t_1) \int_{y_1}^{\infty} f_2(t_2) dt_2 dt_1 + \int_0^{\infty} f_1(t_1) \int_{-\infty}^{y_1} f_2(t_2) dt_2 dt_1 = \\ &= \int_{-\infty}^0 f_1(t_1)(1 - F_2(y_1)) dt_1 + \int_0^{\infty} f_1(t_1)F_2(y_1) dt_1, \end{aligned} \quad (2)$$

где f_1, f_2 – функции плотности распределения случайных величин T_k и T_1 ; F_1, F_2 – функции распределения случайных величин T_k и T_1 .

Для представленных выше моделей $T_1 = T_Z$ – положительная константа, а T_k задано функцией распределения $F_1(t)$, $y = K_t$ строго больше нуля. Тогда

$$\begin{aligned} F(y) &= \int_{-\infty}^{\min(0, T_1/y)} f_1(t_1) dt_1 + \int_{\max(0, T_1/y)}^{\infty} f_1(t_1) dt_1 = \\ &= F_1(\min(0, T_1/y)) + (1 - F_1(\max(0, T_1/y))) = \\ &= F_1(0) + 1 - F_1(T_1/y) = 1 + F_1(0) - F_1(T_Z/K_t). \end{aligned} \quad (3)$$

Пример функций распределения величины, обратной коэффициенту ускорения, приведен на рис. 9, где кривая 1 соответствует узлу 2, $T_Z = 6$ ч, без резервного копирования; кривая 2 – узлу 2, $T_Z = 12$ ч, без резервного копирования; кривая 3 – узлу 1, $T_Z = 12$ ч, резервное копирование с интервалом 4 ч; кривая 4 –

узлу 1, $T_Z = 6$ ч, резервное копирование с интервалом 4 ч.

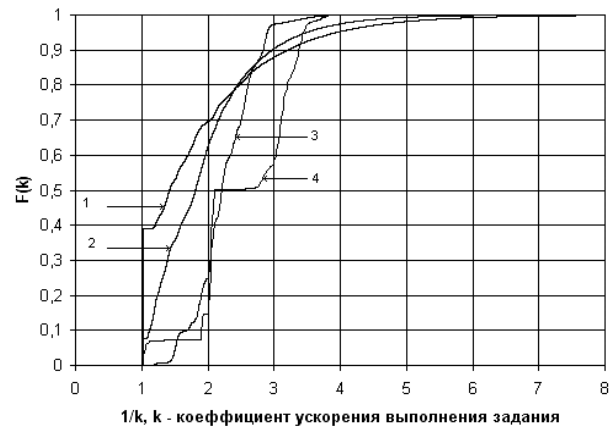


Рис. 9. Функция распределения случайной величины, обратной коэффициенту ускорения (обозначения см. в тексте)

Полученная функция распределения коэффициента $F(K_t)$, в отличие от $F_1(t)$, является относительной величиной, нормированной по времени выполнения задачи, которая при достаточно большом времени T_Z характеризует стохастическую эффективность работы системы.

Функции распределения коэффициента ускорения K_e и K_t совпадают, поскольку для данной архитектуры РВС $N = 1$. Эти функции позволяют проводить группировку узлов по фактической производительности и выполнять приоритетные задачи с приемлемой вероятностью получения результата к требуемому моменту времени.

Предложенный подход к анализу вероятностно-временных характеристик отказоустойчивого программного обеспечения распределенных вычислительных систем основан на использовании инструментальных средств в виде программной реализации моделей и методов анализа вероятностно-временных характеристик РВС с недетерминированным поведением вычислительных узлов.

Среда для проведения анализа вероятностно-временных характеристик отказоустойчивого программного обеспечения распределенных вычислительных систем позволяет выполнять расчеты ГЕРТ-сетей, используя прямой и обратный алгоритмы ГЕРТ-сети [7], прямую свертку; имеет открытый формат XML-документа, описывающий структуру сети, что дает возможность ее задания в любом текстовом редакторе и дальнейшего создания специализированного программного обеспечения согласно визуальному построению ГЕРТ-сети. Еще одним достоинством этой среды является трассировка реализаций отказоустойчивого программного обеспечения РВС и анализа результатов этой трассировки.

Библиографические ссылки

1. Ковалев П. В., Лайков А. Н., Гриценко С. Н. Определение надежности мультиверсионного программ-

ного обеспечения с использованием методов анализа сетей // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 1 (22). Ч. 2. С. 55–60.

2. Царев М. Ю., Царев Р. Ю., Шевчук С. Ф. Модификация ГЕРТ-сети для анализа временных характеристик сетевых моделей // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 1 (22). Ч. 2. С. 74–78.

3. Ковалев П. В., Капчинский И. А., Гриценко С. Н. Графоаналитический метод анализа мультиверсионных архитектур программного обеспечения // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 3 (24). С. 37–39.

4. Ковалев И. В., Письман Д. М., Слободин М. Ю. Модели оценки времени выполнения задачи на кластере с последовательной и параллельной архитекту-

рой обмена данными // Системы упр. и информ. технологии. 2005. № 3 (20). С. 58–62.

5. Condor Version 6.6.10 Manual [Electronic resource]. URL: <http://www.cs.wisc.edu/condor/manual/v6.6/> (date of visit: 10.10.2012).

6. К вопросу формирования мультиверсионного программного обеспечения с учетом ресурсных ограничений / П. В. Ковалев, И. А. Капчинский, А. Н. Лайков, С. Н. Гриценко // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 2 (23). С. 70–74.

7. Письман Д. М. Сравнение производительности прямого и обратного алгоритмов расчета модифицированной ГЕРТ-сети // Фундамент. исслед. 2006. № 2. С. 45–47.

R. Yu. Tsarev, A. V. Shtarik, E. N. Shtarik, M. A. Kochergina, T. A. Panfilova

ANALYSIS OF PROBABILISTIC AND INTERIM CHARACTERISTICS OF FAULT TOLERANT SOFTWARE OF DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEMS

The paper presents description of developed software system for analysis of probabilistic and interim characteristics of the fault tolerant software of distributed computing systems with the use of GERT-networks.

Keywords: fault tolerant software, distributed computing, GERT-network.

© Царев Р. Ю., Штарик А. В., Штарик Е. Н., Кочергина М. А., Панфилова Т. А., 2012

УДК 512.54

А. А. Шлепки

О ПОДГРУППАХ СВОБОДНОЙ ДВУПОРОЖДЕННОЙ БЕРНСАЙДОВОЙ ГРУППЫ ПЕРИОДА ПЯТЬ

Получены достаточные условия существования в $B(2, 5)$ двупорожденных подгрупп, не изоморфных $B(2, 5)$.

Ключевые слова: проблема Бернсайда, вычислительная теория групп.

Одной из известных проблем теории групп является проблема Бернсайда о периодических группах фиксированного периода [1]. Эта проблема была поставлена английским математиком У. Бернсайдом в 1902 г. в следующей форме: пусть G – группа, порожденная m элементами, в которой каждый элемент в степени n равен единичному элементу группы. Будет ли такая группа конечной? Впоследствии эти группы получили название *свободных бернсайдовых групп* и обозначение $B(m, n)$.

Перечислим известные к настоящему времени результаты по данным группам. Группа $B(m, n)$ конечна для $n = 2$ (тривиальный случай), $n = 3$ [1], $n = 4$ ($m = 2$) [1], для $m > 2$ [2], $n = 6$ [3]. Группа $B(m, n)$ бесконечна для нечетных $n > 665$ [4] и для достаточно больших четных n [5; 6].

В 1950 г. В. Магнусом была поставлена еще одна проблема, известная как *ослабленная проблема Бернсайда*. В ней требовалось выяснить, существует ли максимальная конечная периодическая группа $B_0(m, n)$ с данным числом порождающих элементов m и фиксированным периодом n . Связь ослабленной проблемы

Бернсайда с основной проблемой сводится к тому, что если бы не существовало бесконечных периодических групп, то $B(m, n)$ была бы максимальной конечной периодической группой при этих m и n .

Решение ослабленной проблемы Бернсайда для периода 5 приведено в [7]. Для других показателей, наименьший из которых $n = 5$, вопрос о конечности остается открытым.

Наибольший интерес представляют двупорожденная группа периода 5 (группа $B(2, 5)$), поскольку эта группа имеет наименьший показатель и наименьшее число порождающих элементов в сравнении с другими бернсайдовыми группами, конечность которых не определена. Отметим два вопроса о подгруппах группы $B(2, 5)$, поставленные Б. Б. Симсом [8], ответы на которые до настоящего времени не известны:

– *вопрос 1:* существуют ли в $B(2, 5)$ нециклические конечные подгруппы;

– *вопрос 2:* существуют ли в $B(2, 5)$, при условии ее бесконечности, бесконечная двупорожденная подгруппа периода 5, не изоморфная $B(2, 5)$?

В [8] приведенные ниже соотношения длины 30 были получены как необходимое условие существования в $B(2, 5)$ конечных нециклических подгрупп порядка 25. Однако сами эти подгруппы там не были указаны. А. А. Кузнецовым в теореме 11 [9] приведен ряд соотношений, минимальное из которых имеет длину 47, являющихся достаточными условиями существования в $B(2, 5)$ нециклических подгрупп порядка 25, причем для каждого из данных соотношений указана соответствующая группа.

Автором получено достаточное условие положительного ответа по крайней мере на один из упомяну-

тых выше двух вопросов. Обозначим через 0, 1 порождающие элементы $B(2, 5)$.

Положим $v = 01$, $w = 10$ и рассмотрим в $B(2, 5)$ подгруппу $H = \langle v, w \rangle$. В [10; 11] представлены все соотношения до длины 36 включительно, доказать которые в $B(2, 5)$ не удастся, а невыполнение любого из них влечет бесконечность $B(2, 5)$.

В табл. 1 приведены все соотношения из [10; 11], которые являются соотношениями в подгруппе H в образующих v, w (табл. 2), с сохранением нумерации указанных соотношений из [12].

Таблица 1

Порядковый номер соотношения в массиве [12]	Вид соотношения до замены $v = 01, w = 10$
<i>Длина 30: 2 соотношения</i>	
1	$011010010110010101100101101001 = 101010011001101010011001101010$
2	$010101100110010101100110010101 = 100101101001101010011010010110$
<i>Длина 32: 16 соотношений</i>	
22	$01010110011010100110100101100101 = 10010110010110100110010101100110$
23	$01011001011010011010100110010101 = 10011001010110011010010110010110$
25	$01011010010110011010011010011001 = 10010101101010010101100110100110$
26	$01100101100110101001010110101001 = 10011001011001011001101001011010$
27	$01100110100101101001011010011001 = 10011001011010010110100101100110$
28	$01100110100110100110010110100101 = 10011010011001010110101001010110$
29	$01101001100101101001011001101001 = 10010110011010010110100110010110$
30	$01101010010101101010011001011001 = 10100101101001100101100101100110$
33	$01100110100110011001011001101001 = 10011001011001101001011010010110$
34	$01101001100101100110011010011001 = 10010110100101101001100101100110$
36	$01011010011001101001100110100101 = 10010101101010010110101001010110$
42	$01100101101010010110101001011001 = 10100101100110010110011001011010$
44	$01100110100110010110100101101001 = 1001100101100110011001101001100110$
45	$01101001011010010110011010011001 = 10010110011010011001100101100110$
46	$01100110101001100101101001101001 = 10100110100101100101011001101010$
47	$01101001101001011001101010011001 = 10101001100101011001011010011010$
<i>Длина 34: 23 соотношения</i>	
223	$0110011010100110010110010110100110 = 1001011010011010010101100110101001$
225	$0101100110101001100110101001100101 = 1010100110010101100101011001101010$
228	$0110101001100101011010011010010110 = 1001101001011001011001101010011001$
232	$0101100101101001101010011010100110 = 1001101010011010010110100110100101$
233	$0101100110101001100110011010100110 = 1001101010011010011010100110010101$
234	$0101101001101001011010011010100110 = 1001101010011010100110100101100101$
235	$0101011001101010011010011010100110 = 1001101010011001100110101001100101$
248	$0110010101100110010101100110100101 = 1010100101011001101010011010100110$
249	$0110010101100101011001101010010101 = 1010010110011010100110011010100110$
250	$0110010101100101100101101001100101 = 1010011001011010011010011010100110$
251	$0101100110100101100101100101011001 = 1001101010011010011010010110011010$
252	$0101101001100101011001100101011001 = 1001101010011010100110010101101010$
253	$0101010110100110100101100101011001 = 1001101010011001011010011010011010$
254	$0101011010100110010101100101011001 = 1001101010011001101010011001011010$
266	$0101101001010110011001010110100101 = 1010010110101001100110101001011010$
274	$0110010101100101011001011010011010 = 1010010110010110100101100101011001$
276	$0110010101100101101001011001011010 = 1010011010010110010101100101011001$

Порядковый номер соотношения в массиве [12]	Вид соотношения до замены $v = 01, w = 10$
278	010110011001011001011001100101010 = 10101001011001100101011001100101
279	0101100110010101011001100101101010 = 1010010110011001011001011001100101
284	0110100101100101101010011001010110 = 1001100101011001101001101001011001
295	0110010110100110100110010101100110 = 1001010110011010100101100101101001
296	0101011001101010011010100110010101 = 1010011001010110011001010110011010
297	0110100101011010011010010101101001 = 1001010110100110011001101001010110
Длина 36: 48 соотношений	
1733	010101101001011001100101100101100110 = 100110010101011001100101101010010101
1734	010101101010010110011001010101100110 = 100110010110010110011001011010010101
1755	010110010110100101100101101010011001 = 101010011001100110101001101010011010
1757	011001011001101001011010010101011010 = 100110011001011001011001101010010101
1758	010101100101101001011001101010011001 = 1001011010010110100101100101011010
1764	011001101010011001011010010110010101 = 101001010101100101101001011010010110
1780	011001101010010110010110100101100101 = 101001101010011010100110011001101010
1781	010101101010011001011001011001100110 = 101001010101101001011010011001011001
1797	010101011010011010010110100101101001 = 101001011010011001010110011001010110
1798	010110010110010110011010100110011001 = 100101100101011001011010010110011010
1799	010110010110100101100101011001101010 = 101010011001010110010101100101101001
1801	011010010110010101100101011001101010 = 101010011001010110010110100101100101
1805	010101101001010110101001101010010101 = 101001010101101001011001100101100110
1806	010101101010011010100101011010010101 = 10011001011001100101101001010101010
1822	010101101001011010100110011010100101 = 101001010110011001010110100101101010
1823	010110101001100110101001011010010101 = 101010010110100101011001100101011010
1845	010101011001010110010101011001010110 = 100110100101011010100101011010011001
1846	010110100110011010011010010101101001 = 101001010110100110010101101001100110
1850	011001100101101010011001011010100101 = 100101101010010110010110011001011010
1853	010101011010011001011010011010011010 = 100110011010100110100101100101011001
1855	010110011010100110011001010110011010 = 100101011001101010010101100110101001
1856	010110011010100110011010010110010110 = 101001011001011010010101100110101001
1857	011001101010010110100101011010100101 = 101001010110101001011010010101100110
1859	011001011010011010011010100110010101 = 101010011001010110010110010110100110
1860	011010011010010110011001010110011010 = 100101011001101010010110100110100101
1861	011010011010010110011010010110010110 = 101001011001011010010110100110100101
1862	011010011010100110011001010110010110 = 100101011001011010010110100110101001
1891	010110101001011001101010010110011001 = 101001011001100101100101101010010110
1893	010101100110101001101001101001011001 = 100110100101100101100101011001101010
1894	010110100110100101101001011001011010 = 100101100101101001100101101001101001
1895	010110100110100101101010011001010110 = 101001100101011001100101101001101001
1896	010110101001010110100101101010011001 = 100110010101101001011010100101011010
1900	011001010110010110100110101001100110 = 101001101001101001011001101001010101
1901	011010100110010101101001011001011010 = 100101100101101001100110101001100101
1902	011010100110010101101010011001010110 = 101001100101011001100110101001100101
1903	011010100110100101101001011001010110 = 100101100101011001100110101001101001
1906	011001101001010110101001010110100110 = 100101011001010101100101011001010101
1907	011010010101101001101001100110100101 = 100110011010010101100110100101011010
1933	010101100110101001101001011010011010 = 100101101001101010011010100110010101
1934	010101100110101001101010011010010110 = 101001101001011010011010100110010101
1935	011001101010011001011001101010011001 = 100110101001100101010110011010100110
1936	011010011001101001011010011001101001 = 101001100110100101010110100110011010

Окончание табл. 1

Порядковый номер соотношения в массиве [12]	Вид соотношения до замены $v = 01, w = 10$
1981	010110100101101001011010100110100110 = 101001011010010110011010011010011001
1997	010101011001011010010110100101100101 = 101010011001101010011001011010010110
1998	010110101001101001101010010110101001 = 101001010101100101100101010110010110
2027	010101011001100101100101100110100101 = 100101100110101001010110101001101010
2035	010101011010010110011001011001100101 = 100101101010010110101001011001101010
2036	011010100101101010011010011010100101 = 100101100101010110010110010101011010

Таблица 2

[illegible]

[illegible]

Теорема. Пусть в $B(2, 5)$ выполнено хотя бы одно соотношение из табл. 1. Тогда в $B(2, 5)$ существуют двупорожденные подгруппы, не изоморфные $B(2, 5)$.

Доказательство. Если $B(2, 5)$ – конечная группа, то, как показано в [7], ее порядок равен 5^{34} и, следовательно, $B(2, 5)$ содержит нециклические конечные подгруппы. Пусть $B(2, 5)$ – бесконечная группа. Положим $v = 01$, $w = 10$ и рассмотрим в $B(2, 5)$ подгруппу $H = \langle v, w \rangle$. Тогда в H должно выполняться хотя бы одно соотношение из табл. 2.

Используя вычисления на основе алгоритма из [13], можно убедиться в том, что левая и правая части любого соотношения из табл. 2 инвариантны, т. е. не меняются, по применению к ним указанного алгоритма. Последнее означает, что в $B(2, 5)$ левая и правая части любого соотношения из табл. 2, поскольку их длины в терминах образующих v и w не превосходят 29, – это различные элементы указанной группы (см. теорему 2) [10]. Таким образом, подгруппа H не изоморфна $B(2, 5)$ и, следовательно, H – собственная подгруппа группы $B(2, 5)$. Если H – бесконечная группа, то утверждение теоремы выполнено.

Пусть теперь H – конечная группа. Покажем, что она отлична от циклической группы порядка 5. Предположим обратное. Тогда $H = \langle v, w \rangle = \langle v \rangle = \langle w \rangle$ – циклическая группа порядка 5. Рассмотрим в $B(2, 5)$ автоморфизм ϕ порядка 2, который на образующих 0, 1 действует следующим образом: $\phi(0) = 1$, $\phi(1) = 0$. Нетрудно видеть, что $\phi(v) = w$ и $\phi(w) = v$ и $\phi(H) = H$. Так как ϕ – нетривиальный автоморфизм порядка 2 группы H , то $\phi(x) = x^{-1} = x^4$. Следовательно, $v^4 = w$ и $01010101 = 10$. Домножив обе части последнего равенства слева на 01, получим $0101010101 = 0110 = e$, где e – единица группы H . Следовательно, $0^{-2} = 1^2$ и, как легко видеть, $01 = 10 = e$. Таким образом, $B(2, 5)$ – абелева, что невозможно.

Теорема доказана.

Таким образом, в данной статье с использованием вычислений на ЭВМ получен новый результат, дающий достаточные условия существования в группе $B(2, 5)$ двупорожденных подгрупп, не изоморфных $B(2, 5)$.

Библиографические ссылки

1. Burnside W. On an Unsettled Question in the Theory of Distinctions Groups // J. of Pure and Applied Mathematics. 1902. Vol. 33. P. 393–399.
2. Санов И. Н. Решение проблемы Бернсайда для периода 4 // Учен. зап. ЛГУ. Серия математическая. 1940. Т. 10. С. 166–170.
3. Hall M. Jr. Solution of the Burnside Problem for Exponent Six // Illinois J. of Mathematics. 1958. № 2. 764–786.
4. Адян С. И. Проблема Бернсайда и тождества в группах. М.: Наука, 1975.
5. Ivanov S. V. The Free Burnside Groups of Sufficiently Large Exponents // Intern. J. of Algebra and Computation. 1994. Vol. 4. P. 2.
6. Лысенко И. Г. Бесконечные бернсайдовы группы четного периода // Изв. Рос. акад. наук. Серия математическая. 1996. Т. 60. С. 4–5.
7. Кострикин А. И. Решение ослабленной проблемы Бернсайда для показателя 5 // Изв. АН СССР. Серия математическая. 1955. Т. 19, № 3. С. 233–244.
8. Sims B. B. The Knuth–Bendix Procedure for Strings as a Substitute for Coset Enumeration // J. of Symbolic Computation. 1991. Vol. 12. P. 438–442.
9. Кузнецов А. А. Комплекс алгоритмов компьютерного моделирования дискретных алгебраических систем: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Красноярск, 2009.
10. Кузнецов А. А., Шлепкин А. А. Сравнительный анализ бернсайдовых групп $B_0(2, 5)$ и $B(2, 5)$ // Тр. Ин-та математики и механики Урал. отд-ния Рос. акад. наук. 2010. Т. 2. С. 133–138.
11. Кузнецов А. А., Шлепкин А. А. О соотношениях в бернсайдовых группах $B(2, 5)$ и $B_0(m, n)$ // Мат. системы. 2011. Вып. 9. С. 95–148.
12. Арзуманян М. С. Симметричность в бернсайдовой группе $B_0(2, 5)$ // Мат. системы. 2011. Вып. 9. С. 3–85.
13. Кузнецов А. А., Шлепкин А. А. Сравнительный анализ соотношений бернсайдовых групп $B_0(2, 5)$ и $B(2, 5)$ // Тр. Ин-та математики и механики Урал. отд-ния Рос. акад. наук. 2009. Т. 15, № 2. С. 125–132.

A. A. Shlyopkin

ABOUT SUBGROUPS OF FREE BIN-INDUCED BURNSIDE GROUP OF THE PERIOD FIVE

The authors obtain and present sufficient conditions of existence of bin-induced subgroups of non-isomorphic $B(2,5)$ in $B(2,5)$.

Keywords: Burnside problem, computational group theory.



International Workshop on Mathematical Models and its Applications

Preface

The special issue of this VESTNIK is based on a selected subset of papers from the First International Workshop on Mathematical Models and its Applications (IWMMA 2012) held in Irkutsk, Russian Federation, in 2012. Original results in mathematical modeling for software- and hardware applications in various fields have been discussed among researchers and developers in the area. IWMMA 2012 has designated "Mathematical Models and its application in Spoken Dialogue Systems" as a special theme and has placed its focus on common issues of theories, applications, evaluation, limitations, general tools and techniques. The 2012 workshop program featured 12 scientific papers that were extended, revised and reviewed before publication in the VESTNIK.

In the following we provide an overview of the journal special issue contents. Ultes et al. introduce a conditioned Hidden Markov Model approach for statistical modeling of interaction quality in spoken dialogue systems. Zablotskaya et al. analyze language style matching of speakers yielding different verbal intelligence. Smeshko and Gasanova propose an algorithm to determine fuzzy clusters in a dataset without predefining the number of clusters beforehand. Semenkina and Semenkin evaluate a self-configuring genetic algorithm for an automatic integration of computational intelligence technique ensembles. Ryzhikov investigates a multi-agent approach for automatic speech recognition. Sergienko applies fuzzy classifier techniques for speaker identification. Sidorov et al. propose an evolutionary method for neural network design that does not require any expert knowledge and apply this method to the forecast of technical problems. Popov et al. investigate neural networks for noise suppression in information signals. Shabalov applies neuro-fuzzy systems for bank scoring problems. Semenkina demonstrates how ant colony optimization and genetic algorithms may be used to solve the traveling salesman problem. Akhmedova investigates the Particle Swarm Optimization algorithm in terms of efficiency. Finally, Ryzhikov reduces the linear dynamics identification problem to a global optimization task.

We are convinced that mathematicians, computer scientists, engineers, and others who work in the area of mathematical modeling, no matter if in academia or in industry, may find the journal papers interesting and useful to their own work. We would like to thank the many people who contributed one way or another to the IWMMA 2012 workshop and the papers review.

Wolfgang Minker, IWMMA'2012 steering committee co-chair

Alexander Schmitt, IWMMA'2012 steering committee member

UDC 519.6

Sh. A. Akhmedova

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM*

This article deals with investigation of the effectiveness of the Particle Swarm Optimization (PSO) [1] algorithm for solving constrained and unconstrained one- and multi-criteria optimization problems. Besides the investigations were conducted both the standard and the binary PSO. Also parallelized modifications of these algorithms were developed for multi-processor operations and two real-world problems were solved.

Keywords: standard and binary PSO, parallelism, multi-criterion.

PSO was originally developed for continuous valued spaces but many problems are, however, defined for discrete valued spaces where the domain of the variables is finite. Kennedy and Eberhart proposed a discrete binary version of PSO for binary problems [2]. They have adapted the PSO to search in binary spaces by applying a sigmoid transformation to the velocity component to squash the velocities into a range [0,1] and force the component values of the positions of the particles to be 0's or 1's. The sigmoid expression is given by: $s(v) = 1 / (1 + \exp(-v))$.

Two methods were used for solving constrained optimization problems [3]: the method of death penalties and the method of dynamic penalties. The method of death penalties is simple approach that just rejects infeasible solutions (solutions that doesn't meet the constraints) from the population. In the method of dynamic penalties individuals are evaluated at the each iteration by using penalty function. To evaluate the performance of PSO with these penalty methods were used different test problems [4]. Most of them were with real variables and convex accessible regions. It is established that standard and binary serial PSO as with the method of death penalties so and with the method of dynamic penalties are effective for solving such constrained problems. Besides, using PSO with dynamic penalties helps to find local extremum of function for a smaller number of computations. Binary PSO requires little particles and a large number of generations.

Then the algorithm was parallelized. PSO has parallelism as at the level of algorithm's work organization (populations and their elements interact with each other, "exchange" information) so at the level of its computer realization. Investigation of effectiveness of the serial PSO for test constrained and unconstrained optimization problems showed that solving some of them required a large number of particles and/or generations and therefore a large number of computations. Besides, increasing of the dimension had also led to increasing of the spent resources. Consequently, the time, which is necessary for finding the best solution for the problem, increased too. Then parallelized PSO was used for these test problems. The given approach consists in the setting a number of particles. After that particles are dividing

among the processors in a certain way. Thus populations generate on each processor and later calculations carry out for them. At each generation kernels exchange information. Namely, firstly at every step for every population we find best solutions. These best solutions are sent to the master processor and then they are compared between themselves. Thereby the best value of optimizable function is chosen for each generation, which is sent to every processor and maintained. These actions are repeated a specified number of times. So algorithm ends its work. Dependence of effectiveness of the algorithm from assignable computational resource was studied, that is dependence of effectiveness of the algorithm from the number of particles and the number of population's generations. After that effectiveness of the algorithm was compared depending on amount of processors. This means that the obtained for every problem results were fixed but number of processors was changed. So it was found that effectiveness of the parallelized PSO coincides with effectiveness of the serial PSO. Besides, reliability of the algorithm is irrespective of the quantity of processors (kernels). And also serial PSO worked slower than parallelized PSO as with real particles so with binary particles.

Also problems of multi-criterion optimization were considered. Theory of Pareto optimality was used for finding solutions for such problems, to wit PSO was used for approximate construction of Pareto set and Pareto front. Archive for storing non-dominated solutions was created. This archive was updated at the every iteration. While solving multi-criterion problems by using PSO cardinal problem is selection of global best position for particle. There are several ways to solve this problem, and one of them is σ -algorithm. K-dimensional vector $\sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_K)$ is named σ -parameter of i-th particle with coordinates x^i and defined as follows:

$$\sigma_i = \sigma(f(x^i)) = \frac{\left((f_1^2(x^i) - f_2^2(x^i))(f_2^2(x^i) - f_3^2(x^i)) \dots (f_K^2(x^i) - f_1^2(x^i)) \right)^T}{f_1^2(x^i) + f_2^2(x^i) + \dots + f_K^2(x^i)}.$$

*The study was supported by The Ministry of education and science of Russian Federation, project № 16.740.11.0742, 14.740.12.1341 and 11.519.11.4002.

Investigation of effectiveness of Particle Swarm Optimization algorithm was conducted by solving test constrained and unconstrained multi-criterion problems. The maximum number of particles, which could be stored in the archive of non-dominated solutions, was set up for algorithm's work. Number of particles in the archive was different for all problems. For solving constrained optimization problems was used method of the dynamic penalties. When finding solutions for problems archive filled partially. Researches showed that increasing of number of criterions leads increasing of algorithms' effectiveness. So, for example, archive of the non-dominated solutions was filled on the average on 20–30 % when constrained problems were solved by using standard PSO and also by using binary PSO. Advantage of the standard PSO was only in time that was spent for one program run. And again algorithms' results didn't differ significantly. Number of particles and generations was about the same as it was when unconstrained problems were solved. Solving one constrained problem, feature of which was that, there was no point from Pareto set in the feasible region, required notable increase in population size. And in the end points, that was obtained, were on the part of the boundary of feasible region, which was the closest to the Pareto

set. Results that were obtained by using both standard and binary PSO were almost the same.

After all the investigations conducted, two real-world problems were solved: problem of formation of optimal investment portfolio of the enterprise and problem of formation of optimal loan portfolio of the bank. Besides, first problem was solved as in one-criterion definition so in the multi-criterion definition.

References

1. Kennedy J., Eberhart R. Particle Swarm Optimization // Proceedings of IEEE Intern. Conf. on Neural Networks. IV. 1995. P. 1942–1948.
2. Kennedy J., Eberhart R. C. A discrete binary version of the particle swarm algorithm // Proceedings of the World Multiconf. on Systemics, Cybernetics and Informatics 1997. Piscataway, NJ. 1997. P. 4104–4109.
3. Eiben A. E., Smith J. E. Introduction to evolutionary computation. Springer, Berlin, 2003.
4. Electronic resource. URL: http://www-optima.amp.i.kyoto-u.ac.jp/member/student/hedar/Hedar_files/TestGO_files/Page422.htm.

III. А. Ахмедова

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАЙНОГО АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ

Проведены исследования эффективности стайного алгоритма оптимизации (PSO) с вещественными и бинарными частицами при решении задач условной и безусловной одно- и многокритериальной оптимизации. Разработаны также параллельные модификации обоих алгоритмов и решены две реальные практические задачи.

Ключевые слова: стандартная и бинарная, параллелизм, многокритериальность.

© Akhmedova Sh. A., 2012

UDC 519.8

E. A. Popov, M. E. Semenkina, L. V. Lipinskiy

EVOLUTIONARY ALGORITHM FOR AUTOMATIC GENERATION OF NEURAL NETWORK BASED NOISE SUPPRESSION SYSTEMS*

We propose using neural network technology to noise suppress in information signals. Neural networks are automatically generated and adjusted with an evolutionary algorithm. It is shown that the evolutionary algorithm provides a reliable noise suppress system.

Keywords: genetic algorithm, genetic programming algorithm, neural network, noise suppress system.

In the modern world, there are many sources and receivers of information signals, such as wired and wireless Internet, different access points, a huge range of radio waves, mobile sources, etc. All these sources are sensitive to various kinds of noises and disturbances that are associated with the signals mutual influence and the external factors influence that contributes to the mismatch of the transmission line, resonance phenomena, etc. [1].

The noise filters theoretical foundation is a spectral analysis, algorithmic basis is the fast Fourier transformation. Application of spectral analysis and classical filters requires careful adjustment of the parameters set, which makes it very difficult to implement the design automation of noise reduction systems. It results into necessity of finding new approaches. One of such approaches might be the use of intelligent information technologies intensively developing the last twenty years [2].

*The study was supported by The Ministry of education and science of Russian Federation, project № 16.740.11.0742, 14.740.12.1341 and 11.519.11.4002.

To date, there are several methods for noise reduction: shielding, grounding, signal filtration, noise reduction with adaptive filters, the signal wavelet analysis method, etc. All of them have limitations and some disadvantages (the requirement of a priori information about the signal or noise, the complex technology structure, expensive equipment, complex mathematical tools, the developers' high qualification, etc.).

Noise reduction system should be created to relax these restrictions and eliminate disadvantages, so that they will not require changes in the environment, a priori information about the signal or noise, expensive equipment, highly qualified developers and could be designed in an automated mode.

Evolutionary methods (EM) are able to search in a complex space where the solution is a hierarchical structure or a combinatorial circuit. It does not use a priori information about the optimized function that significantly expands the application field of such methods. Neural network models are another famous method of data mining. Neural networks (ANN) are able to process large data sets, are resistant to noise, adapting to the changing problem conditions. In this paper, we propose the use an evolutionary algorithm for automatically generating the neural network based noise suppression system.

The evolutionary algorithm automatically generating neural network based noise suppression system. The process of ANN models implementing and preparing for work consists of two main steps: neural networks structure selection (including activation functions threshold values adjustment) and tuning the neurons connections weight values. Moreover, neural network model can be adapted by adjusting the weights when new data would be received or problem conditions would be changed.

Researchers seek to implement minimal neural networks architecture. In this case, the network generalizing properties are higher, the result obtained is more predictable and less time is required for signal processing. We propose to use evolutionary algorithm to generate such neural networks, in which the structure of the neural network is configured by a genetic programming algorithm (GP), and the weights and activation functions thresholds are adjusted by genetic algorithm (GA) followed by a hill climbing method [3].

Neural network structure configuring. The terminal and functional sets should be defined to generate the neural network structure using genetic programming algorithm (GP). Neurons or neuron blocks interconnected in a certain way can be chosen as the terminal set in the problem of generating the neural network structure. Then the operators that combine these neurons and their blocks in the network will be included in a functional set. The chosen encoding method must satisfy two conditions: insularity and sufficiency.

The insularity condition requires that the admissible solutions would be obtained for any combination of functional and terminal elements. Two operators can be included in a functional set to satisfy these requirements,

operators such as the installation of the terminal elements in a single layer and link layers.

Sufficiency condition requires that the terminal and functional elements are sufficient for the task. A number of different activation functions and their combinations are included in the terminal set to satisfy this condition.

Weights and activation function threshold values optimization. In this paper, we use a genetic algorithm followed by local search method for weights optimization. Studies show that the GA focuses individuals in attraction areas of local extremum points on the first iterations. Local search is easier to produce with help of the conjugate gradient algorithm. This algorithm is comparable to the effectiveness of second-order methods while using the first order derivative. The derivative numerical calculation extends this coefficients optimization method application on the neural networks with arbitrary structure.

Results of the study. A complete investigation of all types of noise filtering problems formulations is not possible in one paper, therefore studies were carried out under following restrictions:

- the test signals are periodic harmonic signals;
- the test noise is a constant broadband noise (white noise);
- the signal spectral analysis method is taken as a basis for the implemented model.

After preliminary examination of existing intellectual information technologies, it has been established that the most appropriate technology for the initial research are artificial neural networks because of their ability to be automatically trained for solving the problem and to adapt to the external influences changes.

The software environment MATLAB[®] Neural Network Toolbox[™] was used for pre-adaptation neural network technology to the noise suppression problem.

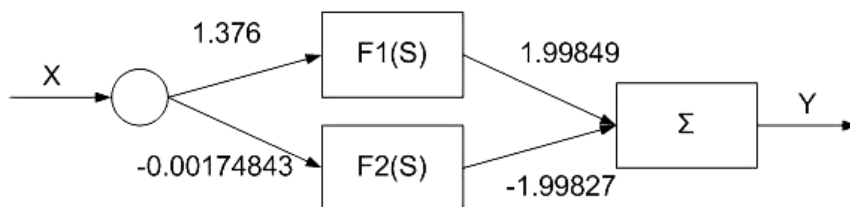
Input data for training the neural network is a noisy harmonic spectrum of a periodic test signal. Test signal is a sine wave with 100 Hz frequency and amplitude of 1. Noise is broadband constant noise with average power equal to 4.

Four neural network structures available in the Matlab were chosen for the comparative analysis based on the specific solved problem. The following structure neural networks have been the chosen: a cascading direct propagation network, an Elman network, a feedforward network with error back propagation; an autoregressive dynamically trained neural network.

The hidden layers number, number of neurons in the hidden layer, training function and the neurons activation function are varied for each structure. The comparison results are presented in Table 1. The most effective structures were selected on the basis of the analysis. They are shown in bold in Table 1. Elman network and the feedforward network with back error propagation can be regarded as the best performance options. At the same time the latter network has only half the training time and a simpler structure that is significantly in terms of practical implementation.

Neural networks performance comparison

Network	Hidden layers number	Neurons number	Average training time, second	Average variance	Average signal/noise ratio, dB	False positives alarms number
Cascading direct distribution network	3	10	1	0,0226	15,4	107
	2	10	1	0,0231	15,4	109
	1	10	1	0,0235	15,2	116
	3	15	1	0,0214	15,4	89
Elman network	3	10	13	0,0263	16	112
	2	10	4	0,0223	14,8	92
	1	10	2	0,0191	15,6	51
	1	10	3	0,0179	16,3	53
Feedforward network with back propagation error	3	10	1	0,5007	-0,02	1000
	2	10	1	0,0221	15,4	91
	1	10	1	0,0226	15,4	94
	1	5	1	0,0176	16,3	55
Autoregressive dynamically trained neural network	3	5	2	0,1821	9,2	451
	2	5	1	0,2285	9,3	449
	1	5	1	0,0555	9,9	446
	1	8	1	0,0193	15,9	62



The typical network structure

Therefore, we can assume that in our case direct distribution network with back propagation error must be considered as the best neural network that solves the noise suppression problem. Best Network has the following characteristics: 1 hidden layer, 5 neurons in the layer, bipolar sigmoid as activation function, the average training time is equal to one second, training error is equal to 0.01, the average signal/noise ratio is equal to 9,2 dB before training and 16,3 dB after training, the average variance of the processed signal is equal to 0.0179, the number of false positives alarms is equal to 55.

The following settings were chosen for the program system [4] generating neural networks with arbitrary structure using the genetic programming algorithm:

1. The running time was equal to 4 generations with 20 individuals.
2. Tournament selection with three individuals was selected.
3. The initial depth of the tree is equal three. The trees are growing with full growth method.

The experiments established that an efficient neural network successfully solving the noise suppression problem can be obtained after every run. The typical obtained structure is shown in Figure 1.

The neural network has the following characteristics: average signal/noise ratio is 9,2 dB (before processing), 19,8 dB (after processing), the processed signal average variance with respect to the standard is equal to 0.0163, the false positives alarms number (signal/noise ratio is

less than 10dB) reached 20. It can be concluded that the automatically generated network is the most effective because it has a very simple structure and the best results of signal processing.

3 Conclusions

In this paper we proposed an approach to solving the noise suppression problem based on the ANN, presented the neural network structure automatically generated with the help of the genetic programming algorithm, conducted the statistical analysis of the results and substantiated the practical application possibility of the noise suppression neural network based method in digital communication systems.

References

1. Sklar B. Digital Communications. The theoretical basis and practical application. Moscow : Dialectics, Williams, 2004.
2. Rutkovskaya D., Pilinsky M., Rutkowski L. Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems: Per. from Polish. Moscow : Goryachaya liniya - Telecom, 2004.
3. Semenkina M. E., Semekin E. S. The algorithm of genetic programming with the generalized operator of multiple recombination // Computer training programs and innovation. 2009. № 2. P. 20.
4. Lipinski L. V., Semekin E. S. The system for generating evolutionary neural network models for complex systems // Computer training programs and innovation. 2007. № 7. P. 15.

Е. А. Попов, М. Е. Семенкина, Л. В. Липинский

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ СИСТЕМ ПОДАВЛЕНИЯ ШУМА

Предлагается применять нейронные сети в качестве систем подавления шума в информационных сигналах. Нейронные сети создаются и настраиваются автоматически при помощи эволюционных алгоритмов. Показано, что нейронные сети являются надежным средством для подавления шума.

Ключевые слов: генетический алгоритм, алгоритм генетического программирования, нейронные сети, системы подавления шума.

© Popov E. A., Semenkina M. E., Lipinskiy L. V., 2012

UDC 005; 519.7; 303.732

I. S. Ryzhikov

ABOUT MULTIAGENT SYSTEM APPLICATIONS FOR SPEECH RECOGNITION PROBLEM*

In this paper we suggest two different multi agent systems for speech recognition problem. The multi agent systems (MAS) are becoming very popular because of their flexibility and applicability to complex problems. The system is based on functioning of different agents that forms the system and interacts with each other. The main profit of using multi agent approach is that every agent can be described as a simple subsystem and the whole initial task can be solved with automatic and autonomous agent actions, interactions and decision making. So the main problem can be reduced to behavior rule base tuning.

Keywords: multi agent systems, speech recognition, intelligent agents.

Due to the increasing tasks complexity nowadays it is a common task to choose and modify the one from the variety of classification, modeling and control cybernetic techniques. Since the problems are related to new applied fields with uncommon properties the modifications of methods for every distinct task or even seeking a new way to solve the problem become the main problem for the researcher. The speech recognition itself touches upon classification, optimization, modeling problems and many others; it means that success can be achieved via using the complex recognition system that deals with all the properties of every task and the main problem. There are some different ways to define the problem of speech recognition, different paradigms and theories already exist. Since the speech recognition problem complexity and dependence of the current language it was designed for there are still no any complete solutions for the general problem. Though there are plenty of different techniques to solve every occurred task that is related with speech recognition problem, the speech recognition system, actually, is not able to achieve the desired goals. The complex system consists of different parts and every on them requires a great amount of calculation resources to solve its own task with given accuracy. If the accuracy of the current step is not achieved, the error is going to increase with every following step and the output becomes far from the one it should be. The dependence of processing quality for every element in the system of the previous one's out-

put requires a lot of resources for every current task and the special modifications for every distinct technique for appearing task and every distinct properties of the problem. But also there is another way to solve the complex problem: to create the interaction between the different elements with different goals and make their real time communication be possible. The system that is based on interaction of different components with different goals in some cases can be the multi agent system.

That is why the MAS can satisfy the needs of the complex system since its agents can be intelligent, they can communicate and their goals are to find the solution of recognition task. The benefit of MAS usage consists of three aspects. Firstly, the interacting intelligent agents can be simple, rather simpler than the task they are to deal with. Only because of the interaction, the group of simple agents can automatically solve complex tasks. Secondly, if within the time new better techniques appear or problem definition changes we do not need to rebuild the system, we just need to change the related agent or build new agents for the new goals. Thirdly, no matter what approach of recognition we use, there would always be the task similar to every approach: noise suppressing, wave representation or modeling, classification and etc. In this paper we suggest to use MAS as a decision support system.

The using of MAS in speech recognition problem was described in general at [1] and [2], and for some specific tasks at [3].

*The study was supported by The Ministry of education and science of Russian Federation, project № 16.740.11.0742, 14.740.12.1341 and 11.519.11.4002.

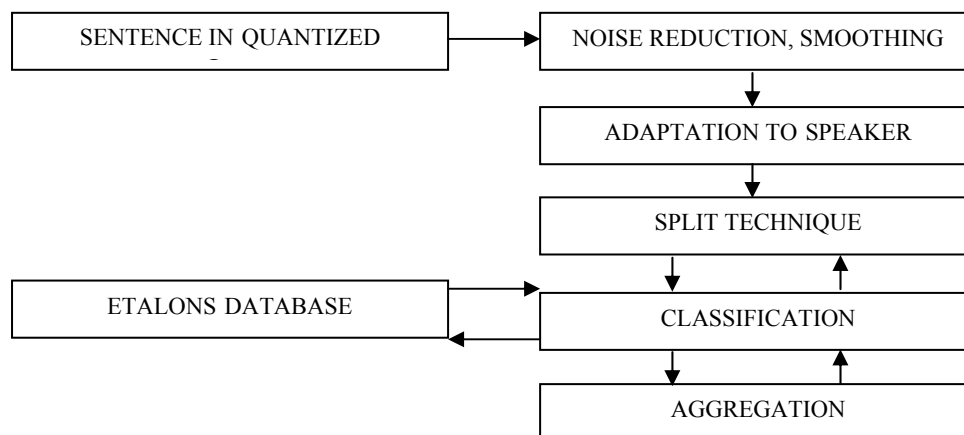


Fig. 1. The scheme of speech recognition

The main structure of the system itself depends on the researcher and problem definition, the basics of multi agent system theory is considered in [4; 5]. In [4] different types of intelligent agents are defined, due to given classification we would use only “model-based reflex agents” and “learning agents” in observing the probable structure of the speech recognition system.

Let the y be the quantized input from the entry device in a vector form. Without loss of generality let y be the digital form of a pronounced sentence. The first thing to do with input signal is to reduce or suppress the possible noise and have the new vector y' that is assumed to be the smoothed input. Then it is necessary to split the vector on different parts to make possible the recognition of every part. In case of give basis the parts should be words, syllables and vowels or consonants. It is clear, that noiseless signal of common well pronounced speech can be easily split into words. After that, we can classify the every part using the database of the examples. Example database consists of etalons: words, syllables and vowels or consonants and is set by the researcher. Then we will know that every part belongs to some class and can make aggregation in the form of meanings or speech and check if it would have any sense in the current situation.

The presented scheme fits only the ideal conditions: perfect speaker and environment, so the data is not distorted by any noise; and the case of superior database, which includes any of the possible examples with different speakers. It is clear, that the recognition task success depends on speaker. That means that if there is no database that would fit every speaker, there should be a process that adapts the system for every new speaker. The structure of this approach is given in Figure 1.

Let us describe the agents of MAS:

- noise suppressor. The noise suppressor agent’s goal is to reduce the level of noise. This agent receives the information y in a vector form. Here we can use the model that is built in form of Fourier series, neural network smoothing, filtering or the other smoothing techniques, such as median smoothing or nonparametric estimation of the measured input signal.

- classification agent. This agent uses the relation to the etalon database. Classification algorithm can be based on neural network classification, Bayes classification and

classification based on dynamic programming algorithm for speech recognition. Also, there are a lot of different classification techniques which can be used also. The main property of that agent is that the classification agent is a learning agent, so if the sentence is classified correctly, the y' parts form new etalons. The every set of new etalon models rebuilds the etalons set and increases the accuracy of classification problem.

- speaker agent. The adaptation to the speaker via the identification of speech characteristics. Its goal is to identify the parameters of speaker or satisfy the classification agent needs. The basically it should be related with identification of speaker’s characteristics.

- splitting agent. This agent goal is to split the input sentence in form of y' , so the different parts can be classified with the help of classification agent. It means that to estimate how good the identification with the current split was, the agent must receive information about classification results from the classification agent and its recommendations about how to split and follow the received recommendations to achieve the better results of classification itself.

- supervising agent. The special supervisor controls the recognition process in special cases; its goal is to control the agent community when they cannot succeed. Actually, it takes part in the process only when other agents cannot bring the success to the problem. This agent is a learning agent, that accumulates the decisions and points out what instructions and in what cases were successful staying the observer for the cases the system being working correctly.

Every agent follows its own rule base and can communicate with other agents, the only question is how we would make the structure of the interactions inside the system. The rule base and so the agent’s behavior can be described with fuzzy output system or, if it is necessary, with neural networks, which can be tuned with evolution-based global optimization algorithm or any other reliable global optimization technique.

The main agent that estimates how good the cooperative work was is the classification agent. Actually, if there is some needs to make an self-adaptation system there is a need to implement some special technique to identify was the system output correct. The main structure is the fol-

lowing: if the input part cannot be classified, it starts a dialogue with the splitting agent or noise suppressor to remake the parts so the system becomes more flexible. The main dialogue is supposed to be between classification agent and splitting agent with recommendations of the first one, that includes its hypothesis of what part is going better or worse. If there is still no success, agents give all the information to the supervisor, which is going to decide what to do: add some split points, change the classification agent or filter (if there are some different ones), rebuild the speaker agent output or make a decision to ask the speaker pronounce the sentence once again. Supervisor agent also collects the information about previous problems that appeared for this system and have the probabilities of which agent was the most effective in that situation.

The scheme of MAS for speech recognition problem is shown on Figure 2.

Agents of classification and noise reduction can be multiple, and the system includes the different noise reduction and classification agents can increase the efficiency of MAS, but there would be a special need for supervisor on every level, which would coordinate the agents and learn what agent or a combined solution of them is the most perspective. Also the interaction between the agents with the similar goals can be included in agents' properties, so that these relations must be included in agents' decision making base.

Also, there is a possibility to make other MAS only for split and classification tasks. If every agent is an etalon or a set of etalons: syllable, vowel or consonants and, as far as it is a part of the speech – a pause. Then agents could be in interaction between each other to fit every part

of received sentence. The degree of how the agent fits the current part can be defined with dynamic programming method [6], for example. It means that some agents would appear to check if they are similar to different parts of sentence or not. The only question is how to form the borders. They can increase or decrease their interval asking another agent to move forwards or backwards, relying on their own estimation of a sector and the estimation of their neighbours and check if there would be any success or any possibilities to reach it. Of course, there should be some kind of supervising system too, that would control the classification process and learn. Or the structure that forms the interaction between the agents must be adaptive and includes the special algorithm to avoid the looping.

So, for example, if the system is built on the vowels/consonants identification problem it will have the following agents:

- Vowel agents. These agents are representation of different vowels and have access to their own database of etalons. The input for the agent is the part of the quantized sentence and its goal is to fit this part.

- Consonant agents. These agents are representation of different consonants and also related to their own databases. Agents have the same goal and input as vowel agents.

Pause agent. This agent is the representation of pause or silence.

It seems to be useful to consider the decision making base for every agent for both of the systems as fuzzy network or fuzzy output system, which can be generated with global optimization techniques, or even simpler “if-else-then”-structured agents behavior base.

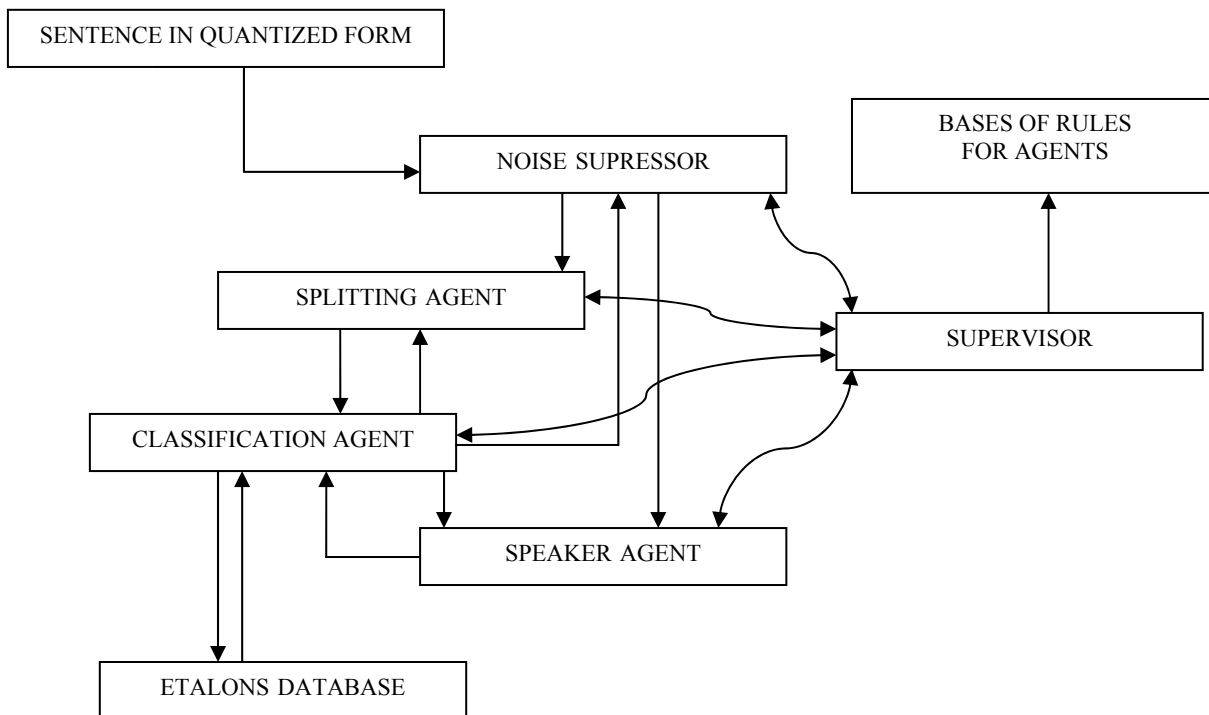


Fig. 2. Multi agent system in speech recognition

In future research the interaction of 3 different agents: splitting agent, speaker agent and classification agent would be tested. The given system can be extended to the system of speech and emotions recognition if we add some agents for emotions recognition. Also, some aggregation agents can be added to provide the relation between classification and complete meanings, if there is a special need that would appear for classification based on syllables and vowels or consonants. If the further investigation shows that dynamic programming method in classification of speech parts is fast enough and reliable then it should be a good alternative to complex classification technique for real-time speech recognition or play a special role in forming the classification algorithm for multi agent classification systems those were presented in the second part of the article.

It is also important to point out that the programming of MAS with its given properties are possible with using the one of the special programming software, which is available to free download and use all over the internet. What is also important to point out is that some platforms for MAS programming works on Java and on different devices, such as, for example, cellular phone.

All in all we should highlight that the speech recognition problem is the complex problem that requires a lot of different algorithms to carry out the different

tasks. These task, as it was pointed out earlier are also complex and the accuracy of every one's depends on the quality of the solution for the previous problem.

References

1. Walsh M., Kelly R., O'Hare G. M. P., Carson-Berndsen J., Abu-Amer T. A Multi-Agent Computational Linguistic Approach to Speech Recognition // IJCAI'03 Proceedings of the 18th Intern. joint Conf. on Artificial intelligence. 2003. P. 1477–1479.
2. Walsh M., O'Hare G. M. P., Carson-Berndsen, J. An agent-based framework for speech investigation // INTERSPEECH 2005. 2005. P. 2701–2704.
3. Taha M., Helmy T., Alez R. A. Multi-agent Based Arabic Speech Recognition // Proceedings of the 2007 IEEE/WIC/ACM Intern. Conf. on Web Intelligence and Intern. Conf. on Intelligent Agent Technology Workshops, Silicon Valley, CA, USA. 2007. P. 433–436.
4. Russell S. J., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 2nd ed. : Upper Saddle River. New Jersey : Prentice Hall, 2003.
5. Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems : John Wiley & Sons. 2002. P. 366.
6. Furtuna T. F. Dynamic Programming Algorithms in Speech Recognition // Informatica Economica. Vol. XII. Issue 2. 2008. P. 94–98.

И. С. Рыжиков

О ПРИМЕНЕНИИ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

Предлагаются две различных многоагентная системы для решения задачи распознавания речи. Многоагентные системы (МАС) становятся достаточно популярными благодаря их функциональности и применимости к решению сложных задач. В основе таких систем лежит функционирование каждого ее элемента – агента, и их активное взаимодействие. Основным преимуществом подобного подхода является возможность использовать в качестве агентов простые подсистемы, гораздо более простые, чем решаемая задача. Таким образом, решение задачи сводится к настройке взаимодействий между агентами.

Ключевые слова: многоагентные системы, распознавание речи, интеллектуальные агенты.

© Ryzhikov I. S., 2012

UDC 005; 519.7; 303.732

I. S. Ryzhikov

AUTOMATIC LINEAR DIFFERENTIAL EQUATION IDENTIFICATION IN ANALYTICAL FORM

In this paper we suggest a reduction of linear dynamics identification problem to the global optimization task. The current approach allows automatic determining the structure and parameters of a linear differential equation via the usage of the modified hybrid evolutionary algorithm for extremum seeking. The a priori information algorithm needed is only the dynamic system initial point or an estimation of the initial point and the sample of measurements: system output and, if there is one, system input.

Keywords: evolutionary strategies, identification, structure and parameters, differential equation.

There are many different approaches of linear differential equation parameters estimation. But since there is no a priori information about the system itself most of them become useless. For different tasks there are some special techniques that allow solving the problem. In this

paper we consider the situation when the data can be noised and the system structure is unknown. We can use, for example, stochastic difference equations [1], and build a model using the output observations. But there are some restrictions in using this approach: we still need the

information about the order of differential equation and we must observe the system output on the unit step function. To simply estimate the reaction of linear dynamic system on different control input or smooth the output data we can use nonparametric methods, neural network of fuzzy output modeling. Also, there is a possibility to estimate the solution of differential equation for current situation [2] via genetic programming. As for nonparametric or neural network approaches it is possible to define the system output for different control function using the Cauchy equation, but the system cannot be presented in an analytical form. As for genetic programming technique we still have a possibility to find the output for different control, but since then, it can be found numerically. Moreover, the models are very complex and the analytical solution for estimation of differential equation seems to be very long and have a superior size. Here we suggest seeking the model in differential equation form. The benefits are the following: it would be easy to estimate the system output numerically for any control function with any desired precision, in some cases it would be easy to define an analytical solution via eigenvalues evaluation, and there are plenty of control methods and analysis techniques for the models in differential equation form.

In article [3] the dynamic system approximation with second order linear differential equation via genetic algorithm is examined. The genetic algorithm is well known as effective global optimization technique. The only problem with it is that seeking works on a compact with given borders and the real values ought to be quantized. In this paper we suggest to use an evolutionary strategies algorithm with local optimization and some modifications to approximate not only the parameters, but also the structure of an ordinary differential equation (ODE).

Linear differential equations models are useful in filtering, in articulatory identification [4] and [5] – for stochastic ODE that can be identified in the same way. With some modifications, this method can be used for Bessel equations identification. It is also applicable to Markov processes [6] as a stochastic ODE too. That is why the linear differential equation identification can be useful in some fields related to speech recognition problem.

Let us have a sample $\{y_i, u_i, t_i\}, i = \overline{1, s}$, where s is its size, $y_i \in R$ are dynamic system output measurements at t_i , and $u_i = u(t_i)$ are control measurements. It is also known, that the system is linear and dynamic, so it can be described with the ordinary differential equation (ODE):

$$a_k \cdot x^{(k)} + a_{k-1} \cdot x^{(k-1)} + \dots + a_0 \cdot x = b \cdot u(t), \quad x(0) = x_0. \quad (1)$$

Here x_0 is supposed to be known. In the case of the transition observation, we can put forward a hypothesis about initial point: the system output is known at initial time and the derivative values can be set to zero, because usually the system observation starts in its steady state. In general, the initial point can be approximated. Using the sample data we need to identify parameters and the system order m , which is assumed to be limited, so $m \leq M, M \in N$. M is a parameter that is set by the

researcher. This value limits the structure of the differential equation, i.e., it limits the ODE order. It is also assumed that there is an additive noise $\xi: E(\xi) = 0, D(\xi) < \infty$, that affects the output measurements:

$$y_i = x(t_i) + \xi_i. \quad (2)$$

Without information on the system order, we would not be able to solve the identification task, but because of the maximum order limitation, the task can be partially parameterized. The maximum order is supposed to be chosen a priori. It would specify the optimization problem space dimension.

Without loss of the generality, let the leading coefficient of ODE be the constant equal to 1, so that

$$x^{(k)} + \frac{a_{k-1}}{a_k} \cdot x^{(k-1)} + \dots + \frac{a_0}{a_k} \cdot x = \frac{b}{a_k} \cdot u(t), \quad (3)$$

or

$$x^{(k)} + \tilde{a}_k \cdot x^{(k-1)} + \dots + \tilde{a}_1 \cdot x = \tilde{b} \cdot u(t). \quad (4)$$

Then we can seek the solution of the identification task as a linear differential equation with the order m ,

$$\hat{x}^{(m)} + \hat{a}_m \cdot \hat{x}^{(m-1)} + \dots + \hat{a}_1 \cdot \hat{x} = \hat{b} \cdot u(t), \quad \hat{x}(0) = x_0, \quad (5)$$

where the vector of equation parameters

$$\hat{a} = (0, \dots, 0, \hat{a}_m, \dots, \hat{a}_1, \hat{a}_0) \in R^n, \quad n = M + 1,$$

delivers an extremum to the functional

$$I(a) = \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{x}(t_i)| \rightarrow \min_{a \in R^n}. \quad (6)$$

In general case, the solution $\hat{x}(t)$ is evaluated with a numerical integration method, because the control function has no analytical form, rather is given algorithmically. We prefer the criterion (6) instead of quadratic criteria because of its robustness. For the correct numerical scheme realization, let us have a coefficient restriction for equation (3), $|a_k| > 0.05$. Otherwise, this parameter is going to be equal to zero, so $a_k = 0, m = m - 1$. That condition prevents extra computational efforts of the numerical evaluation scheme and is necessary for the local optimization algorithm effecting on the system structure.

Now let us consider the specific modelling issue. The identification of linear differential equations system is connected with the optimization problem for the system of equations:

$$a_{k_i}^i \cdot x_i^{(k)} + \dots + a_0^i \cdot x_i = \sum_{j=1}^{n_o} b_j^i \cdot x_j + b_0^i \cdot u_i(t), \quad (7)$$

where $x_i, i = \overline{1, n_o}$, is an observed system output; n_o is the number of outputs.

Equation (7) shows that the system is considered not in general way and every system output depends on other

outputs but not on their derivatives. Also, there is only one control input for every equation. This can be easily extended to the case with many control inputs.

The identification problem for the system with equation (7) is important and an ability to solve it could be useful. And it is clear, that the functional (6) can be transformed into the functional

$$I(a) = \sum_{j=1}^{n_0} \sum_{i=1}^N \left| y_i^j - \hat{x}_j(t_i) \right| \Big|_{\hat{a}=a} \rightarrow \min_a \quad (8)$$

for system (7). The criterion can easily be extended to matrix form of differential equation.

The reason why the basics of optimization technique was borrowed from evolutionary strategies algorithm [7] is that the identification problem leads to solving the multimodal optimization task. The goal of the given approach is the identification of the parameters and the structure simultaneously. The system structure and its parameters are defined with one vector. The criteria (6) and (8) for this vector is complex and sensitive to the its components, which are changing by stochastic search operators. This is why we have to develop the specific modification for the global optimization technique.

Let every individual be represented with tuple

$$H_i = \langle op^i, sp^i, fitness(op^i) \rangle, i = \overline{1, N_I},$$

where $op_j^i \in R, j = \overline{1, k}$, is the set of objective parameters of the differential equation; $sp_j^i \in R^+, j = \overline{1, k}$, is the set of strategic parameters; N_I is the population size;

$$fitness(x): R^k \rightarrow (0, 1], fitness(x) = \frac{1}{1 + I(x)}$$

is the fitness function.

As the selection types, proportional, rank-based and tournament-based selections were chosen. The algorithm produces one offspring from two parents and every next population have the same size as previous. Recombination types are intermediate and discrete. The mutation of every offspring's gene happens with the chosen probability p_m . If we have the random value $z = \{0, 1\}$, $P(z = 1) = p_m$ which is generated for every current objective gene and its strategic parameter then

$$op_i^{offspring} = op_i^{offspring} + z \cdot N(0, sp_i^{offspring});$$

$$sp_i^{offspring} = \left| sp_i^{offspring} + z \cdot N(0, 1) \right|,$$

where $N(m, \sigma^2)$ is the normally distributed random value with the mean m and the variance σ^2 .

We suggest a new operation that could increase the efficiency of the given algorithm. For every individual, the real value is rounded down to the nearest integer. This provides searching for solutions with near the same structure.

Also for N_1 randomly chosen individuals and for N_2 randomly chosen objective chromosomes we make N_3 iterations of local search with the step h_l to determine the

better solution. This is the random coordinate-wise optimization.

To make an investigation 100 systems were generated: 10 for every order from first to tenth. Parameters of the systems were randomly generated: $\hat{a}_k^i = U(-5, 5)$, $\hat{b}_k^i = U(-5, 5)$, $i = \overline{1, 10}$, $k = \overline{1, i}$ where $U(-5, 5)$ is the uniform distribution. The time of the process was set to 5. The control function was the step function and we know what was the control for every system, so $u(t) = 1$. Let $\{x_i, t_i\}, i = \overline{1, T/h_i}$ be the numerical solution for the system. We take $s < T/h_i, s = 100$ points randomly. For every system 10 runs of the algorithm were executed with every combination of its parameters. To estimate the efficiency of different approaches we considered the identification without any noise.

Having different types of the selection and the crossover, we would also vary the probability

$$p_m \in \left\{ \frac{1}{11}, \frac{5}{11}, \frac{1}{5}, 1 \right\}$$

to find out the most effective combination of the algorithm settings. As a pre-set we use the population size in 50, the number of populations in 50, $N_1 = 50$, $N_2 = 50$ and $N_3 = 1$ with $h_l = 0.05$.

We compared the efficiency of following algorithms: 1 – the evolutionary strategies (ES) algorithm; 2 – ES with the local optimization, hybrid evolutionary strategies (HES); 3 – HES with modified mutation; 4 – HES with turning real numbers into integer numbers; 5 – HES with modified mutation and turning real numbers to integer ones.

After testing the algorithms on different samples of the systems, the efficient presets were found: modified HES algorithm with turning the real numbers to integer ones, 50 individuals for 50 populations, $N_1 = 50$, $N_2 = 50$ and $N_3 = 1$ with $h_l = 0.05$, the tournament selection with the tournament size 25 %, the discrete crossover and the mutation with the probability $p_m = \frac{5}{11}$.

For the proper structure and parameters determination we need an adequate sample that reflects all the transient process. Let us take some stable systems that come into the steady state in time $T = 5$. In Table 1 we would make an efficiency investigation for the modified HES algorithm. 20 runs of the algorithm were made for every system. We will say that the algorithm determines the structure and parameters if $\max(\hat{a} - a) < 0.05$.

As we can see from Table 1, the high value of fitness does not guarantee the success in identification the real structure. Let us highlight that for the most of solutions found from this study for stable systems, the order was found correctly.

Let us describe the identification problem for hexadecane chemical reaction. The disintegration of the hexadecane gives the following products: the spirits and carbonyl compounds. The initial point is known. There is no control input in this identification problem. We set the

maximum order for the first equation to 10. The 50 runs of the algorithm gave us some different solutions that are shown in Table 2.

Table 1

The efficiency of "true" parameters estimation

Order	$\hat{p}(\max(\hat{a} - a) < 0.05)$	Fitness
1	0,65	0,9593
2	0,95	0,9979
3	0,90	0,9977
4	0,95	1,0000
5	0,80	0,9961

Table 2

The hexadecane disintegration model

Models and the error (I)
$4.05 \cdot x' + 0.9 \cdot x = 1, I = 0.3022$
$1.05 \cdot x' + 0.4 \cdot x = 1, I = 0.2834$
$2.1 \cdot x' + 0.55 \cdot x = 1, I = 0.1822$
$-1.05 \cdot x''' - 0.15 \cdot x'' - 6.85 \cdot x' - 0.9 \cdot x = 1, I = 0.227$
$-3.4 \cdot x' - 0.45 \cdot x = 0, I = 0.202$

As we can see, the found parameters and system structure forms the first order differential equation, and that fact does not contradict the hypothesis [8], which states that disintegration chemical reactions can be presented as first order linear differential equation.

Knowing the structure of the equations we can identify the system itself in a matrix form. The given optimization procedure is a stochastic algorithm, that is why the best solution from the 20 runs was taken. The system outputs and the sample are shown on figure 1 for hexadecane, spirits and carbonyl compounds. As we can see on figures, the measurement at the point $t = 7$ seems to be an abnormal measurement, but it did not effect on the model.

The solution for the system can be represented in the matrix form

$$A = \begin{pmatrix} -0.1671 & 0.7630 & -0.3625 \\ 0.0413 & -0.3428 & 0.1150 \\ 0.0026 & 0.4050 & -0.3270 \end{pmatrix},$$

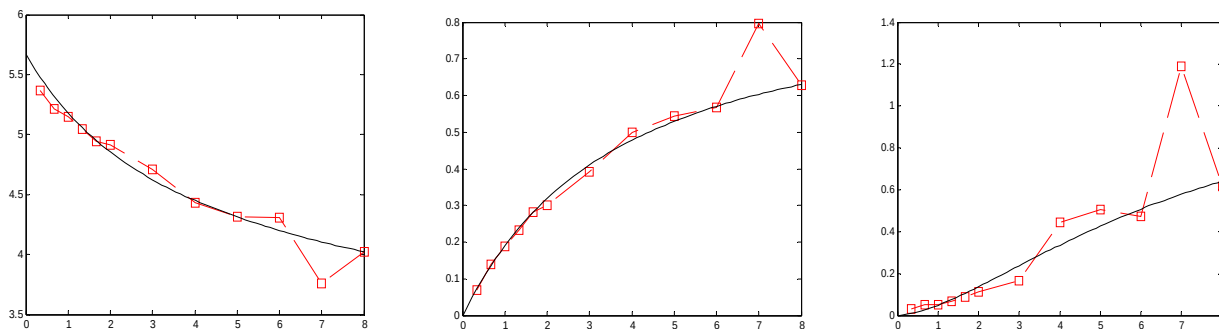


Fig. 1. Hexadecane, spirits and carbonyl compounds concentration measurements and model output, respectively

$$B = \begin{pmatrix} 0.3477 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Modifications of evolutionary strategies algorithm increase the accuracy of model and allow solving two tasks at the same time. The further investigation should be concentrated on the estimation of the performance of algorithm with the different local optimization and mutation parameters. Also, differential equation algorithm or partial swarm optimization are to be tested as basic optimization procedure.

References

1. Zoteev V. Parametrical identification of linear dynamical system on the basis of stochastic difference equations // *Matem. Mod.* 2008. Vol. 20. No 9. P. 120–128.
2. Evolutionary modeling of systems of ordinary differential equations with genetic programming / H. Cao, L. Kang, Y. Chen, J. Yu // *Genetic Programming and Evolvable Machines*. Vol. 1 (40). 2000. P. 309–337.
3. Parmar G., Prasad R., Mukherjee S. Order reduction of linear dynamic systems using stability equation method and GA // *International J. of computer and Information Engineering*. 1:1, 2007.
4. Reimer M., Rudzicz F. Identifying articulatory goals from kinematic data using principal differential analysis // *Proceedings of Interspeech 2010, Makuhari Japan*. 2010. P. 1608–1611.
5. Mineiro P., Movell J. R., Williams R. J. Modeling path distributions using partially observable diffusion networks: a Monte-Carlo approach //
6. Saerens M. Viterbi algorithm for acoustic vectors generated by a linear stochastic differential equation // *Proceedings of the IEEE Intern. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Detroit, 1995. P. 233–236.
7. Schwefel Hans-Paul *Evolution and Optimum Seeking* : New York : Wiley & Sons., 1995.
8. Romanovskii B.V. *The foundations of the chemical kinetics*. Moscow : Ekzamen, 1996.

И. С. Рыжиков

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В АНАЛИТИЧЕСКОМ ВИДЕ

Рассматривается сведение задачи идентификация линейных динамических систем к задаче поиска глобального оптимума. Рассматривается подход, который позволяет автоматически определять структуру и параметры линейного дифференциального уравнения через решение оптимизационной задачи с помощью модифицированного гибридного метода эволюционных стратегий. Располагая априорной информацией такой, как вектор начальных состояний системы или его оценка, выборка измерений выхода динамической системы и входная характеристика.

Ключевые слова: эволюционные стратегии, идентификация, структура и параметры, дифференциальное уравнение.

© Ryzhikov I. S., 2012

UDK 519.8

E. S. Semenkin, M. E. Semenkina

INTEGRATION OF INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGIES ENSEMBLES WITH SELF-CONFIGURING GENETIC PROGRAMMING ALGORITHM*

Self-configuring genetic programming algorithm with the modified uniform crossover operator, that realizes a selective pressure on the recombination stage, is used for the automated integration of the computational intelligence technique ensembles. Ensemble members are the symbolic regression formulas, the artificial neural networks or their combination. They are also designed automatically with the self-configuring genetic programming algorithm. The comparative analysis of the approach performance is given on the benchmark and real world problems.

Keywords: Genetic programming, self-configuration, neural networks, symbolic regression, ensembles, automated design, classification problems.

For many real world problems we can observe the following situation. There is a big data base of the results of the complex system behavior observations but appropriate model of this system is not yet clear. Here we can use intelligent information technologies (IIT) to obtain the first stage model within short time in order to simulate the system and learn its properties that gives us a possibility to develop a full profile model of the system. However, the design of IIT can also be a problem.

Currently, intelligent systems have got wide propagation in various fields of human activity connected with complex systems modeling and optimization. Artificial neural networks [25], fuzzy logic [31], symbolic regression [18], evolutionary algorithms [8] and other techniques and technologies are the popular tools for the system investigation due to their capability to solve complex intelligent problems that are difficult for the classic techniques [17].

The highly increasing computing power and technology made possible the use of more complex intelligent architectures, taking advantage of more than one intelligent technique in a collaborative way. This is an effective combination of intelligent techniques that outperform or compete to simple standard intelligent techniques.

One of the hybridization forms, the ensemble technique, has been applied in many real world problems. It has been observed that the diversity of members, making up a committee, plays an important role in the ensemble approach [5].

Different techniques have been proposed for maintaining the diversity among members by running on the different feature sets [14] or training sets (e. g. bagging [1] and boosting [11]).

Some techniques, such as neural networks, can be run on the same feature and training sets producing the diversity by different structures [20]. Simple averaging, weighted averaging, majority voting, and ranking are common methods usually applied to calculate the ensemble output.

Johansson et al. [16] used genetic programming (GP) for building an ensemble from the predefined number of the artificial neural networks (ANN) where functional set consisted of the averaging and multiplying and the terminal set included the models and constants. In [2], a similar approach was proposed where first a specified number of the neural networks is generated and then a genetic programming algorithms applied to build an ensemble making up symbolic regression from partial decisions of the specific members.

*The study was supported by The Ministry of education and science of Russian Federation, project № 16.740.11.0742, 14.740.12.1341 and 11.519.11.4002.

In this paper we apply the self-configuring genetic programming technique to construct formula that shows how to compute an ensemble decision using the component IIT decisions. The algorithm involves different operations and math functions and uses the models of different kinds providing the diversity among the ensemble members. Namely, we use symbolic expressions and neural networks, automatically designed with our GP algorithm, as the ensemble members. The algorithm automatically chooses component IIT which are important for obtaining an efficient solution and doesn't use the others.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 explains the idea of selective pressure during the stage of crossover in GP and briefly describes the result of the algorithms performance investigation. Section 3 describes the method for the GP self-configuring and its testing results that confirm the method usefulness. Section 4 describes the method of the ANN automated design and its performance evaluation. In Section 5 we describe the GP-based approach to the IIT ensembles automated integration and the results of the performance comparative analysis. In Section 6 we apply developed approach to one problem from the speech recognition area. In Conclusion section we discuss the results and directions of the further research.

Uniform crossover operator with selective pressure for genetic programming algorithm. The uniform crossover operator is known as one of the most effective crossover operators in conventional genetic algorithm [30, 4]. Moreover, nearly from beginning, it was suggested to use a parameterized uniform crossover operator and it was proved that tuning this parameter (the probability for a parental gene to be included in the off-spring chromosome) can essentially improve "The Virtues" of this operator [4]. Nevertheless, in the majority of cases using uniform crossover the mentioned possibility is not adopted and the probability for a parental gene to be included in an off-spring chromosome is given equal to 0.5 [8, 13].

That is why it seemed interesting to us to modify the uniform crossover operator with a purpose of improving its performance. Having a desire to avoid real number parameter tuning, we introduced selective pressure during process of recombination [27] making the probability of a parental gene being passed to an off-spring depended on parent fitness values. Like the usual EA selection operators, fitness proportional, rank-based and tournament-based uniform crossover operators were added to the conventional operator which we now call the equiprobable uniform crossover.

As about genetic programming, we use a tree representation in our GP. To apply the crossover operator with selective pressure in GP, that was useful in GA [27], we first have to specify the uniform crossover operator for GP. Such an operator has been theoretically substantiated and introduced by Poli and Langdon in 1998 [22, 23]. See, also, the recent description in [24].

According to [23], the GP uniform crossover process starts at the tree's root node and works its way down each tree along some path until finding function nodes of dif-

fering arity at the similar location. Interior nodes are selected for crossover with some probability which is generally set to 0.5. Crossover involves exchanging the selected nodes between the trees, while those nodes not selected for crossover remain unaffected.

We organize the uniform crossover in slightly different way. After parents selection, the uniform crossover operator produces one off-spring choosing nodes from parental trees with the given probability. Crossing over also has a place in the situation when parental nodes contain functions with different arity because all arguments compete with each other. The described modification brings more flexibility to the crossover process and allows the potential for a change in the algorithms behavior.

Having the appropriate uniform crossover operator we can introduce now a selective pressure in GP in the way described above. The off-spring can inherit every of its nodes from one of parents not only equiprobably but also with different probabilities determined by parent fitness values in one of the ways mentioned above: fitness proportionally, according to ranks or through tournament.

We have implemented the described approach and conducted numerical experiments to evaluate the usefulness of the developed operator. As a commonly accepted benchmark for GP algorithms is still an "open issue" [21], we used the symbolic regression problem with test functions usually used for the evaluation of evolutionary optimization algorithms. Having here no place to go into the detail, we just summarize results given in [28]. On this benchmark, the GP algorithm with our uniform crossover operator outperforms the conventional GP algorithm in the average reliability, i.e. proportion of 100 runs when approximation with sufficient precision was found, and its variance (0.53 vs. 0.43 and [0.31, 0.88] vs. [0.13, 0.77]) as well as in the solution quality, i.e. the percentage of the symbolically identical formulas found (78 % vs. 66 %). Testing with real world problems also confirmed the approach perceptiveness.

Operator Rates based Self-Configuration of Algorithms. Although EAs have been successful in solving many optimization and modeling problems, the performance of this technique depends on the selection of the EA settings and parameters tuning. Moreover, the process of settings determination and tuning parameters is known to be a time-consuming and a complicated task. Much research has attempted to deal with this problem. Some approaches attempted to determine appropriate settings by experimenting over a set of well-defined functions or through theoretical analysis. Other approaches, usually applying a term such as "self-adaptation", try to eliminate the setting determination process by adapting settings through the algorithm execution.

There exists much research devoted to "self-adapted" EA based on a range of ideas, but all of them aimed at reducing the role of human expert in algorithm designing. Let us follow definitions given by Gabriela Ochoa and Marc Schoenauer, organizers of the workshop "Self-tuning, self-configuring and self-generating evolutionary algorithms" (Self* EAs) within PPSN XI [26]. According to this definition, "The following 3 general paths toward

automated heuristic design will be distinguished: 1) tuning: the process of adjusting the control parameters of the algorithm; 2) configuring: the process of selecting and using existing algorithmic components (such as variation operators); 3) generating: the process of creating new heuristics from existing sub-components borrowed from other search methods". As the main ideas of the algorithms discussed here rely on automated "selecting and using existing algorithmic components", these algorithms might be called self-configuring. Within this, the probabilities with which will be the genetic operators used are subject to the tuning. This allows us to say that the algorithms are partially self-tuning.

In order to specify our algorithms more precisely, one can say that according to the classification [9], we use dynamic adaptation on the population level [19]. The probabilities of genetic operators to be applied are modified "on the fly" as the algorithm executes. According to the classification given in [12] we use centralized control techniques (central learning rule) for parameters settings with some differences from the usual approaches. Operator rates (the probability to be chosen for generating off-spring) are adapted according to the relative success of the operator during the last generation independently of the previous results. That is why our algorithm avoids problem of high memory consumption typical for centralized control techniques [12]. In some cases it results in situation where no operators have success (off-spring fitness improvement) but nevertheless some of them (worked badly but better than others) will be rewarded. Operators' rates are not included in individual chromosomes and they are not subject to the evolutionary process. All operators can be used during one generation for producing off-springs one by one.

As mentioned above, we apply operators probabilistic rates dynamic adaptation on the level of population with centralized control techniques. To avoid the issues of precision caused while using real parameters, we used setting variants, namely types of selection, crossover, population control and level of mutation (medium, low, high). Each of these has its own probability distribution. E.g., there are 5 settings of selection fitness proportional, rank-based, and tournament-based with three tournament sizes. During initialization all probabilities are equal to 0.2 and they will be changed according to a special rule through the algorithms execution in such a way that a sum of probabilities should be equal to 1 and no probability could be less than predetermined minimum balance. The "idle crossover" is included in the list of crossover operators to make crossover probabilities less than 1 as is used in conventional algorithms to model a "childless couple".

When the algorithm creates the next off-spring from the current population it first has to configure settings, i.e. to form the list of operators with using the probability operator distributions. The algorithm then selects parents with the chosen selection operator, produces an off-spring with the chosen crossover operator, mutates offspring with the chosen mutation probability and puts off-spring into the intermediate population. When the intermediate

population is filled, the fitness evaluation is computed and the operator rates (probabilities to be chosen) are updated according to operator productivities. Then the next parent population is formed with the chosen survival selection operator. The algorithm stops after a given number of generations or if the termination criterion (e.g., given error minimum) is met.

The productivity of an operator is the ratio of the average off-spring fitness obtained with this operator and the average fitness of the overall off-spring population. Successful operators having productivity more than 1 increase their rates obtaining portions from unsuccessful operators.

The described approach can be used both in GA and GP as well as in other EA techniques. In this paper, we used self-configuring GA (SelfCGA) for tuning parameters of the symbolic regression formulas and training ANN weights.

We have solved the same test symbolic regression problems with the proposed self-configuring GP (SelfCGP) and demonstrated competitive results with conventional GP (average reliability is 0.69, variance is [0.42, 1], and 74 % of the symbolically identical solutions). Then we have solved two hard classification problems (German Credit and Australian-1 Credit from [10]) and compare our results with alternative approaches found in scientific literature.

We concluded that the SelfCGP can produce competitive results; it has the usual drawbacks of any general-purpose technique losing to the problem specific algorithms on corresponding problems, but has the advantage requiring no algorithmic details adjustment.

ANN automated design with self-configuring genetic programming algorithm. Usually, the GP algorithm works with tree representation, defined by functional and terminal sets, and exploit the specific solution transformation operators (selection, crossover, mutation, etc.) until termination condition will be met [24].

For the ANN automated design, the terminal set of our GP includes 16 activation functions such as bipolar sigmoid, unipolar sigmoid, Gaussian, threshold function, linear function, etc. The functional set includes specific operation for neuron placement and connections. The first function is the placing a neuron or a group of neurons in one layer. There will no additional connections appeared in this case. The second function is the placing a neuron or a group of neurons in sequential layers in such a way that the neuron (group of neurons) from the left branch of tree preceded by the neuron (group of neurons) from the right branch of tree. In this case, new connections will be added that connect the neurons from the left tree's branch with the neurons from the right tree's branch. Input neurons cannot receive any signal but have to send a signal to at least one hidden neuron.

The GP algorithm forms the tree from which the ANN structure is derived. The ANN training is executed to evaluate its fitness that depends on its performance in solving problem in hand, e.g., approximation precision or number of misclassified instances. For training this ANN,

connection weights are optimized with selfconfiguring genetic algorithm (SelfCGA) that does not need any end user efforts to be the problem adjusted doing it automatically. When GP finishes giving the best found ANN structure as the result, this ANN is additionally trained with again Self-CGA hybridized with local search.

We compared the performance of the ANNs designed with our SelfCGP algorithm with the alternative methods on the set of problems from [10]. Materials for the comparison we have taken from [32] where together with results of authors' algorithm (CROANN) the results of 15 other approaches are presented on three classification problems (Iris, Wisconsin Breast Cancer, Pima Indian Diabetes) from [10].

Analyzing comparison results, we observed that the performance of the approach suggested in this paper is high enough comparing alternative algorithms (1st, 3rd and 4th positions, correspondingly). However, the main benefit from our SelfCGP algorithm is the possibility to be used by the end user without expert knowledge in ANN modeling and evolutionary algorithm application. Additional dividend is the size of designed ANNs. The ANNs designed with SelfCGP contain few hidden neurons and connections and use not all given inputs although perform well. It can be used for the discrimination of the unimportant inputs that could also give additional information for experts.

Now we can conclude that the self-configuring genetic programming algorithm is the suitable tool for ANN automated design. It can also produce the competitive results based on symbolic regression approach. This algorithm makes the end user free from the ANN structure design and the GP settings determination. We can use it for the design of IIT ensembles.

5 Integration of IIT ensembles with self-configuring genetic programming algorithm

Having the developed appropriate tool for IIT automated design that does not require the effort for its adjustment, we applied our self-configuring genetic programming technique to construct formula that shows how to compute an ensemble decision using the component IIT decisions. The algorithm involves different operations and math functions and uses the models of different kinds providing the diversity among the ensemble members. In our numerical experiments, we use symbolic expressions and neural networks, automatically designed with our SelfCGP algorithm, as the ensemble members. The algorithm automatically chooses the component IIT which are important for obtaining an efficient solution and doesn't use the others. The ensemble component IIT are taken from the preliminary IIT pool that includes 20 ANNs and 20 symbolic regression formulas (SRFs) generated before hand with Self-CGP. For the designing every IIT, corresponding data set was randomly divided into two parts, i.e., training sample (70%) and validation sample (30%).

The first experiment was conducted for comparing the performance of the ensembling method based on the

SelfCGP with the others. We used the same three problems from [10] and the real world problem of the simulation of the spacecraft solar arrays degradation (SAD) process [3] as the test bed. In Table 1 below we used following abbreviations: ANNE is the ANN ensemble, SRFE is the symbolic regression formulas ensemble, ANN+SRF is the integration of ANN and SRF, s.a. is the simple averaging, and w.a. is the weighted averaging. The last two rows contain the performance of non-ensembling models based on SelfCGP. Numbers in the first three columns are the error measure calculated as it was given in [32] and the numbers in the last column are deviations from the correct value.

Results in Table 1 demonstrate that the SelfCGP based ensembling methods used ANNs or ANNs and SRFs integration outperform other approaches. Although, GPNS+GPEN approach [2] for SAD problem demonstrates the performance 0.0430 [28]. The statistical robustness of the results obtained was confirmed by ANOVA tests which were used for processing received evaluation of the performance.

Within the second numerical experiment we solved two hard classification problems and compared our results with alternative approaches.

The first data set, called the German Credit Data Set, includes customer credit scoring data with 20 features, such as age, gender, marital status, credit history records, job, account, loan purpose, other personal information, etc. The second data set includes Australian credit scoring data and contains 14 attributes, where six are continuous attributes and eight are categorical attributes.

Both data sets are made public from the UCI Repository of Machine Learning Databases [10], and are often used to compare the accuracy with various classification models.

Results for alternative approaches have been taken from scientific literature. In [15] the performance evaluation results for these two data sets are given for authors' two-stage genetic programming algorithm (2SGP) as well as for the following approaches taken from other papers: conventional genetic programming (GP+SRF), classification and regression tree (CART), C4.5 decision trees, k nearest neighbors (k-NN), linear regression (LR). Additional material for comparison we have taken from [29] where is evaluation data for authors' automatically designed fuzzy rule based classifier as well as for other approaches found in literature: Bayesian approach, boosting, bagging, random subspace method (RSM), cooperative coevolution ensemble learning (CCEL).

The results of the comparison (proportion of the correctly classified objects in the validation set) are given in Table 2.

As one can see, the ensembles automatically designed with the SelfCGP outperform other ensembles (Boosting, Bagging, CCEL) and single classifiers including these specially implemented for bank scoring problems solving (Fuzzy, 2SGP).

Table 1

Ensembling methods comparison

Classifier	Iris	Cancer	Diabetes	SAD
SelfCGP ANNE	0	0	17.18	0.0418
SelfCGP SRFE	0.0133	0.34	18.21	0.0548
SelfCGP ANN+SRFE	0	0.06	17.43	0.0465
ANN s.a.	0.0267	1.09	19.75	0.0542
ANN w.a.	0.0267	1.03	19.03	0.0503
SRF s.a.	0.0533	1.27	20.23	0.0628
SRF w.a.	0.04	1.22	19.86	0.0605
ANN+SRF s.a.	0.04	1.18	19.79	0.0617
ANN+SRF w.a.	0.0267	1.09	19.34	0.0556
SelfCGP SRF	0.0267	1.23	20.01	0.0621
SelfCGP ANN	0.0133	1.05	19.69	0.0543

Table 2

Classification methods comparison

Classifier	Australian credit	German credit	Classifier	Australian credit	German credit
SelfCGP ANN+SRFE	0.9094	0.8126	Fuzzy	0.8910	0.7940
SelfCGP ANNE	0.9046	0.8075	2SGP	0.9027	0.8015
SelfCGP SRFE	0.9046	0.8050	GP+SRF	0.8889	0.7834
SelfCGP+SRF	0.9022	0.7950	LR	0.8696	0.7837
SelfCGP+ANN	0.9022	0.7954	Bayesian	0.8470	0.6790
GP+ANN	0.8969	0.7863	RSM	0.8660	0.7460
Boosting	0.7600	0.7000	k-NN	0.8744	0.7565
Bagging	0.8470	0.6840	CART	0.8986	0.7618
CCEL	0.7150	0.7151	C4.5	0.8986	0.7773

Certainly, the last two methods give not only calculation formula but also the production rules that might be more important for end user. It means that we have to focus our further research on this direction.

SelfCGP applications in speech recognition. Successful application of our approach in the area of classification brought us to the idea of adapting to the most complex problems such as speech recognition. We have chosen the ISOLET problem ([10]) for the first attempt to check our approach in this field due to its relative simplicity and the availability of the data set and other approaches known results for comparison.

ISOLET problem is the recognition problem of English letters pronounced by 150 different speakers those spoke the name of each letter of the alphabet twice. The features include spectral coefficients; contour features, sonorant features, presonorant features, and post-sonorant features. Exact order of appearance of the features is not known. It gives the data set with 617 attributes (all of them are continuous, realvalued attributes scaled into the range -1.0 to 1.0), 26 classes, and 7797 instances.

Having in mind the necessity to verify the ensembles, we have randomly divided the data set in three parts 4679 instances for single ANNs training, 1559 instances for single ANNs testing and 1559 instances for the ensembles cross-validation. Ensembles training was executed on the first 6238 instances. Both ANN-based classifiers and their ensembles were automatically designed

with SelfCGP algorithm. Preliminary pool of classifiers consisted of 10 members although usually ensembles involved from 2–3 till 7 classifiers.

Alternative approaches for performance comparison have been taken from [6, 7, 10]. In table 3 bellow OPT means conjugate-gradient implementation of back propagation, C4.5 means Quinlan's C4.5 system, OPC means one-per-class representation, ECOC means error-correcting output code, raw means unpruned decision trees, pruned means pruned decision trees ($CF = 0.25$), hard means default trees, soft means trees with softened thresholds, multiclass means one tree to do all 26-way classifications [7, 6], SelfCGP+ANN means single best ANN-based classifier automatically generated with our self-configuring genetic programming algorithm, SelfCGP+ANN+Ens means the ensemble of ANN-based classifiers automatically designed with SelfCGP.

As one can see from Table 3, both our approaches demonstrate competitive results (2nd and 8th position of 39).

ANN-based classifier automatically generated with SelfCGP can be considered as enough powerful tool for speech recognition problems but our ensembling technique can essentially improve the classifier performance making it to be one of the best.

The SelfCGP based automatic designing the ensembles of heterogeneous IIT allows improving the reliability and effectiveness of data analysis. The obtained results are approved by solving some real-world problems.

Table 3

Performance comparison for ISOLET problem

Algorithms and their configurations	% errors	% correct
OPT 30-bit ECOC	3.27	96.73
SelfCGP+ANN+Ens	3.40	96.60
OPT 62-bit ECOC	4.04	95.96
OPT OPC	4.17	95.83
C4.5 107-bit ECOC soft pruned	6.61	93.39
C4.5 92-bit ECOC soft pruned	6.86	93.14
C4.5 45-bit ECOC soft pruned	6.99	93.01
SelfCGP+ANN	7.21	92.79
C4.5 107-bit ECOC soft raw	7.44	92.56
C4.5 92-bit ECOC soft raw	7.57	92.43
C4.5 107-bit ECOC hard pruned	8.08	91.91
C4.5 92-bit ECOC hard pruned	8.15	91.85
C4.5 62-bit ECOC soft pruned	8.40	91.60
C4.5 30-bit ECOC soft pruned	8.60	91.40
C4.5 62-bit ECOC soft raw	8.60	91.40
C4.5 77-bit ECOC hard pruned	8.85	91.15
C4.5 45-bit ECOC soft raw	9.30	90.70
C4.5 62-bit ECOC hard pruned	9.88	90.12
C4.5 45-bit ECOC hard pruned	9.94	90.06
C4.5 30-bit ECOC soft raw	11.23	88.77
C4.5 30-bit ECOC hard pruned	11.87	88.13
C4.5 multiclass soft pruned	15.33	84.67
C4.5 multiclass soft raw	15.91	84.09
C4.5 multiclass hard pruned	16.29	83.71
C4.5 15-bit ECOC soft pruned	16.61	83.39
C4.5 multiclass hard raw	16.93	83.07
C4.5 OPC soft pruned	18.99	81.01
C4.5 15-bit ECOC soft raw	20.59	79.41
C4.5 107-bit ECOC hard raw	21.42	78.58
C4.5 92-bit ECOC hard raw	22.39	77.61
C4.5 OPC soft raw	24.31	75.69
C4.5 15-bit ECOC hard pruned	24.57	75.43
C4.5 77-bit ECOC hard raw	27.20	72.80
C4.5 OPC hard pruned	28.03	71.97
C4.5 62-bit ECOC hard raw	29.70	70.30
C4.5 OPC hard raw	33.29	66.71
C4.5 45-bit ECOC hard raw	36.43	63.57
C4.5 30-bit ECOC hard raw	43.04	56.96
C4.5 15-bit ECOC hard raw	63.57	36.43

Certainly, the computational efforts for the implementation of the described approach and the model complexity are severely increasing comparing to each single learning model. However it is usual drawback of any ensembling when one has to implement many members of ensemble. There are no additional problems with our approach here. Advantages of the ensembling are better performance and reliability that essentially compensates extra computational efforts. In fact, really additional computational effort for our approach is the necessity to run the genetic programming algorithm that combines single models outputs into an output of the ensemble. Our experiments showed that it is less than the efforts for evolutionary generating one single model, i.e., could be considered as acceptable disadvantage.

As about the model complexity, again our approach does not bring much extra drawback comparing with any other ensemble technique. Of course, a computational model given by the genetic programming algorithm might

be much more complicated compared to the usual ensembling methods such as weighted sum of outputs or voting. However, our experiments show that the genetic programming algorithm never includes all possible single models into an ensemble taking usually a few of them. As the greater part of the ensemble computational complexity is given by the computational efforts needed for calculating the output for each model, our approach has the advantage upon usual ensembling methods that include in the ensemble all available single models.

The further development of the system is aimed to the expansion of its functionality by including the other types of IITs (fuzzy logic systems, decision trees, neuro-fuzzy systems, other kinds of ANNs, multiobjective selection, etc.).

References

1. Breiman, L. Bagging predictors, Machine Learning. 1996. Vol. 24 (2). P. 123–140.

2. Bukhtoyarov V., Semenkin O. Comprehensive evolutionary approach for neural network ensemble automatic design // *Proceedings of the IEEE World Congress on Computational Intelligence*, Barcelona, Spain, 2010. P. 1640–1645.
3. Bukhtoyarov V., Semenkin E., Shabalov A. Neural Networks Ensembles Approach for Simulation of Solar Arrays Degradation Process // *Hybrid Artificial Intelligent Systems. Lecture Notes in Computer Science*, 2012. Vol. 7208. P. 186–195.
4. De Jong K. A., Spears W. On the Virtues of Parameterized Uniform Crossover // *Proceedings of the 4th Intern. Conf. on Genetic Algorithms*, Morgan Kaufmann, July, 1991.
5. Dietterich T. G. An experimental comparison of three methods for constructing ensembles of decision trees: bagging, boosting, and randomization // *Machine Learning*. 2000. Vol. 40, № 2. P. 139–158.
6. Dietterich T. G., Bakiri G. Error-correcting output codes: A general method for improving multiclass inductive learning programs // *Proceedings of AAAI-91*. 1991.
7. Dietterich T. G., Bakiri G. Solving multiclass learning problems via error-correcting output codes // *J. of Artificial Intelligence Research* 2. 1995. P. 263–286.
8. Eiben A. E., Smith, J. E. Introduction to evolutionary computing. Springer, Berlin, 2003 // *IEEE Congress on Evolutionary Computation*. 2011. New Orleans, LA.
9. Eiben A. E., Hinterding R., Michalewicz Z. Parameter control in evolutionary algorithms // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 1999. Vol. 3(2). P. 124–141.
10. Frank A., Asuncion, A. UCI Machine Learning Repository. Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science, 2010. URL: <http://archive.ics.uci.edu/ml>
11. Friedman J. H., Hastie T., Tibshirani, R. Additive logistic regression: a statistical view of boosting, *Annals of Statistics*. 2000. Vol. 28, № 2, P. 337–374.
12. Gomez J. Self Adaptation of Operator Rates in Evolutionary Algorithms // Deb K. et al. (Eds.) *GECCO 2004. LNCS 3102*. 2004. P. 1162–1173.
13. Haupt R. L., Haupt S. E. Practical genetic algorithms. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
14. Ho T. K., Hull J. J., Srichari S. N. Decision combination in multiple classifier systems // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1994. Vol. 16, № 1. P. 66–75.
15. Huang J.-J., Tzeng G.-H., Ong Ch.-Sh. Two-stage genetic programming (2SGP) for the credit scoring model // *Applied Mathematics and Computation*. 2006. № 174. P. 1039–1053.
16. Johansson U., Lofstrom T., Konig R., Niklasson L. Building Neural Network Ensembles using Genetic Programming // *Intern. Joint Conf. on Neural Networks*, 2006.
17. Konar A. Computational Intelligence: Principles, techniques and applications. Springer, Berlin, 2005.
18. Kronberger G. Symbolic Regression for Knowledge Discovery: Bloat, Overfitting, and Variable Interaction Networks. Trauner Verlag, 2011.
19. Meyer-Nieberg S., Beyer H.-G.: Self-Adaptation in Evolutionary Algorithms. In F. Lobo, C. Lima, Z. Michalewicz (Eds.) *Parameter Setting in Evolutionary Algorithm*. 2007. P. 47–75.
20. Navone H. D., Granitto P. M., Verdes P. F., Cecatto H. A. A learning algorithm for neural network ensembles // *Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*. № 12. 2001. P. 70–74.
21. O'Neill M., Vanneschi L., Gustafson S., Banzhaf W. Open issues in genetic programming // *Genetic Programming and Evolvable Machines*. 2010. P. 339–363.
22. Poli R., Langdon W. B. On the Ability to Search the Space of Programs of Standard, One-Point and Uniform Crossover in Genetic Programming. Technical Report CSRP-98-7. The University of Birmingham (UK), 1998.
23. Poli R., Langdon W. B. On the search properties of different crossover operators in genetic programming // *Genetic Programming 1998. Proc. of the 3rd Annual Conf. Wisconsin, USA, 22–25 July. 1998*. P. 293–301.
24. Poli R., Langdon W. B., McPhee N. F. A Field Guide to Genetic Programming. – Published via. URL: <http://lulu.comandfreelyavailableat>; <http://www.gp-field-guide.org.uk>. 2008.
25. Rojas, R. Neural networks: a systematic introduction. Springer, Berlin, 1996.
26. Schaefer R., Cotta C., Kolodziej J., Rudolph G. Parallel Problem Solving from Nature // *PPSN XI 11th Intern. Conf. (Eds.)*. Krakow, Poland, September 11–15, 2010.
27. Semenkin E. S., Semenkin M. E. Application of GA with modified uniform recombination operator for automated implementation of intellectual information technologies // *Vestnik. Scientific Journal of Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev*. 2007. Iss. 3 (16). P. 27–32.
28. Semenkin E., Semenkin M.: Self-Configuring Genetic Programming Algorithm with Modified Uniform Crossover Operator // *Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation*. June 10–15, 2012.
29. Sergienko R., Semenkin E., Bukhtoyarov V. Michigan and Pittsburgh Methods Combining for Fuzzy Classifier Generating with Coevolutionary Algorithm for Strategy Adaptation // *IEEE Congress on Evolutionary Computation*. New Orleans, LA., 2011.
30. Syswerda G. Uniform crossover in genetic algorithms // *Proceedings of the 3rd Intern. Conf. on Genetic Algorithms*. Morgan Kaufmann, 1989.
31. Yager R. R., Filev D. P. Essentials of fuzzy modelling and control. Wiley, New York, 1994.
32. Yu J. J. Q., Lam A. Y. S., Li V. O. K. Evolutionary Artificial Neural Network Based on Chemical Reaction Optimization // *IEEE Congress on Evolutionary Computation*. 2011. New Orleans, LA., 2011.

Е. С. Семенкин, М. Е. Семенкина

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНСАМБЛЕЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ САМОКОНФИГУРИРУЕМЫМ АЛГОРИТМОМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Самоконфигурируемый алгоритм генетического программирования с модифицированным оператором равномерного скрещивания, использующим селективное давление на этапе рекомбинации, применяется для автоматического формирования ансамблей интеллектуальных информационных технологий. Символьные выражения, нейронные сети или их комбинации являются членами ансамблей, которые генерируются также автоматически при помощи самоконфигурируемого алгоритма генетического программирования. Сравнительный анализ эффективности подхода был проведен на тестовых и реальных практических задачах.

Ключевые слова: генетическое программирование, само-конфигурация, нейронные сети, символьная регрессия, ансамбли, автоматическое проектирование, задачи классификации.

© Semenkin E. S., Semenkina M. E., 2012

UDK 519.68

О. Е. Семенкина

EFFECTIVENESS COMPARISON OF ANT COLONY AND GENETIC ALGORITHMS FOR SOLVING COMBINATORIAL OPTIMIZATION PROBLEMS*

This paper considers ant colony optimization, genetic algorithm and parallel versions of these methods for solving traveling salesman problem.

Keywords: Genetic algorithm, Ant colony optimization, Traveling Salesman Problem, Parallelization.

One of the most interesting and topical methods for optimization problems solving are stochastic algorithms working with many current solutions at the same time. This paper considers ant colony optimization (ACO) [1] and genetic algorithm (GA) [2] and also parallel versions of these methods. These algorithms can be very useful for finding approximate solutions of complex optimization problems. Both algorithms are nature-inspired optimization metaheuristics, where ACO is based on the behavior and organization of ant colonies in their search for food whereas GA is based on some principals of evolution.

Investigation of effectiveness of ACO and GA was conducted by solving well-known problem of combinatorial optimization namely Traveling Salesman Problem (TSP). Software implementation of these algorithms was programmed in C++ and the library MPICH2 was used for parallelization.

In the genetic algorithm for the TSP a chromosome is represented as permutation of the n numbers (numbers of cities). That is why some standard operations have a few changes, but many adjustable parameters in GA remains such as mutation probability, the type of selection – tournament selection (parameter is the size of the tournament), proportional and rank selection (linear or exponential ranking), population size and number of generations. Solutions in ACO are also represented as

permutation of n cities and ants chose next city using taboo-list and pheromone matrix at every stage. The same to GA, ACO have rather adjustable parameters: ant colony size (m), number of iteration, evaporation rate (ρ), relatively importance of previous search experience (α) and relatively importance of the distance between cities (β).

At first efficiency of each algorithm on a test task was investigated (a grid 5 on 5 cities) and regularities in dependence of algorithms efficiency on its settings were revealed. ACO algorithm shows the best results at the following settings: $\alpha = 1$, $\beta = 10$, $\rho \in [0.5, 0.7]$ and quantity of ants approximately equals to number of the cities. The best settings for GA are tournament selection with small tournament size and low or very low mutation rate. This test task solution ACO showed better results than the GA because ACO rely on distance between the cities at initialization and begins to work with rather a quite good route while GA begins with an absolutely random population. Therefore, ACO requires considerably less computational resources on the problem with a lot of decisions. Therefore reliability of algorithms was investigated on more complex test task with a number of the cities equals to 30 and called Oliver30. After the completion of algorithms work local search was applied to the best solutions. For both algorithms identical number of calculations, namely 30 individuals (ants) and 10000 generations (iterations) was given.

*The study was supported by The Ministry of education and science of Russian Federation, project № 16.740.11.0742, 14.740.12.1341 and 11.519.11.4002.

Reliability was calculated by averaging on 30 runs of algorithms. GA found the shortest route at least once for all variants of the settings whereas ACO didn't find the best route in all cases. The average length of a route for genetic algorithm varied in an interval from 429.172 to 459.028 whereas for ant algorithm it is in an interval from 423.8171 to 490.5966. It means that ACO has a wide scatter of reliability and more strongly depends on a choice of settings. In comparison with genetic algorithm ACO can find both considerably the best route and essentially the worst at an unsuccessful choice of parameters. Thus it is possible to say that for this task the GA works better, than ACO because it is more constant and predictable for its various settings.

GA and ACO show good reliability at enough amount of resources, but this amount and, therefore, the operating time of algorithms grows quickly with the dimension increase of the task. One of this problem solution is parallelization.

Many different variants of parallelization do exist, but this paper considers the most interesting type – Coarse-Grained evolutionary algorithms [3]. In this case there are some independent populations on every core of processor. They periodically exchange a few individuals, and this process is called migration. That is why two additional parameters are necessary – interval of exchange and number of migrating individuals. Parallel evolutionary algorithms of this type are very popular, but hard enough to understand because the effects of migration are not fully investigated. In this research clique topology of individuals exchange was chosen.

Reliability of algorithms was investigated at various settings of parameters and at various quantities of cores, and respectively populations. The interval between exchanges of individuals was established on 10 generations and in each population one best individual migrated. At increase in quantity of cores, i. e. separate populations, reliability of algorithms didn't change essentially, though some changes of reliability for various settings were observed besides operating time of algorithms was essentially reduced. Using one core for GA takes about 30 seconds for one run, using two cores it takes about 16 seconds, and using four ones –

about 8 seconds. For ACO these values are 0.55, 0.27 and 0.16 seconds respectively. That is parallelized algorithm can significantly reduce the running time without reliability loss. Thus, it is possible to say that if the migration rate is sufficient, the parallelization of algorithms at least doesn't reduce efficiency of algorithms. However it is necessary to find more precisely migration rate at which algorithms work best of all.

For a grid 5 on 5 cities with fixed quantity of resources efficiency of both algorithms on 4 cores for their various settings and the various intervals sizes of exchange of one best individual was considered. At increase in an interval between migrations, reliability increased to a certain limit, and then started to decrease. It can be explained by several facts. At low migration rate population on the cores become almost isolated from each other and work independently. At the same time if the migration rate is high, there is no essential difference with one big population. Besides there is a known principle in genetics: favorable signs extend quicker when communities are small, than when they are big. Thus it is possible to draw a conclusion that parallelization essentially reduces operating time of algorithms without reducing reliability and even increasing it if settings is right.

As a part of future plans, may be proposed search for more effective methods of parallelization to accelerate the work of the algorithm due to the effective interaction of diverse populations, developing on different cores and different topologies sharing individuals, and various topologies sharing individuals.

References

1. Dorigo M., Gambardella L. M. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 1997. P. 53–66.
2. Holland J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems // The University of Michigan Press. 1975.
3. Grosso P.B. Computer Simulations of Genetic Adaptation: Parallel Subcomponent Interaction in a Multilocus Model // Unpublished doctoral dissertation ; The University of Michigan. 1985.

О. Е. Семенкина

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МУРАВЬИНОГО И ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КОМБИНАТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Рассматриваются алгоритм муравьиных колоний, генетический алгоритм и параллельные версии этих методов для решения задачи коммивояжера.

Ключевые слова: генетический алгоритм, алгоритм муравьиных колоний, задача коммивояжера, параллелизация.

© Semenkina O. E., 2012

FUZZY CLASSIFIER DESIGN WITH COEVOLUTIONARY ALGORITHMS APPLYING FOR SPEAKER IDENTIFICATION*

The problem of speaker identification is considered in this article. Classification problem Japanese vowels» from UCI repository is used as source data. This problem was solved with a fuzzy classifier as a classification method that is able to extract cause-and-effect relations from source data. A new method of fuzzy classifier rule base design with coevolutionary algorithms was applied. It is multistep fuzzy classifier design based on multiple repetition of previous fuzzy classifier design with self-tuning coevolutionary algorithms. Computational investigation of fuzzy classifier design with coevolutionary algorithms for different numbers of speakers and for different number of the used fuzzy rules was performed. The proposed method allows getting acceptable classification efficiency for a test sample: from 0.985 for two speakers to 0.786 for nine speakers.

Keywords: fuzzy classifier, coevolutionary algorithm, classification, speaker identification.

Speaker identification is an important related with spoken dialogue system problem. This problem can be formulated as a classification problem. So it is necessary to use special classification methods. One of them is a fuzzy classifier [1]. A fuzzy classifier is a classification algorithm based on fuzzy rules extraction from numerical data. Superiority of this method upon other classification algorithms such as neural networks is provided by fuzzy rules which are linguistic expressions and they are available for humans understanding as cause-and-effect relations. Thus a fuzzy classifier is one of the data mining methods for knowledge discovery.

Fuzzy classifier design can be considered as optimization problem. In this case we need to find the best fuzzy classifier. Fuzzy classifier design includes two problems. The first one is a rule base generating and the second one is membership functions tuning. It should be noted that the first problem is more sophisticated due to huge dimension and discrete variables. So in this paper we present only fuzzy rule base generating problem.

As fuzzy rule base generating is a complicated computational problem, the popular method of its solving is genetic-based machine learning [2; 3]. There are two basic ways for genetic algorithm applying to get fuzzy rule base: Michigan-style and Pittsburgh-style. In Michigan approach [4] chromosomes are individual rules; and a rule set is represented by the entire population. In Pittsburgh method [5] chromosomes are rule sets at whole. The problem in the Michigan approach is the conflict between individual rule fitness and performance of fuzzy rule set. Pittsburgh-style systems require a lot of computational efforts. So a combination of Michigan and Pittsburgh methods is a promising approach. In [6] the hybridization of both approaches by using Michigan method as a mutation operator in Pittsburgh-style algorithm is presented. Another problem with genetic algorithm applying is the algorithm parameters setting. This problem is especially essential for optimization problems with high computational complexity such as fuzzy rule base generating.

There are some methods for GA parameter setting. We suggest special procedure named cooperative-competitive coevolutionary algorithm for this problem solving [7]. A new method of Michigan and Pittsburgh approaches combination for fuzzy classifier rule base design with coevolutionary algorithms was developed in [6].

The next idea is the multistep fuzzy classifier design. After multiple fuzzy classifiers forming we had a set of fuzzy classifiers for each classification problem. The natural step is a collective forming fuzzy rule base using a set of classifiers generated with our approach. It is possible to increase classification efficiency and decrease diversity of classification efficiency using this method. For collective forming of fuzzy classifier cooperative-competitive coevolutionary algorithm can be applied again. Thus we can repeat this procedure more times. So we have formulated a multistep procedure of fuzzy classifier design. We have implemented this method and got results for all classification problems mentioned above. In this paper convergence investigation of multistep fuzzy classifier design is presented. We have observed dynamic features of such parameters as classification performance, standard deviation of classification performance, and number of unique fuzzy rules in a set of classifiers for multistep fuzzy classifier design.

Fuzzy classifier design with coevolutionary algorithms was applied for speaker identification. Classification problem «Japanese vowels» from UCI repository [8] is used as source data. Problem description is distinguishing nine male speakers by their utterances of two Japanese vowels /ae/. We varied number of speakers and number of used fuzzy rules and performed corresponding numerical experiments.

The details of the fuzzy classifier design with coevolutionary algorithms are described in Section 2. Investigations of multistep fuzzy classifier design are presented in Section 3. Results of numerical experiments for speaker identification problem are presented in Section 4. Conclusions are listed in Section 5.

*The study was supported by The Ministry of education and science of Russian Federation, project № 16.740.11.0742, 14.740.12.1341 and 11.519.11.4002; 14.B37.21.1521.

Fuzzy Classifier Design with Coevolutionary Algorithms. A new method of Michigan and Pittsburgh approaches combination for fuzzy classifier rule base design with coevolutionary algorithms was developed in [6]. Fuzzy classifier rule base design consists of two main stages excepting initial population of fuzzy rules forming using a-priori information from a learning sample. At the first stage Michigan method is used for fuzzy rules search with high grade of certainty. At the second stage Pittsburgh method is applied for searching subset of rules with good performance and given number of rules. Constraint for number of rules is used at the second stage of fuzzy classifier design. This method requires less computational efforts than multiobjective optimization for fuzzy rules extraction. Besides this method has some advantages that were showed by numerical experiments.

Another problem with genetic algorithm applying is the algorithm parameters setting. This problem is especially essential for optimization problems with high computational complexity such as fuzzy rule base generating. There are some methods for GA parameter setting. We suggest special procedure named cooperative-competitive coevolutionary algorithm for this problem solving [7]. This method combines ideas of cooperation and competition among subpopulations in the coevolutionary algorithm. We have tested this algorithm for some computationally simple problems for proving its efficiency and then we used it for fuzzy rule base forming. Coevolutionary algorithm for unconstrained optimization is applied at the first stage (Michigan approach) and coevolutionary algorithm for constrained optimization is used at the second stage (Pittsburgh approach).

Michigan-style stage. The chromosomes are fuzzy rules. Chromosome length is equal to the number of attributes; each gene is an index for the corresponding fuzzy number. Fitness function is certainty grade of the fuzzy rule calculated by a learning sample [4]. Genetic algorithm for unconstrained optimization is applied. After generation performing parents and child combined to common array. Different fuzzy rules with the best values of fitness function for each class are selected to the next generation. This new population forming method provides diversity of rules for each class and diversity of classes in population. For each generation classification performance is calculated for population at whole. Population with the best value of classification performance is used for the next stage of fuzzy classifier generating. Cooperative-competitive coevolutionary genetic algorithm for unconstrained optimization is applied.

Pittsburgh-style stage. Chromosomes are the fuzzy rule sets. Chromosome length is equal to the population size for Michigan-style stage. Chromosome genes are binary. Value «1» means using the corresponding rule in the set, value «0» means not using the corresponding rule. Fitness function is classification performance. Constraint for number of rules is used. This value is specified by researcher. The constraint is used because it is better to have small number of rules in the final rule base. Cooperative-competitive coevolutionary genetic algorithm for con-

strained optimization is applied. New generation forming method is standard.

Thus this method of Michigan and Pittsburgh approaches combination for fuzzy classifier rule base generating provides simultaneous advantages of both methods. At Michigan-style stage we get different rules with high values of grade certainty for different classes and at Pittsburgh-style stage we get the rule set with the maximum value of classification performance and necessary number of rules.

As the used rules are fixed and they cannot be changed Pittsburgh-style stage doesn't require a lot of computational resources. Special method of initial population generating provides using of a priori information from a learning sample.

Multistep Fuzzy Classifier Design. The developed method of fuzzy classifier rule base design has been applied for a number of classification machine learning problems from UCI repository [8]:

- Credit (Australia-1) (14 attributes, 2 classes);
- Liver Disorder (6 attributes, 2 classes);
- Iris (4 attributes, 3 classes);
- Yeast (8 attributes, 10 classes);
- Glass Identification (9 attributes, 7 classes);
- Landsat Images (4 attributes, 6 classes).

Having formed multiple fuzzy classifiers design we had a set of fuzzy classifiers for each problem. Although classification efficiency diversity is acceptable, the problem is there exist a small number of repetitive fuzzy rules in a set of fuzzy classifiers (see Table 1). There is feasible number of rules in brackets.

A natural step for fuzzy rule repeatability increasing is a collective design fuzzy rule base using a set of classifiers generated with our approach. In this case Pittsburgh-style stage of fuzzy classifier forming is performed again. A set of fuzzy rule base is analog of fuzzy rule base generated after Michigan-style stage. We also use constraint for feasible number of rules. For collective forming of fuzzy classifier cooperate-competitive coevolutionary algorithm can be applied again. Thus we can repeat this procedure some more times. So we got multistep procedure of fuzzy classifier design. We can use threshold value of classification performance increasing, standard deviation decreasing, or number of unique rules decreasing as a stopping criterion for our multistep procedure. The action sequence for multistep fuzzy classifier forming is the following:

- 1) Select start fuzzy rules with a special procedure (repeat n times);
- 2) Perform one-step fuzzy classifier forming (repeat n times);
- 3) Form from n fuzzy classifiers initial population for the next iteration;
- 4) If stopping criterion is true end else go to position 2).

Using multistep procedure fuzzy rule repeatability must increase and classification efficiency diversity must decrease. Besides it is possible to increase classification performance. We have implemented this method and approved our forecasts.

Some statistical investigations were performed for all problems. For each problem maximum, average, and minimum classification performance values (correctly classified part of test sample), standard deviation of classification performance, and number of unique rules at 10 bases are presented in Tables 1–7.

There are a feasible number of rules in brackets. Stopping criterion is average classification performance increasing less than 0,005 or standard deviation equals to 0. For some cases we have performed one or two steps additionally for equal step number providing for the same problem.

We can see that a number of unique rules and standard deviation of classification performance decreases for each step of fuzzy classifier design. Also classification per-

formance increases for all problems using multistep fuzzy classifier design.

For the first two problems comparison with alternative classification methods has been performed. These algorithms are Bayesian approach, multilayer perceptron, boosting [9], bagging [10], random subspace method (RSM) [11], and cooperative coevolution ensemble learning (CCEL) [12; 13]. It should be noted that base algorithms for bagging, boosting, RSM, and CCEL are not fuzzy classifiers; they are conventional classification methods. Performance value is a part of test sample that is classified correctly with an algorithm. The classification performance comparison with alternative algorithms for Credit (Australia-1) and Liver Disorder problems is presented in Table 8.

Table 1

Results of Numerical Experiments for One-step Fuzzy Classifier Forming

Parameter	Problem					
	1	2	3	4	5	6
Maximum performance	0,827 (10)	0,666 (10)	0,908 (3)	0,573 (20)	0,737 (20)	0,838 (10)
	0,861 (20)	0,682 (15)	0,951 (4)	0,586 (30)	0,781 (30)	0,847 (15)
	0,873 (30)	0,692 (30)	0,971 (5)	0,593 (60)		0,849 (20)
Average performance	0,870 (10)	0,687 (10)	0,947 (3)	0,598 (20)	0,757 (20)	0,849 (10)
	0,890 (20)	0,710 (15)	0,973 (4)	0,606 (30)	0,827 (30)	0,857 (15)
	0,891 (30)	0,725 (20)	0,987 (5)	0,626 (60)		0,857 (20)
Minimum performance	0,758 (10)	0,632 (10)	0,767 (3)	0,540 (20)	0,706 (20)	0,821 (10)
	0,841 (20)	0,655 (15)	0,900 (4)	0,555 (30)	0,757 (30)	0,836 (15)
	0,854 (30)	0,655 (20)	0,940 (5)	0,542 (60)		0,835 (20)
Standard deviation	0,02482(10)	0,01500(10)	0,05643(3)	0,01801(20)	0,01388(20)	0,00783(10)
	0,01231(20)	0,01669(15)	0,02623(4)	0,01710(30)	0,01831(30)	0,00416(15)
	0,01035(30)	0,01731(20)	0,01303(5)	0,02207(60)		0,00546(20)
Number of unique rules at 10 bases	100 (10)	85 (10)	12 (3)	200 (20)	196 (20)	68 (10)
	200 (20)	136 (15)	20 (4)	300 (30)	290 (30)	91 (15)
	300 (30)	183 (20)	27 (5)	560 (60)		156 (25)
			30 (6)			

Table 2

Results of Multistep Fuzzy Classifier Design for Credit (Australia-1)

Parameter	1 st iteration	2 nd iteration	3 rd iteration
Maximum performance	0,870 (10)	0,891 (10)	0,891 (10)
	0,890 (20)	0,919 (20)	0,919 (20)
	0,891 (30)	0,926 (30)	0,928 (30)
Average performance	0,827 (10)	0,888 (10)	0,891 (10)
	0,861 (20)	0,918 (20)	0,919 (20)
	0,873 (30)	0,924 (30)	0,926 (30)
Minimum performance	0,758 (10)	0,886 (10)	0,891 (10)
	0,841 (20)	0,910 (20)	0,919 (20)
	0,854 (30)	0,922 (30)	0,925 (30)
Standard deviation	0,02482 (10)	0,00174 (10)	0,00000 (10)
	0,01231 (20)	0,00269 (20)	0,00000 (20)
	0,01035 (30)	0,00171 (30)	0,00127 (30)
Number of unique rules at 10 bases	100 (10)	25 (10)	17 (10)
	200 (20)	51 (20)	40 (20)
	300 (30)	99 (30)	76 (30)

Table 3

Results of Multistep Fuzzy Classifier Design for Liver Disorder

Parameter	1 st iteration	2 nd iteration	3 rd iteration	4 th iteration
Maximum performance	0,687 (10)	0,713 (10)	0,716 (10)	0,716 (10)
	0,710 (15)	0,739 (15)	0,739 (15)	0,742 (15)
	0,725 (20)	0,757 (20)	0,757 (20)	0,757 (20)
Average performance	0,666 (10)	0,705 (10)	0,714 (10)	0,716 (10)
	0,682 (15)	0,731 (15)	0,735 (15)	0,738 (15)
	0,692 (20)	0,748 (20)	0,754 (20)	0,755 (20)
Minimum performance	0,632 (10)	0,699 (10)	0,710 (10)	0,716 (10)
	0,655 (15)	0,719 (15)	0,728 (15)	0,733 (15)
	0,655 (20)	0,739 (20)	0,751 (20)	0,751 (20)
Standard deviation	0,01731 (10)	0,00449 (10)	0,00229 (10)	0,00000 (10)
	0,01669 (15)	0,00608 (15)	0,00411 (20)	0,00280 (15)
	0,01500 (20)	0,00554 (20)	0,00229 (20)	0,00246 (20)
Number of unique rules at 10 bases	85 (10)	55 (10)	20 (10)	13 (10)
	136 (15)	68 (20)	46 (15)	31 (15)
	183 (20)	80 (20)	53 (20)	45 (20)

Table 4

Results of Multistep Fuzzy Classifier Design for Yeast

Parameter	1 st iteration	2 nd iteration	3 rd iteration	4 th iteration
Maximum performance	0,598 (20)	0,609 (20)	0,617 (20)	0,621 (20)
	0,606 (30)	0,641 (30)	0,651 (30)	0,651 (30)
	0,626 (60)	0,674 (60)	0,676 (60)	0,678 (60)
Average performance	0,573 (20)	0,605 (20)	0,614 (20)	0,618 (20)
	0,586 (30)	0,633 (30)	0,647 (30)	0,649 (30)
	0,593 (60)	0,668 (60)	0,672 (60)	0,675 (60)
Minimum performance	0,540 (20)	0,602 (20)	0,610 (20)	0,617 (20)
	0,555 (30)	0,625 (30)	0,640 (30)	0,647 (30)
	0,542 (60)	0,662 (60)	0,667 (60)	0,672 (60)
Standard deviation	0,01801 (20)	0,00241 (20)	0,00246 (20)	0,00198 (20)
	0,01710 (30)	0,00431 (30)	0,00339 (30)	0,00123 (30)
	0,02207 (60)	0,00429 (60)	0,00241 (60)	0,00215 (60)
Number of unique rules at 10 bases	200 (10)	97 (20)	55 (20)	46 (20)
	300 (30)	142 (30)	93 (30)	75 (30)
	560 (60)	263 (60)	205 (60)	165 (60)

Table 5

Results of Multistep Fuzzy Classifier Design for Landsat Images

Parameter	1 st iteration	2 nd iteration	3 rd iteration	4 th iteration
Maximum performance	0,849 (10)	0,851 (10)	0,853 (10)	0,853 (10)
	0,857 (15)	0,861 (15)	0,862 (15)	0,862 (15)
	0,857 (20)	0,864 (20)	0,866 (25)	0,866 (25)
Average performance	0,838 (10)	0,850 (10)	0,852 (10)	0,852 (10)
	0,847 (15)	0,859 (15)	0,860 (15)	0,862 (15)
	0,849 (20)	0,863 (20)	0,865 (25)	0,866 (25)
Minimum performance	0,821 (10)	0,848 (10)	0,851 (10)	0,852 (10)
	0,836 (15)	0,856 (15)	0,857 (15)	0,861 (15)
	0,835 (20)	0,862 (20)	0,863 (25)	0,865 (25)
Standard deviation	0,00783 (10)	0,00107 (10)	0,00036 (10)	0,00014 (10)
	0,00416 (15)	0,00144 (15)	0,00148 (15)	0,00037 (15)
	0,00546 (20)	0,00090 (20)	0,00097 (25)	0,00034 (25)
Number of unique rules at 10 bases	68 (10)	38 (10)	23 (10)	15 (10)
	91 (15)	63 (15)	46 (15)	33 (15)
	156 (25)	100 (25)	72 (25)	56 (25)

Table 6

Results of Multistep Fuzzy Classifier Design for Iris

Parameter	1 st iteration	2 nd iteration
Maximum performance	0,947 (3) 0,973 (4) 0,987 (5) 0,987 (6)	0,980 (3) 0,980 (4) 0,987 (5) 0,993 (6)
Average performance	0,908 (3) 0,951 (4) 0,971 (5) 0,975 (6)	0,980 (3) 0,980 (4) 0,987 (5) 0,993 (6)
Minimum performance	0,767 (3) 0,900 (4) 0,940 (5) 0,933 (6)	0,980 (3) 0,980 (4) 0,987 (5) 0,993 (6)
Standard deviation	0,05643 (3) 0,02623 (4) 0,01303 (5) 0,01073 (6)	0,00000 (3) 0,00000 (4) 0,00000 (5) 0,00000 (6)
Number of unique rules at 10 bases	12 (3) 20 (4) 27 (5) 30 (6)	5 (3) 15 (4) 13 (5) 18 (6)

Table 7

Results of Multistep Fuzzy Classifier Design for Glass Identification

Parameter	1 st iteration	2 nd iteration	3 rd iteration	4 th iteration	5 th iteration
Maximum performance	0,757 (20) 0,827 (30)	0,836 (20) 0,874 (30)	0,846 (20) 0,888 (30)	0,850 (20) 0,888 (30)	0,850 (20) 0,888 (30)
Average performance	0,737 (20) 0,781 (30)	0,824 (20) 0,861 (30)	0,838 (20) 0,880 (30)	0,846 (20) 0,886 (30)	0,850 (20) 0,886 (30)
Minimum performance	0,706 (20) 0,757 (30)	0,813 (20) 0,827 (30)	0,827 (20) 0,874 (30)	0,841 (20) 0,883 (30)	0,850 (20) 0,883 (30)
Standard deviation	0,01388 (20) 0,01831 (30)	0,00737 (20) 0,01354 (30)	0,00630 (20) 0,00471 (30)	0,00409 (20) 0,00246 (30)	0,00000 (20) 0,00246 (30)
Number of unique rules at 10 bases	196 (20) 290 (30)	121 (20) 181 (30)	81 (20) 107 (30)	55 (20) 86 (30)	40 (20) 66 (30)

Table 8

The Classification Performance Comparing for Different Algorithms

Algorithm	Credit (Australia-1)	Liver Disorder
Multistep fuzzy classifier design	0,928	0,757
One-step fuzzy classifier design	0,891	0,725
Bayesian approach	0,847	0,629
Multilayer perception	0,833	0,693
Boosting	0,760	0,656
Bagging	0,847	0,630
Random subspace method	0,852	0,632
Cooperative coevolution ensemble learning	0,866	0,644

Speaker Identification Problem Solving. The problem «Japanese Vowels» [8] description is to distinguish nine male speakers by their utterances of two Japanese vowels /ae/. Nine male speakers uttered two Japanese vowels /ae/ successively. For each utterance, with the analysis parameters described below, 12-degree linear prediction analysis was applied to obtain a discrete-time series with 12 LPC cepstrum coefficients.

This means that one utterance by a speaker forms a time series whose length is in the range 7-29 and each point of a time series is of 12 features (12 coefficients). The number of the time series is 640 in total. We used one set of 270 time series for training and the other set of 370

time series for testing. For fuzzy classifier applying we use average means of each coefficients in time series.

In numerical experiments we increased number of speakers (number of classes) sequentially from 2 to 9 and we varied a number of used fuzzy rules. For each combination of parameters (speakers number and number of used fuzzy rules) we performed 20 algorithm runs for statistical investigation. Effectiveness parameter is correctly classified part of test sample.

Results of numerical experiments are presented in Table 9. You can see the average and maximum values of effectiveness parameter for each combination of parameters.

Table 9

Results of Speaker Identification Problem Solving

Speaker number	60 rules	100 rules	200 rules	300 rules	400 rules	500 rules	600 rules
2 (average)	0,842	0,877	0,930	0,942	0,943	0,948	0,952
2 (maximum)	0,924	0,924	0,969	0,985	0,985	0,985	0,985
3 (average)	0,570	0,660	0,768	0,822	0,845	0,868	0,872
3 (maximum)	0,649	0,720	0,837	0,876	0,896	0,916	0,916
4 (average)	0,625	0,664	0,762	0,806	0,821	0,842	0,856
4 (maximum)	0,736	0,745	0,827	0,872	0,891	0,909	0,900
5 (average)	0,555	0,622	0,730	0,782	0,813	0,827	0,827
5 (maximum)	0,640	0,705	0,827	0,827	0,885	0,885	0,878
6 (average)	0,591	0,689	0,777	0,828	0,844	0,839	0,865
6 (maximum)	0,662	0,791	0,846	0,902	0,895	0,902	0,908
7 (average)	0,501	0,605	0,733	0,791	0,809	0,830	0,845
7 (maximum)	0,620	0,655	0,803	0,857	0,867	0,882	0,887
8 (average)	0,467	0,558	0,689	0,746	0,761	0,776	0,790
8 (maximum)	0,517	0,620	0,735	0,779	0,814	0,810	0,830
9 (average)	0,399	0,515	0,649	0,685	0,724	0,742	0,755
9 (maximum)	0,481	0,559	0,700	0,732	0,786	0,786	0,786

The first result of our work is multistep fuzzy classifier design convergence investigations. Having generated some fuzzy classifiers we are able to construct more effective classifier from previous classifiers using cooperative-competitive coevolutionary algorithm again. Using this method semantically similar fuzzy classifiers are generated. The approach of multistep fuzzy classifier forming has the following features:

- 1) This method improves classification performance without increasing number of rules.
- 2) This method reduces diversity of performance values for multiple algorithm runs, i.e. the method has higher statistical stability.
- 3) The method reduces a number of unique fuzzy rules for multiple algorithm runs.
- 4) Corresponding to features 1–3 trends slow down for increasing of step number. So we can conclude that multistep procedure of fuzzy classifier design has convergence property.
- 5) The method is more effective for more complicated classification problems (more attributes and classes).

Fuzzy classifier design methods comparison with alternative classification methods by performance value demonstrates that both fuzzy classifier forming methods have either the same efficiency as present-day classification algorithms or even they are more efficient.

Next result is speaker identification problem solving using multistep fuzzy classifier design. The proposed method allows getting acceptable classification efficiency for a test sample: from 0.985 for two speakers to 0.786 for nine speakers. Also we can see that for increasing the speaker number it is necessary to increase a number of the used fuzzy rules for getting appropriate results. But per-

manent increasing of the used fuzzy rules is not good idea because from the defined number of fuzzy rules classification effectiveness doesn't increase or even can decrease.

We can see that for some cases speaker number increasing allows increasing the effectiveness parameter. It depends on speaker features. If we add a speaker with voice audiometric features that will differ very much in comparison with that previous speakers, it allows effectiveness parameter increasing.

References

1. Ishibuchi H, Nakashima T., Murata T. Performance evaluation of fuzzy classifier systems for multidimensional pattern classification problems // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. 1999. Vol. 29. P. 601–618.
2. Cordn O., Herrera F., Hoffmann F., Magdalena L. Genetic Fuzzy Systems: Evolutionary Tuning and Learning of Fuzzy Knowledge Bases. Singapore, World Scientific. 2001.
3. Herrera F. Genetic fuzzy systems: taxonomy, current research trends and prospects. In: Evol. Intel., 2008. Vol. 1. № 1. P. 2746.
4. Holland J. H., Reitman J. S. Cognitive systems based on adaptive algorithms // Pattern-Directed Inference Systems. Academic Press, San Diego, CA. 1978.
5. Smith S. F. A Learning System Based On Genetic Adaptive Algorithms. PhD thesis, Department of Computer Science, University of Pittsburgh, Pennsylvania. 1980.
6. Sergienko R. B., Semenkin E. S., Bukhtoyarov V. V. Michigan and Pittsburgh Methods Combining for Fuzzy

Classifier Generating with Coevolutionary Algorithm for Strategy Adaptation // Proc. of 2011 IEEE Congress on Evolutionary Computation. New Orleans, LA, USA 2011.

7. Sergienko R. B., Semenko, E. S. Competitive co-operation for strategy adaptation in coevolutionary genetic algorithm for constrained optimization // Proc. of 2010 IEEE Congress on Evolutionary Computation. 2010. P. 1626–1631.

8. UCI Machine Learning Repository. URL: <http://kdd.ics.uci.edu/>.

9. Schapire. R. The boosting approach to machine learning: An overview // MSRI Workshop on Nonlinear Estimation and Classification. Berkeley, CA. 2001.

10. Breiman, L. Arcing classifiers. In: The Annals of Statistics. 1998. Vol. 26. P. 801–849.

11. Ho T. K. The random subspace method for constructing decision forests // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1998. Vol. 20. P. 832–844.

12. Zhuravlev J. I. An algebraic approach to recognition or classifications problems // Pattern Recognition and Image Analysis. 1998. Vol. 8, № 1. P. 59–100.

13. Voroncov V. V., Kanevsky, D. U. Cooperative co-evolution algorithm ensemble learning // Tavrisheskiy Vestnik Informatiki I Matematiki (Tavria's Herald of Informatics and Mathematics). 2005. P. 51–66.

Р. Б. Сергиенко

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА САМОНАСТРАИВАЮЩИМИСЯ КОЭВОЛЮЦИОННЫМИ АЛГОРИТМАМИ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ГОВОРЯЩЕГО

Рассматривается задача распознавания говорящего. В качестве исходных данных взята задача «Японские гласные» из UCI репозитория. Эта задача была решена с использованием нечеткого классификатора как метода классификации, способного извлекать причинно-следственные закономерности из исходных данных. Был применен новый метод формирования нечеткого классификатора, самонастраивающимися коэволюционными алгоритмами, а именно многошаговый метод формирования нечеткого классификатора, основанный на многократном повторении ранее разработанного метода формирования нечеткого классификатора. Были проведены численные исследования метода формирования нечеткого классификатора для различного числа говорящих и различного числа используемых нечетких правил. Метод показал приемлемую эффективность на тестовой выборке: от 0,985 для двух говорящих до 0,786 для девяти.

Ключевые слова: нечеткий классификатор, коэволюционный алгоритм, классификация, распознавание говорящего.

© Sergienko R. B., 2012

UDC 519.8

A. A. Shabalov

APPLICATION OF NEURO-FUZZY SYSTEMS IN BANK SCORING PROBLEMS*

As the generation of a neuro-fuzzy model from scratch by hand is complex and time consuming process, evolutionary computations are used for this. By virtue of genetic algorithms, the development of neuro-fuzzy systems is simplified and becomes automatic. The proposed scheme is applied to well-known Australian and German Credit Approval problems. Comparison of different algorithms is given.

Keywords: neuro-fuzzy modeling, evolutionary calculations, fuzzy systems, neural networks.

Neuro-fuzzy modeling is applied to soft computing paradigm. It combines the advantages of neural networks and fuzzy rule based systems.

While fuzzy systems implement effective approximate reasoning in uncertain environment, neural networks provide efficient learning algorithms from data. Meanwhile, neuro-fuzzy systems chiefly represent a knowledge base

with fuzzy rules and membership functions where neural network algorithms such are used for parameters learning.

Typically, the learning phase of neuro-fuzzy modeling consists of two stages. The first one is an unsupervised mode where any clustering algorithm could be applied for determination of initial size of rule base, i. e. number of rules.

**The study was supported by The Ministry of education and science of Russian Federation, project № 16.740.11.0742, 14.740.12.1341, 11.519.11.4002 and the Grant of the President of the Russian Federation MK-2835.2012.9.

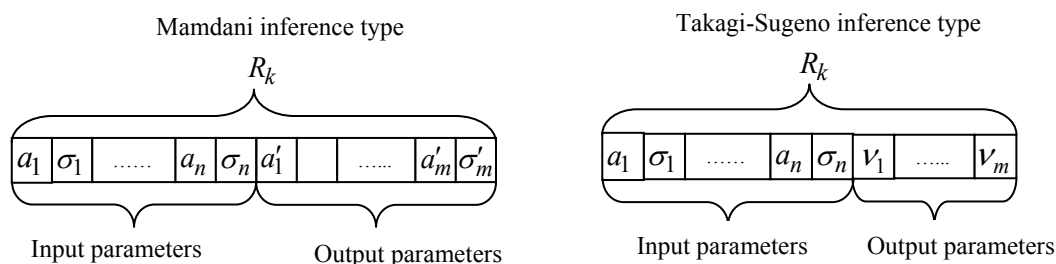


Fig. 1. Chromosome coding schemes

Comparison with different algorithms

	Proposed algorithm	LR	Bayesian	RSM	k-NN	CART
Australian Data Set	0.8696	0.8696	0.8470	0.8660	0.8744	0.8986
	C4.5	CCEL	2SGP	GP+SRF	Boosting	Bagging
	0.8986	0.7150	0.9027	0.8889	0.7600	0.8470
German Data Set	Proposed algorithm	LR	Bayesian	RSM	k-NN	CART
	0.8700	0.7837	0.6790	0.7460	0.7565	0.7618
	C4.5	CCEL	2SGP	GP+SRF	Boosting	Bagging
	0.7773	0.7151	0.8015	0.7834	0.7000	0.6840

Here a competitive learning with rival penalized mechanism is used. In comparison with other clustering techniques (such as k-mean, fuzzy k-means, conventional competitive learning) where a specific number of clusters is to be set, competitive learning with rival penalized mechanism requires a maximum number of clusters. During the learning procedure it will eliminate extra clusters that are beyond the universe of discourse. After such a stage the “rough” fuzzy rule base is established. The second stage (supervised mode) consists in tuning of parameters of membership functions. At this stage the learning capabilities of neural networks are applied. As a rule, a modified version of steepest descent method is used. The drawbacks of gradient based techniques are well known. They could be trapped in a local extremum due to a complex shape of objective function, go to stagnation or, otherwise, pulse. Under these considerations it is rational to apply evolutionary algorithms as well-established technique in global multiextremal optimization. Genetic algorithms are robust stochastic search procedure based on principles of natural evolution. It possesses flexible coding structure making it applicable to problems in different areas of human life. The next paragraph presents the proposed coding schemes of bit strings in genetics algorithms for automatic adjustment of membership function parameters.

Coding structure of neuro-fuzzy model parameters. There are three main evolutionary coding structures of fuzzy rule base while designing a system. In our case the Pittsburgh approach was implemented where each individual in population represents single rule base. The developed algorithmic scheme requires only settings parameters of a genetic algorithm to be set. As for member-

ship function, Gaussian membership functions were used. The coding schemes are given below (Fig. 1).

Application to bank credit assignment problems. There are two data sets concerning customer credit card applications. The first one (Australian data set) contains 690 instances and 14 attributes and the second one (German data set) – 1000 instances and 24 attributes. The sets are to be classified into two classes. 10 % of instances in every set were randomly picked out for test sample. In Table 1 the results obtained and comparison with other techniques are given. The results of other algorithms were found in [1] and [2].

As it can be seen from the table our proposed algorithm is comparable with well-known techniques and can be applied to many real-world applications in different areas of human life.

In this paper evolutionary tuning technique of a neuro-fuzzy system is described. The method proposed was applied to Australian and German Credit Approval problems and showed comparable results in comparison with other algorithms found in the literature. Future work of investigation is aimed at conducting additional numeric experiments and solving other real-world problems.

Bibliography

1. Huang J.-J., Tzeng G.-H., Ong Ch.-Sh. Two-stage genetic programming (2SGP) for the credit scoring model // Applied Mathematics and Computation, 174. 2006. P. 1039–1053.
2. Sergienko R., Semenko E., Bukhtoyarov V. Michigan and Pittsburgh Methods Combining for Fuzzy Classifier Generating with Coevolutionary Algorithm for Strategy Adaptation // IEEE Congress on Evolutionary Computation. June 5–8, New Orleans, LA. 2011.

А. А. Шабалов

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ ПОДСЧЕТА КРЕДИТНОГО БАЛЛА БАНКОВСКОГО СЕКТОРА

В виду сложности и значительных временных затрат проектирования нейро-нечетких моделей вручную с нуля в рассмотрение вводятся эволюционные алгоритмы. С помощью генетических алгоритмов разработка нейро-нечетких систем упрощается и становится автоматической. Предложенная схема применяется к известным задачам о кредитах в Австралии и Германии. Приводится сравнение с другими подходами.

Ключевые слова: нейро-нечеткое моделирование, эволюционные вычисления, нечеткие системы, нейронные сети.

© Shabalov A. A., 2012

UDC 519.234

M. Yu. Sidorov, S. G. Zablotkiy, E. S. Semenko, W. Minker

EVOLUTIONARY DESIGN OF NEURAL NETWORKS FOR FORECASTING OF FINANCIAL TIME SERIES

The problem of forecasting in various technical, economic, and other systems is an important problem of nowadays. The methods of artificial intelligence and machine learning analyze very effectively various data including financial ones. The main problem of such techniques is the choice of model structure and the configuration of its parameters. In this paper we propose an evolutionary method for the neural network designing that does not require any expert knowledge in the area of neural networks and optimization theory from the user. This algorithm has been applied to the FOREX forecasting task of 13 different currency pairs based on the historical data for 12,5 years. The performance of the proposed algorithm has been compared to the forecasting results of other 6 algorithms. The proposed algorithm has shown the best performance on more than half of the tasks. On remaining tasks the algorithm yields slightly to the multi-layer perceptron trained by the particle swarm optimization algorithm. However, the predominance of the proposed algorithm is more significant.

Keywords: neural networks, evolutionary algorithms, particle swarm optimization, FOREX forecasting.

One of the expressive and pragmatic applications of artificial intelligence and machine learning is the prediction of financial time series in various markets. The FOREX market is the largest (about \$4 trillion daily turnover) international currency market. According to the positive market theory there is a deterministic component in the stochastic price fluctuations on the FOREX market. Therefore, using a fairly accurate predictor it is possible to achieve some speculative success.

Recently, an increasing number of papers present the advantage of artificial intelligence methods and machine learning algorithms over the standard econometric methods for solving the problem of financial time series prediction. In particular, neural networks successfully cope with the challenges of the financial forecasting. Thus, the most popular econometric technology for the problem of time series forecasting is called ARIMA [1]. However, in [2] it was shown that the multi-layer perceptron trained by different algorithms outperforms the ARIMA (1, 0, 1) model for the problem of FOREX forecasting.

The main problem of artificial neural networks which prevents their widespread exploiting is the challenge of choosing their optimal parameters for a particular problem. There are many parameters to be set up by the user,

for example, the type of neural network, the learning algorithm, the number of hidden layers and neurons, activation functions, etc.

In addition, the most of modern artificial neural networks have a fixed structure with the predefined types of activation functions. What if the neural network with a more flexible structure will be able to solve a problem more accurately?

In this paper we propose a method for evolutionary forming of neural networks, which on the one hand does not require any expert knowledge in the fields of information technology and artificial intelligence from the user and on the other hand creates the neural network with the flexible architecture that could potentially increase the prediction quality.

The structure of this article is as follows. Section 2 describes the source data and its statistical characteristics. Section 3 provides the description of the proposed method. Section 4 describes others methods for solving the forecasting problem. The experimental setup is described in Section 5. Section 6 presents the forecasting results of the proposed neural network technology, as well as the comparison to the other forecasting models. The conclusions are done at the end of the paper.

Data sets. To test the efficiency of the suggested method the historical data of 13 FOREX currency pairs from 1 January 2000 to 20 July 2012 were used. Each value of the time series is the maximum price during the week. Statistical characteristics of data samples are listed in Table 1.

Table 1

Statistical characteristics of data sets

	Mean	Standard deviation
AUD/USD	0.771580	0.165808
CHF/JPY	86.539585	9.672273
EUR/CHF	1.501780	0.120486
EUR/GBP	0.736243	0.101301
EUR/JPY	129.387638	19.260813
EUR/USD	1.234870	0.196712
GBP/CHF	2.115349	0.368944
GBP/JPY	180.275463	33.396468
GBP/USD	1.692953	0.185273
NZD/USD	0.733674	0.075432
USD/CAD	1.247870	0.207525
USD/CHF	1.276138	0.256394
USD/JPY	107.203875	14.817511

The largest values of mean and deviation correspond to the currency pairs with Japanese Yen (JPY).

Evolutionary forming of neural networks with flexible structure. Standard artificial neural networks have a fixed structure and predefined types of activation functions and connections between neurons. However, there is no fixed structure in the physiological analog of neural networks. What if the neural network with an arbitrary and flexible structure would be a better model describing available data? Since the structure and all the parameters of the neural network directly affect the final result, this could be a good idea to perform both structural and parametric optimization of the neural network according to the preselected quality criterion.

The Mean Absolute Error (Eq. 1) was chosen as the criterion for the quality estimation of the FOREX forecasting.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_i |x_i - x'_i| \quad (1)$$

This metric shows the closeness of the predicted currency rate time series (x'_i) to the historical values (x_i).

In terms of neural networks, the predicted value is a function of the structure and parameters of the neural network, respectively:

$$x'_i = x'_i(S, P).$$

The challenges for the optimization of the function (1) are the presence of many local minima, high dimensionality and undifferentiated structure in general. Therefore, many researchers prefer to use different heuristic algorithms of the direct search to minimize such functions.

Genetic algorithms have proved its high performance for the optimization of complex pseudo-boolean functions. In order to apply the genetic algorithm for solving

the problem of network structural optimization a mapping between a binary vector and a set of different neural network structures should be created. The mapping used in this study is depicted in Fig. 1.

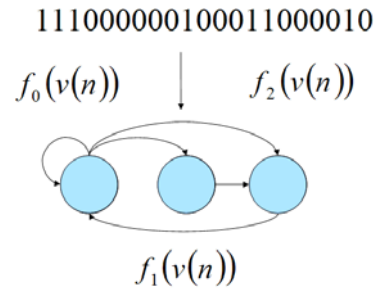


Fig. 1. Mapping between the boolean vector and the neural network structure

For each neuron there is a sequence of $n+4$ Boolean values, where n is the number of neurons in the network. The true value means the existence of the synaptic connection between the current neuron and the specified neuron, while false means the absence of such connection. The next 4 bits encode the ordinal number of the activation function. Thus, the number of different activation functions is equal to 16.

At each iteration of the structural optimization the synaptic weights of the current network are tuned by the particle swarm optimization algorithm which has shown the best performance. Thereafter the weights of the best found structure are tuned again with more resources to gain the finer model.

Alternative algorithms for solving the forecasting problem. To estimate the proposed algorithm the comprehensive comparison with other state-of-the-art techniques was carried out.

Multi-layer perceptron with standard back propagation. Multi-layer perceptron (MLP) [3] is a widely used type of the artificial neural network with a layer structure. The standard back propagation (SBP) is the first order algorithm which computes partial derivatives of the error function for all the synaptic weights. These weights are iteratively changed as follows:

$$\Delta w_i(n) = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_i} + \alpha \Delta w_i(n-1)$$

where η – is the constant of learning speed, α – is the memory constant.

The disadvantage of this technology is the localized nature of the optimization process.

Multi-layer perceptron with genetic algorithm. The genetic algorithm (GA) [4] is an effective method for the optimization of pseudo-boolean functions which emulate the processes of natural evolution. Due to the binarization and the Gray code [5] the genetic algorithm is able to optimize the real-number functions. There are many examples in literature showing the advantage of the GA comparing to the classical optimization methods for MLP training, for example in [6].

Multi-layer perceptron with evolution strategy. The adaptation of the genetic algorithm for the direct optimization of the real value function without binarization is called evolution strategy (ES) [7]. The chromosome of the evolution strategy is the set of real values. ES can also be used for the task of MLP learning. The algorithm does not set any limitations on the optimized function.

Multi-layer perceptron with particle swarm optimization. Particle swarm optimization (PSO) [8] is the heuristic algorithm of direct search emulating the behavior of bird flocks, fish shoals, etc. Each particle (the solution for optimized problem) is characterized by the vector of speed $V(t)$ and the vector of position $X(t)$. The j -th speed component of the i -th particle is evaluated as follows:

$$V_i^j = wV_i^j + c_1 \text{rand}1_i^j (pbest_i^j - X_i^j) + c_2 \text{rand}2_i^j (gbest^j - X_i^j),$$

where c_1, c_2 – the acceleration coefficients, $pbest_i$ – the best position of i -th particle, $gbest$ – the best position of all particles, $\text{rand}1, \text{rand}2$ – uniformly distributed random variables from $[0, 1]$, w is the coefficient of insertion. The coordinates of the new position are calculated iteratively:

$$X_i = X_{i-1} + V_i.$$

Thus, each particle approaches both global and local optima. Random variables $\text{rand}1, \text{rand}2$ are responsible for the search in the small area of the found optimum points.

Multi-layer perceptron with numerical computing of partial derivatives. The optimization of functions with undifferentiated parts can be done using numerical values of partial derivatives. The derivatives can be estimated as follows:

$$F'(x_0) = \frac{F(x_0 - \varepsilon) - F(x_0 + \varepsilon)}{2\varepsilon}.$$

These estimations can be used by the optimization algorithm of the first order. In this study, the algorithm of gradient descent was used.

Non-parametric Parsen-Rosenblatt's estimation with genetic algorithm. Non-parametric methods play a special role among the algorithms for the data analysis. Non-parametric Parsen-Rosenblatt's estimator (PR) [9] has been successfully applied for the tasks of modeling, identification and control of complex systems.

Among the drawbacks of this method the following ones should be noted: the necessity to configure the smoothing parameters and processing of all training data at each iteration. The optimal smoothing parameters can determine which input arguments have the significant effect on the model, and which ones can be eliminated from the model without serious loss of accuracy.

For the data $\{u_{ij}, x_i\}$, where s is the number of samples and n is the dimension of the input space, the non-parametric Parsen-Rosenblatt's estimator is calculated as follows:

$$x_s(v) = \frac{\sum_{i=1}^s x_i \prod_{j=1}^n F\left(\frac{v_j - u_{ij}}{c_s^j}\right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^n F\left(\frac{v_j - u_{ij}}{c_s^j}\right)},$$

where v – the input vector, F – the bell function, for example Gaussian curve, c_s^j – smoothing parameters (width of the bell function). The quality of non-parametric model strongly depends on the values of the smoothing parameters. Moreover, the smaller value of the smoothing parameter indicates the larger importance of the current variable to the whole model.

Optimal smoothing parameters correspond to the minimum value of the average square error criterion:

$$Error(c_s) = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s \left(x_k - \frac{\sum_{i=1}^s x_i \prod_{j=1}^n F\left(\frac{u_{jk} - u_{ji}}{c_s^j}\right)}{\sum_{i=1}^s \prod_{j=1}^n F\left(\frac{u_{jk} - u_{ji}}{c_s^j}\right)} \right)^2_{k \neq i}.$$

The minimization of this criterion is performed by the genetic algorithm.

Experimental setup. The prediction was carried out by a sliding window method with a window length from 1 till 10 previous currency rate data with the unit step. For all neural networks the number of neurons on the hidden layer ranged from 1 till 20. For a particular type of neural network the optimal prediction window size and the number of neurons were determined experimentally. The prediction quality was determined by the MAE metric.

There were 200 neural networks (from 1 to 10 neurons at the input layer and from 1 to 20 neurons at the hidden layer) in each experiment. The activation function for the multi-layer perceptron was the hyperbolic tangent $f(w) = \text{th}(w)$. Also, there was a neuron bias [3] in MLP.

All available data were separated into training and test data in proportion $\frac{3}{4}$ to $\frac{1}{4}$ respectively. The best results of MSE metric on the test data for each problem are presented in Table 2.

Algorithm SBP has been restarted 10 times with the number of epochs $n = 7317$. The speed parameter was $\eta = 0.1$, the value of the memory parameter was chosen $\alpha = 0.25$.

There were the following setups and resources in GA for the MLP learning: the number of populations was 271, the number of individuals in each population was 271, the maximum step of binarization (with Gray's code) was 0.1 and each synopsis weight ranged in $[-3, 3]$. The type of selection was the tournament with the size of the tournament equal to 3, the type of the population forming was elite, the type of recombination was uniform, the type of mutation was normal (the probability of each gin mutation is $p = \frac{1}{n}$, where n is the chromosome size).

For the algorithm of the evolution strategy the following options were used: the number of populations was 271, the size of intermediate population was $\mu = 41$,

the number of individuals in each population was $\lambda = 271$, the size of parents pool was $\rho = 30$, the interval for each synaptic weight $[-3, 3]$, the type of recombination was intermediate [7], the type of population forming was $(\mu + \lambda)$.

The following options and resources were chosen for the MLP learning algorithm with PSO: $c_1 = c_2 = 2$, interval for each neural network weight was $[-3, 3]$, the number of swarms was 271, the number of particles in each swarm was 271, the speed limitation was 4 and the constant of the moment was $w = 0.81$.

For the MLP learning by gradient descent the following options were used: the coefficient of learning speed was $n = 0.1$, the number of steps was 7313, $\varepsilon = 10^{-8}$. This algorithms was run 10 times on each neural network.

The proposed method of neural network design was set up as follows. For structural optimization the GA with the following options was used: the number of populations was 15, the number of individuals in each population was also 15. The type of selection was tournament with the size of tournament equal to 3, the type of the population forming was elite, the type of the recombination was uniform and strong mutation level (the probability of each gin mutation was $p = \frac{3}{n}$, where n – the chromosome size).

For the parametrical optimization of each neural network structure the particle swarm optimization algorithm with the following parameters was used: $c_1 = c_2 = 2$, the interval for each neural network weight was $[-3, 3]$, the number of swarms was 15, the number of particles in each swarm was 15, the speed limitation was 4 and the constant of moment was $w = 0.81$.

For the best neural network structure the particle swarm optimization algorithm with the following parameters was used: $c_1 = c_2 = 2$, the interval for each neural network weight was $[-3, 3]$, the number of swarms was 150, the number of particles in each swarm was 150, the speed limitation was 4 and the constant of moment was $w = 0.81$.

For the task of smoothing parameter optimization by the GA the following settings were chosen. The number of populations was 271, the number of individuals in each population was also 271. The type of selection was tournament with the size of tournament equal to 3, the type of the population forming was elite, the type of the recombination was uniform and the mutation level was strong (the probability of each gin mutation was $p = \frac{1}{n}$, where n – the chromosome size).

All the described algorithms were implemented from scratch in C++ language by the authors.

The proposed algorithm has shown the best performance on the 7 from 13 forecasting problems. On the other 6 time series the algorithm was only slightly outperformed by the MLP with PSO. The advantage of the suggested method is the automatic determination of all the important aspects, such as the number of neurons on the hidden layer, types of activation functions, connections between neurons, etc.

References

1. Box G. E. P., Jenkins G. M. Time Series Analysis: Forecasting and Control, Holden-Day, San Francisco, CA.
2. Kamruzzaman J., Sarker R. A. Forecasting of Currency Exchange Rates using ANN: A Case Study.
3. Wasserman P. D. Neural Computing: Theory and Practice.
4. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. University of Michigan Press, Ann Arbor.
5. Gray F. Pulse code communication. U.S. Patent 2,632,058.
6. Montana D., Davis L. Training feedforward neural networks using genetic algorithms. International joint conference on artificial intelligence.
7. Beyer H., Schwefel H. Evolution strategies, a comprehensive introduction. Natural computing 1. P. 3–52.
8. Eberhart R., Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory. Proc. of sixth int. symposium on micro-machine and human science, Nagoya, Japan. P. 39–43.
9. Parzen E. On estimation of a probability density, function and mode // IEEE transactions on information theory. Vol. Pami-4, № 6. 1982. P. 663–666.

Table 2

The MAE criterion values for the best results of forecasting

MAE	MLP SBP	MLP GA	MLP ES	MLP PSO	MLP NUM	PR GA	NET PSO
AUD/USD	0.034148	0.011428	0.013778	0.010307	0.011815	0.052470	0.010188
CHF/JPY	3.704241	1.509978	1.258708	1.107943	3.448210	1.157921	1.140523
EUR/CHF	0.065937	0.011636	0.010799	0.009248	0.014545	0.155853	0.011724
EUR/GBP	0.009163	0.006831	0.007001	0.006625	0.009069	0.009890	0.006564
EUR/JPY	8.812449	11.847508	2.202127	1.401458	8.936750	1.571704	1.405196
EUR/USD	0.015725	0.013085	0.013660	0.012808	0.014412	0.014564	0.013166
GBP/CHF	0.053686	0.016296	0.017031	0.017330	0.049498	0.145116	0.013725
GBP/JPY	10.901556	10.895421	5.700924	1.654690	9.612234	6.182739	1.535645
GBP/USD	0.016016	0.012953	0.014562	0.012567	0.013086	0.012738	0.012851
NZD/USD	0.014358	0.010184	0.009745	0.009690	0.010118	0.022841	0.009472
USD/CAD	0.013623	0.010509	0.011513	0.010049	0.010824	0.014293	0.010237
USD/CHF	0.020761	0.010645	0.011908	0.010576	0.010980	0.085298	0.010454
USD/JPY	5.263673	4.674802	1.957348	1.706362	5.210588	7.796211	0.814446

М. Ю. Сидоров, С. Г. Заблотский, Е. С. Семенкин, В. Минкер

ЭВОЛЮЦИОННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Прогнозирование в различных технических, экономических и др. системах является важнейшей задачей современности. Методы искусственного интеллекта и машинного обучения являются эффективными средствами анализа в том числе и финансовых данных. Основной проблемой использования таких методов остается сложность настройки параметров моделей. Предлагается эволюционный способ формирования нейросетевых технологий, не требующий экспертных знаний в области нейронных сетей и теории оптимизации от конечного пользователя. Произведен сравнительный анализ показателей качества прогнозирования предложенной модели с другими методами искусственного интеллекта на исторических данных 13 валютных пар рынка FOREX, более чем за 12 лет. Предложенный алгоритм показал наилучшую результативность более чем на половине задач. На остальных задачах, алгоритм незначительно уступил многослойному перцептрону, обученному стайным алгоритмом.

Ключевые слова: нейронные сети, эволюционные алгоритмы, стайный алгоритм оптимизации, прогнозирование на FOREX.

© Sidorov M. Yu., Zablotskiy S. G., Semekin E. S., Minker W., 2012

UDK 004.89 (681.3)

Yu. V. Smeshko, T. O. Gasanova

MODIFICATION OF FUZZY C-MEANS ALGORITHM WITH AUTOMATIC SELECTION OF THE NUMBER OF CLUSTERS FOR SPEECH UTTERANCE CATEGORIZATION

In this paper we propose a fuzzy clustering algorithm, which is able to find the clusters in a data set without the number of clusters as a user input parameter. The algorithm is based on the standard fuzzy c-means method and consists of two parts: 1) detecting the number of clusters c^ ; 2) calculating the cluster partition with the obtained c^* . We apply this method to the preprocessed database which was provided by Speech Cycle Company. The proposed algorithm has been tested with optimal parameters which we have calculated on the test data.*

Keywords: unsupervised fuzzy classification.

Cluster analysis consists of methods used to find the group structure in a certain data set. These algorithms can be applied to many different problems, such as image segmentation, data mining, the analysis of genomic and sensorial data, among others. A lot of different clustering techniques have been appeared in the last few years. Clustering algorithms do not need knowledge about the object's group labels, thus they use unsupervised machine learning models.

However, many clustering algorithms require parameters which should be selected by user, i. e., the obtained clustering depends on some user input parameters which should be chosen for the certain dataset. The target number of clusters or equivalents of it (such as density indicators in density models) are usually required. In this respect, we should consider and develop approaches, which can automatically detect the true number of clusters in a given database with no prior information about the structure and group labels.

With the appearance of the classical clustering approaches in the 1970s, researchers like J. A. Hartigan (k-means) were very conscious about the problem of detecting the correct number of clusters and proposed some

metrics for automatically determining this value. The general approach is to evaluate the quality of solutions which were obtained with the different number of clusters and select the value of number of clusters that originates the optimum partition according to a quality criterion.

In this work we considered the fuzzy c-means clustering algorithm and developed its modification which is able to discover the number of clusters automatically. In contrast to hard clustering methods where each object can be unequivocally assigned to only one cluster, in soft clustering (fuzzy clustering), objects are associated to all possible clusters. There is a so-called membership matrix, whose elements are degrees of certain object's membership to each cluster. Fuzzy approaches are more appropriate to deal with the existence of polysemous words and phrases.

We have chosen fuzzy c-means algorithm and developed its modification in order to solve the clustering problem on the database provided by Speech Cycle. This database consists of utterances in text form and some phrases and words have different meaning in another context.

This paper is organized as follows: Section 2 and Section 3 introduce the standard fuzzy c-means algorithm and

its modification with automated choice of cluster's number, respectively. The value of fuzzyfier parameter is described in Section 4. We present the corpus employed in this study in Section 5. Results are summarized and discussed in Section 6. Finally, in Section 7, we draw conclusions and discuss the future directions.

Standard algorithm fuzzy-c-means. In the work [1] fuzzy-c-means algorithm has been proposed. The algorithm computes the fuzzy membership matrix starting from an initial choice of cluster medoids. The elements of the membership matrix μ_i^l denote the degree of membership of each object x_i to each cluster medoid τ^l . The objective function $Q(P)$ of fuzzy-c-means is

$$Q(P) = \sum_{l=1}^c \sum_{i=1}^m (\mu_i^l)^\gamma d(x_i, \tau^l), \quad (1)$$

where c is the number of clusters; m is the quantity of objects; $d(x_i, \tau^l)$ is the dissimilarity between the object x_i and the medoid τ^l ; γ is a fuzzyfier factor denoting the smoothness of the clustering solution.

The algorithm of fuzzy-c-means consists of an iterative repetition of two steps [1; 2]: (i) (re)computation of the cluster medoids; (ii) (re)calculation of objects membership to the classes. The main procedure is iterated until either the updated medoids remain the same or the maximum number of iteration is reached. The final solution is obtained when the deviation of objects from the medoids reaches the minimum.

Modified version of algorithm. The main disadvantage of the standard fuzzy-c-means algorithm is that the number of clusters must be necessarily known in advance. In this work we present the modification of fuzzy-c-means algorithm which automates the choice of the number of clusters. Modified algorithm must select the most "natural" number of clusters c^* from some range $[cn, ck]$. This range is defined by the user. An algorithm for solving this problem consists of two parts. In the first part, the database is partitioned into an integer number of fuzzy clusters from range $[cn, ck]$. The data partitioning is carried out using the iterative procedure of the standard fuzzy-c-means algorithm. For each partition the value of the additional functional $Q(x, c)$ for determining the number of clusters is estimated. c^* is taken to be the value of c that maximizes the functional $Q(x, c)$.

The number of clusters c^* when the functional reaches an extreme value is taken as the "most natural" number of fuzzy clusters. In the second part of the algorithm, the database is partitioned on c^* fuzzy clusters using the iterative procedure of the standard fuzzy-c-means algorithm.

The functional for determining the number of fuzzy clusters c^* is constructed using the compactness hypothesis [3]. The algorithm for calculating the functional value consists of three steps:

1) Computation of the index of "closeness", S , of objects within a cluster:

$$S = \frac{1}{c} \sum_{l=1}^c \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \mu_i^l d(x_i, \tau^l). \quad (2)$$

2) Computation of the index of "remoteness", D , of clusters from each other:

$$D = \frac{1}{c} \sum_{l=1}^c \frac{1}{c-1} \sum_{l' \neq l} d(\tau^l, \tau^{l'}), \quad (3)$$

where $d(\tau^l, \tau^{l'})$ is the dissimilarity between the medoid τ^l and the medoid $\tau^{l'}$, $l \neq l'$.

3) Computation of the value of functional [4]:

$$Q(x, c) = \ln \frac{D^a}{S^b + \varphi}, \quad (4)$$

where a, b, φ are the parameters that define the importance of the appropriate indices. The number of clusters c^* corresponds to the partition when the functional reaches a maximum value.

The fuzzyfier parameter. The parameter γ controls the influence of the membership matrix on the clustering. The parameter value γ can be selected in the range $1 \leq \gamma \leq \infty$ [5]. There are no recommendations about the selection of this parameter. Many researches use $\gamma = 2$ in their works.

In this work the criterion for a quantitative estimation of the degree of partition smoothness is offered. The initial information for the estimation of smoothness is given by the membership matrix. The algorithm for computing the estimation consists of the following steps: (1) to define the maximum degree of membership, k_l , to clusters for all objects; (2) to determine how many objects are assigned to each cluster on the basis of k_l ; (3) to calculate for each cluster its fuzzy weight, w_l , which is the sum of the membership degrees of all objects to this cluster; (4) to calculate the estimation of the smoothness partition using

$$W = \frac{1}{c} \sum_{l=1}^c |k_l - w_l|. \quad (5)$$

Figure 1 show 3 examples of the partitioning of a test set obtained by using different values of the fuzzyfier parameter (3 clusters, 20 binary objects in each cluster, the dimension of attributes space is 100). For the graphical presentation of the fuzzy classification results in a multidimensional attributes space the linear diagram is used [5]. On figure 1, *a* the "very fuzzy" partition is presented. Each object is assigned to all clusters with the equal membership degree. A result of this classification is unsatisfactory because there is very high level of uncertainty associated with the assignment an object to a cluster. The fuzzyfier parameter is equal to 3. The estimation of smoothness partition $W = 11.333$. On figure 1, *b* the fuzzy partition is presented. Some objects with high membership degree are assigned to only one cluster. Some objects with the equal membership degree are assigned to more than one cluster. Level of uncertainty of this classification is medium. The fuzzyfier parameter is equal to 2. The estimation of smoothness partition $W = 0.542$. On figure 1, *c* the unambiguous partition is presented. All objects are assigned to its

cluster with a high membership degree. In results of this classification the level of uncertainty is smallest. The fuzzyfier parameter is equal to 1.1. The estimation of smoothness partition $W = 0.026$.

The value of the estimation W depends on the fuzzyfier parameter γ . In the process of solving fuzzy classification problem the value of parameter γ we recommend to select in the range $1 < \gamma \leq 1.2$. In this case the value estimation $W < 1$. This means that each object has a high membership degree to only one cluster.

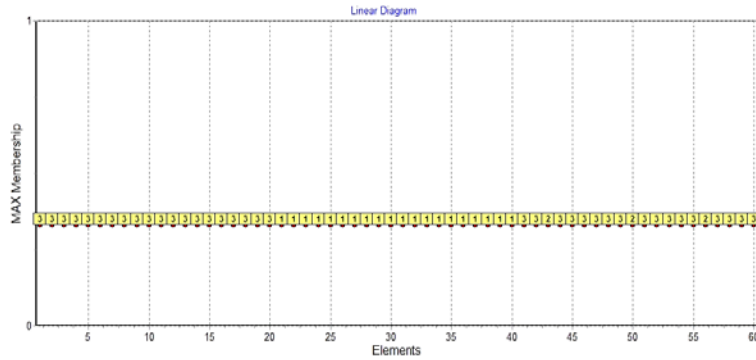
Corpus Description. For the experiments we used corpora data set collected from spoken language dialogue

system (SLDSs). SLDS is an important form of human-machine communication [6].

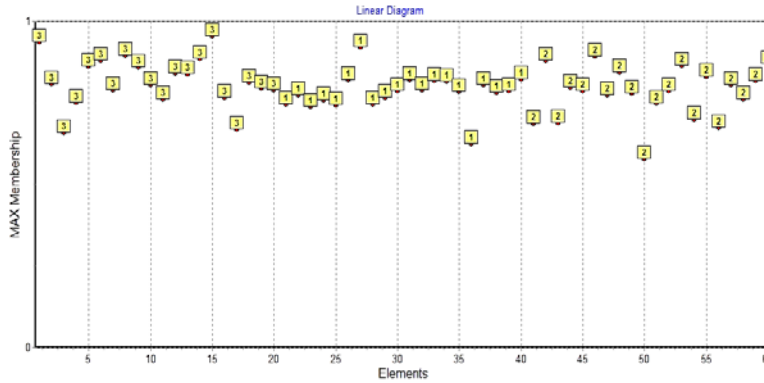
The initial database consists of utterances gathered from user interactions of a commercial troubleshooting agent of the Cable TV domains.

The initial database was preprocessed (the details of preprocessing of the initial database are described in the work [7]). The preprocessing module consists of part-of-speech (POS) tagging, morphological analysis, stop-word filtering, and bag-of-words representation.

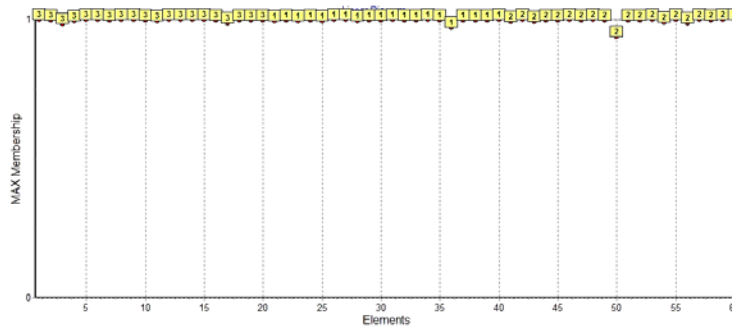
As an intermediate result they obtained the vocabulary which is used in all utterances.



a



b



c

Fig. 1:

a – the very fuzzy partition of test objects; b – the fuzzy partition of test objects; c – the unambiguous partition of test objects

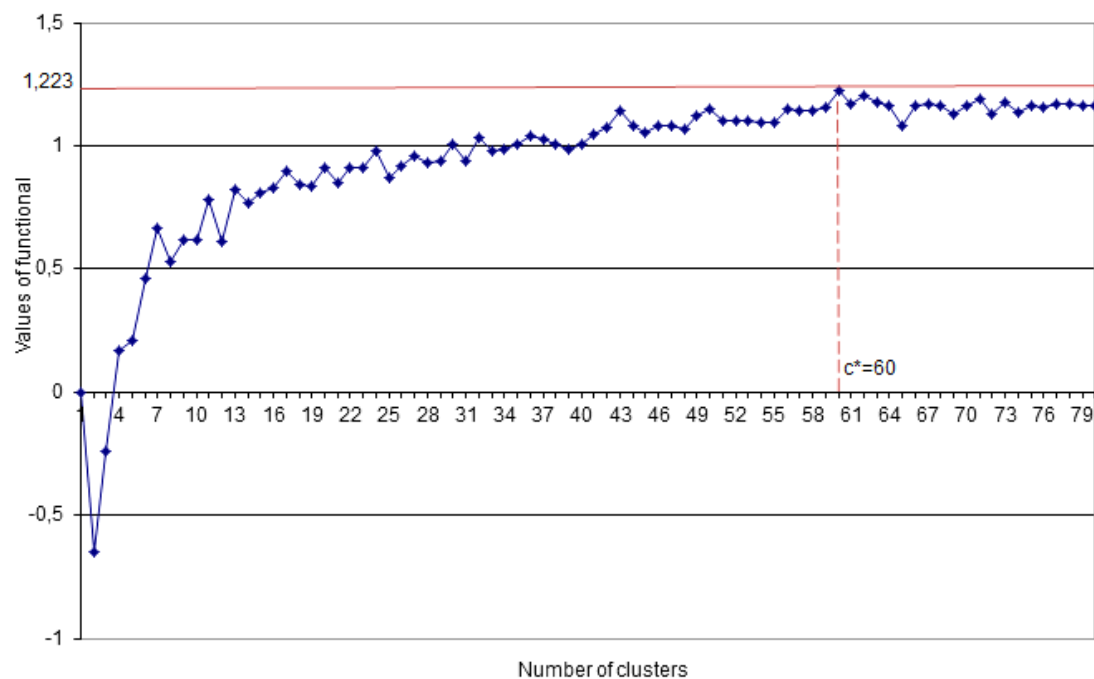


Fig. 2. The values of functional for determining the number of fuzzy clusters after implementation the algorithm on corpora data base

The processed data was then collected in an $m \times n$ dimensional matrix of binary elements. Each row of the matrix is an n -dimensional vector that represents an utterance from one corpora caller. The elements of the vector represent the presence or absence of the respective vocabulary elements. The quantity of utterances was $m = 2940$ and the vocabulary dimension was $n = 554$.

In order to find the optimal parameters of the proposed algorithm we have generated the binary test datasets. The objects of test data were chosen to be similar to the initial database. We use the vector of words distribution through all utterances to do this. At first is necessary to choose the values of parameters for procedure of generating test objects, such as cw is the number of new clusters; s is the number of objects in each cluster; v is the threshold value of the words appearance probability, where $0 < v < 1$; ok is the threshold value of the neighborhood objects.

The procedure of generating the test objects consists of the following steps: (i) computation the vector of distribution words as the sum of the appropriate words among the all utterances of the initial database; (ii) formation the binary matrix of the centers of cw new clusters with using the vector of distribution words and the random number generator by following rule: if the random number is less than the appropriate value of the vector of distribution words then appropriate element of matrix is equal to 1, otherwise the element is equal to 0; (iii) verification that the equivalent centers not were generated. If the matches are found then is necessary go back and repeat step (ii), otherwise go to following step; (iiii) creation the test object with using the random number generator on the basis of the center of new cluster by fol-

lowing rule: if the random number is more than value of parameter v then the current value of binary object is equal to appropriate value of center on the basis of which the given object is generated, otherwise the value of binary object is replaced by the opposite value; (iiii) computation the neighborhood of test object and comparison its value with the threshold value ok (the neighborhood of object is the sum of discrepancies between the appropriate values of generated object and the center of cluster on the basis of which the given object was created). If the value of neighborhood test object is more than the threshold value than is necessary go back and repeat step (iiii), otherwise the given object is saved in new database. The steps (iiii) and (iiii) are repeated until for all cw clusters the s test objects with the given neighborhood will be generated.

As a result of generating process the researcher has information about a number of clusters and object memberships. This information is necessary for choosing the appropriate algorithm parameters.

The modified algorithm was applied on corpora data base. The following values of algorithm parameters are chosen: the boundaries range $cn = 1$, $ck = 80$; the fuzzyfier parameter $\gamma = 1.1$; the stop parameter of algorithm procedure $\varepsilon = 0.0001$. The values of functional for determining the number of clusters are presented on figure 2.

The number of fuzzy clusters $c^* = 60$ because when the initial data base partitioned on sixty fuzzy clusters the maximum value of the criterion (1.223) on the entire range is obtained. The value of criterion W for the estimation of smoothness partition is equal to 0.193. The big-

gest fuzzy cluster consists of 160 utterances. The smallest fuzzy cluster includes 7 utterances.

There is labeled data which were manually marked by experts. They partitioned the initial utterances base into 77 clusters. However, in their partition there are 22 clusters which consist of less than 20 utterances. The 17 smallest clusters are jointed with the biggest clusters on the basis of the maximum similarity. This clusters are compared with the 60 clusters which obtained by the proposed algorithm. For the estimation of algorithm's results the following index is computed

$$E_r = \sum_{l=1}^c \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \|(\mu_i^l)^* - (\mu_i^l)^e\|, \quad (6)$$

where $(\mu_i^l)^*$ are results obtained by proposed algorithm, $(\mu_i^l)^e$ are results labeled by experts manually. For example, the Euclidean distance can be used as a norm. The results obtained by the proposed algorithm agree with the manually labeled data by 60 %.

Conclusion and Future Directions. In this paper we proposed a modification of fuzzy c-means clustering algorithm which does not need a number of clusters as an input parameter. This approach represents the way of an automated detecting the number of clusters. The algorithm is designed for solving the clustering task in the database which was provided by Speech Cycle company. This approach was also tested on specially created data to find optimal parameters of the algorithm (such as the fuzzyfier parameter γ and the estimation of smoothness partition W). With those parameters, we show that the initial data should be divided into 60 clusters. Furthermore, this method does not require the same sizes of clusters and can detect very small or very big groups of objects. The proposed approach can be extended not only to the given database but to any other clustering problem

as well. Although for the better results parameters of approach should be given using the a priori information of the data structure (if there is such information). Otherwise, the observed parameters can be applied.

These results will be used in an ensemble of unsupervised classifiers as one of algorithms. For the future work, we will also apply the proposed approach to other databases of Speech Cycle.

Acknowledgements. We would like to thank Speech Cycle company for providing the TV Cable database. This work was supported by Leonhard-Euler-Programm which is funded by Deutscher Akademischer Austausch Dienst (DAAD).

References

1. Bezdek J. C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. New York : Plenum Press, 1981.
2. Oliveira J. V., Pedrycz W. Advances in Fuzzy clustering and its Applications. England, West Sussex, John Wiley & Sons Inc. Pub, 1 edition, 2007.
3. Zagoruyko N. G. Application Methods of Data Analysis and Knowledges. Novosibirsk : Mathematic institute, 1999.
4. Zagoruyko N. G. Recognition Methods and its Application. Moscow : The Soviet Radio, 1972.
5. Everitt B. S., Landau S., Leese M., Stahl D. Optimization Clustering Techniques in Cluster Analysis. Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd., 2011.
6. Minker W., Albalade A., B'uhle D., Pittermann A., Pittermann J., Strauss P., Zaykovskiy D. Recent Trends in Spoken Language Dialogue Systems. Egypt, Cairo, In Proc. of the ICIT, 2006.
7. Amparo G. New Strategies on Semi-Supervised and Unsupervised Machine Learning. Germany, Ulm, Ph.D. Thesis, 2010.

Ю. В. Смешко, Т. О. Гасанова

МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА НЕЧЕТКИХ С-СРЕДНИХ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ВЫБОРОМ КОЛИЧЕСТВА КЛАССОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ БАЗЫ ЗАПРОСОВ

Предложен алгоритм нечеткой кластеризации с возможностью автоматического выбора количества кластеров, на которое может быть разделен набор исходных данных. Разработанный алгоритм основан на стандартной процедуре алгоритма нечетких С-средних и состоит из двух частей: 1) выбирается «наиболее подходящее» количество нечетких кластеров c^ ; 2) набор данных разбивается на c^* нечетких кластеров. Алгоритм применен к обработанной базе данных, которая предоставлена компанией Speech Cycle. Значения параметров алгоритма подобраны на тестовых задачах.*

Ключевые слова: нечеткая кластеризация с самообучением.

© Smeshko Yu. V., Gasanova T. O., 2012

STATISTICAL MODELING OF INTERACTION QUALITY IN SPOKEN DIALOGUE SYSTEMS: A COMPARISON OF (CONDITIONED) HIDDEN MARKOV MODEL-BASED CLASSIFIERS VS. SUPPORT VECTOR MACHINES

The Interaction Quality (IQ) metric has recently been introduced for measuring the quality of an interaction with a Spoken Dialogue System (SDS). The metric allows for an estimation of a quality score at arbitrary points in a spoken human-machine interaction. While previous work relied on Support Vector Machines (SVMs) for classifying the score based on a static feature vector representing the entire previous interaction, we evaluate a Conditioned Hidden Markov Model (CHMM) which accounts for the sequential character of the data and, in contrast to a regular Hidden Markov Model (HMM), provides class probabilities. The results show that a CHMM achieves an Unweighted Average Recall (UAR) of 0.39. Thereby it is outperformed by a regular HMM with an UAR of 0.44 and an SVM with an UAR of 0.49, both trained and evaluated under the same conditions.

Keywords: interaction quality, support vector machines.

To evaluate the quality of Spoken Dialogue Systems (SDSs), different measures exist. Unfortunately, objective metrics like, e. g., task completion or dialogue duration are not human-centered. Subjective measures compensate for this by modeling the user's subjective experience.

However, in human-machine dialogues, there is no easy way of deriving the user's satisfaction level. Furthermore, a regular user does not want to spend time answering questions about the performance of the system. Human-machine dialogues usually have no conversational character but are task oriented.

Therefore, approaches for determining the satisfaction level automatically have been under investigation for several years, most prominently the PARADISE framework by Walker et al. [1]. Assuming a linear dependency between objective measures and User Satisfaction (US), a linear regression model is applied to determine US on the dialogue level. This is not only very costly, as dialogues must be performed with real users, but also inadequate if quality on a finer level is of interest, e.g., on the exchange level. To overcome this issue, work by Schmitt et al. introduced a new metric for measuring the performance of a SDS on the exchange level called Interaction Quality (IQ) [2].

Human-machine dialogues may be regarded as a process evolving over time. A well-known statistical method for modeling such processes is the Hidden Markov Model (HMM). Since HMMs do not provide class probabilities, we present an approach for determining IQ using Conditioned Hidden Markov Models (CHMMs). They were originally introduced by Glodek et al. [3] who applied the model to laughter detection on audio-visual data.

In Section 2, we discuss other work on determining qualitative performance of SDSs and in Section 3 we present details about the definition of IQ and the data we use. Further, Section 4 presents a formal description of the CHMM. Evaluation is described in Section 5 and, finally, Section 6 concludes this work.

Related Work. Work on determining User Satisfaction using HMMs was performed by Engelbrecht et al. [4]. They predicted US at any point within the dialogue

on a five-point scale. Evaluation was performed based on labels the users applied themselves during a Wizard-of-Oz experiment. The dialogue course paused during labeling. They achieved a Mean Squared Error of 0.086.

Further work which incorporates HMMs was presented by Higashinaka et al. [5]. The HMM was trained on US ratings at each exchange which were derived from ratings for the whole dialogue. The authors compare their approach with HMMs trained on manually annotated exchanges achieving a better performance for the latter.

Higashinaka et al. also present work on the prediction of turn-wise ratings for human-human (transcribed conversation) and human-machine (text dialogue from chat system) dialogues [6].

Ratings ranging from 1-7 were applied by two expert raters labeling smoothness, closeness, and willingness.

Dealing with true User Satisfaction, Schmitt et al. presented their work about statistical classification methods for automatic recognition of US [7]. The data was collected in a lab study where the users themselves had to rate the conversation during the ongoing dialogue. Labels were applied on a scale from 1 to 5. By applying a Support Vector Machine (SVM), they achieved an Unweighted Average Recall (UAR) of 49.2.

Interaction Quality. For Interaction Quality recognition, we use the LEGO corpus published by Schmitt et al. [8]. It is based on 347 calls to the "Let's Go Bus Information System" of the Carnegie Mellon University in Pittsburgh [9] recorded in 2006. Labels for IQ have been assigned by three expert raters to 200 calls consisting of 4,885 exchanges in total. IQ was labeled on a scale from 1 (extremely unsatisfied) to 5 (satisfied). As the users are expected to be satisfied at the beginning, each dialogue's initial rating is 5.

Parameters used as input variables for the IQ model have been derived from the dialogue system modules automatically for each exchange. Further, parameters on three levels have been created: the exchange level, the dialogue level, and the window level.

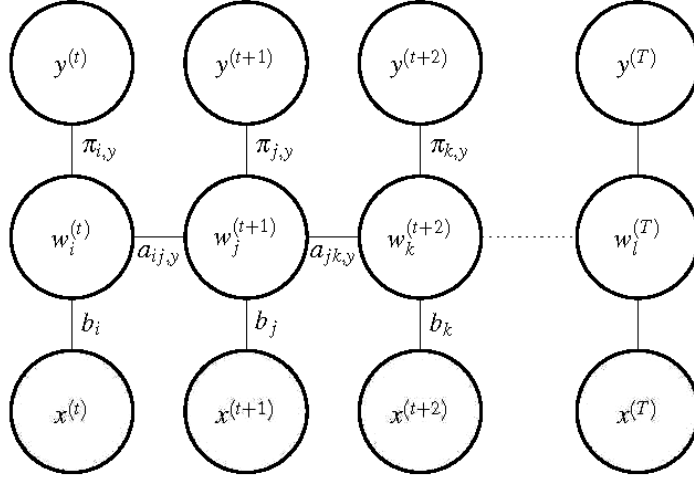


Fig. 1. General graphical representation of the CHMM model in the discrete time domain. For each time step t , $y^{(t)}$ represents the most likely label and $w_i^{(t)}$ the most likely hidden state given observation $x^{(t)}$. b_i represents the probability for the observation and $\pi_{i,y}$ the label probability. $a_{ij,y}$ defines the probability of transitioning from state $w_i^{(t)}$ to state $w_j^{(t+1)}$

As parameters like ASRCONFIDENCE or UTTERANCE can directly be acquired from the dialogue modules they constitute the exchange level. Based on this, counts, sums, means, and frequencies of exchange level parameters from multiple exchanges are computed to constitute the dialogue level (all exchanges up to the current one) and the window level (the three previous exchanges).

Schmitt et al. [2] performed IQ recognition on this data using SVMs. They achieved an Unweighted Average Recall (UAR) of 0.58.

CHMM. Conditioned Hidden Markov Models [3] are an extension of regular HMMs. They provide probabilities for multiple classes. A sequence diagram illustrating the principle operation method of the CHMM in the time domain is shown in Figure 1.

Model Description. Like the continuous HMM, the CHMM also consists of a discrete set of hidden states $w_i \in W$ and a vector space of observations $X \subseteq R^n$. A separate emission probability $b_i(x^{(t)})$ is linked to each state defining the likelihood of observation $x^{(t)} \in X$ at time t while being in state w_i . Further, $a_{ij,y} = p(w^{(t)} = w_j | w^{(t-1)} = w_i, y^{(t)} = y)$ defines the transition probability of transitioning from state w_i to w_j . In contrast to the regular HMM, the transition probability distribution also depends on the class label $y \in Y$. This results in the transition matrix $A \in R^{|W| \times |W| \times |Y|}$.

Furthermore, the meaning of the initial probability $\pi_{i,y} = p(w^{(1)} = w_i | y^{(1)} = y)$ for state w_i is altered. It additionally represents the label probability for label y at any time with the corresponding matrix $\pi \in R^{|W| \times |Y|}$. An schematic example of a CHMM with two labels and three hidden states is illustrated in Figure 2.

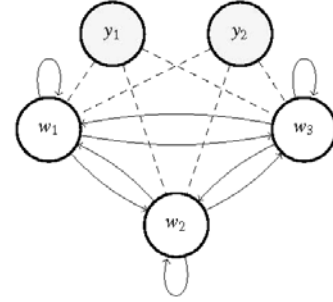


Fig. 2. This is an example of a CHMM with 2 labels and 3 hidden states. The dashed lines represent the label dependence of the hidden states, while the full lines illustrate state transitions. Please note that state transitions also depend on the labels which is not shown here

According to Glodek et al. [3], the likelihood of an observation sequence $x^{(n)}$ with corresponding label sequence $y^{(n)}$ is given by

$$\begin{aligned}
 p(x^{(n)}, w^{(n)} | y^{(n)}, \lambda) \\
 = \sum_{w \in W} p(w^{(1)} = w | y^{(1)}, \pi) \\
 \cdot \prod_{t=2}^T p(w^{(t)} = w_j | w^{(t-1)} = w_i, y^{(t)}, A) \\
 \cdot \prod_{t=1}^T p(x^{(t)} | w^{(t)} = w_j, \theta),
 \end{aligned} \tag{1}$$

where $w^{(n)}$ denotes the sequence of the hidden states. Further, in this work, the emission probability $b_j(x^{(t)}) = p(x^{(t)} | w^{(t)} = w_j, \theta)$ is modeled as a Gaussian Mixture Model (GMM) with the parameter set $\theta = \{ \{ \varphi_{j,k} \}_k^K, \{ \mu_{j,k} \}_k^K, \{ \Sigma_{j,k} \}_k^K \}$. The parameter set λ

describing the complete CHMM is defined by $\lambda = \{\pi, A, \theta\}$.

Learning. The learning phase consists of two parts: *initialization* and *training*.

For initialization, the k -means algorithm [10] is used and the number of clusters k corresponds to the number of hidden states. After clustering initial observation sequences with their corresponding label sequences, the transition probabilities are updated according to the transitions between the clusters, given the labels. The initial probabilities are updated according to the cluster and the corresponding label that each element belongs to.

Training is performed using the Baum-Welch algorithm, which is heavily dependent on the initialization. When comparing the HMM explained by Rabiner et al. [11] to the CHMM, several changes (Changes in Eq.: 19, 20, 24, 25, 27, 37, 40a, 40b and 40c from [11]) must be applied to the Baum-Welch algorithm.

The α s and β s of the Forward-Backward algorithm as given by Glodek et al. [3] are

$$a_{t,y}(j) = b_j(x^{(t)}) \cdot \sum_{i \in W} a_{ij,y} \cdot a_{t-1,y}(i) \quad (2a)$$

$$a_{1,y}(j) = b_j(x^{(1)}) \cdot \pi_{j,y} \quad (2b)$$

$$\beta_{t,y}(i) = \sum_{j \in W} a_{ij,y} \cdot b_j(x^{(t+1)}) \cdot \beta_{t+1,y}(j) \quad (3a)$$

$$\beta_{T,y}(i) = 1 \quad (3b)$$

$$\beta_{0,y}(i) = \sum_{j \in W} \pi_{j,y} \cdot b_j(x^{(1)}) \cdot \beta_{1,y}(j) \quad (3c)$$

The state beliefs $\gamma_{t,y}(j)$ and the transition beliefs $\xi_{t-1,t,y}(i, j)$ are then computed by using

$$\gamma_{t,y}(j) = \frac{\alpha_{t,y}(j) \cdot \beta_{t,y}(j)}{p(X)} \quad (4)$$

$$\xi_{t-1,t,y}(i, j) = \frac{\alpha_{t-1,y}(i) \cdot b_j(x^{(t)}) \cdot a_{ij,y} \cdot \beta_{t,y}(j)}{p(X)} \quad (5)$$

where $\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_{t,y}(i)$ is the expected number of transitions from w_i given y and $\sum_{t=1}^{T-1} \xi_{t-1,t,y}(i, j)$ is the expected number of transitions from w_i to w_j given y .

Parameter learning is performed after evaluation of N sequences, updating the initial probabilities using the following formula

$$\begin{aligned} \pi_{i,y} &= \frac{\text{expected number of times of being} \\ &\text{in } w_i \text{ at time } t=1 \text{ given } y}{\text{expected number of times of being} \\ &\text{in all } w \text{ at } t=1 \text{ given } y} = \\ &= \frac{\sum_{l=1}^N \delta_{y^{(1)(l)}=y} \gamma_{1,y^{(n)(l)}}(i)}{\sum_{l=1}^N \sum_{j \in W} \delta_{y^{(1)(l)}=y} \gamma_{1,y^{(n)(l)}}(j)} \end{aligned} \quad (6)$$

where $\sum_{i=1}^n \pi_{i,y} = 1$ and δ is the Kronecker delta.

The update for the transition probabilities after evaluating N sequences is

$$\begin{aligned} a_{ij,y} &= \frac{\text{expected number of transitions from } w_i \text{ to } w_j \text{ given } y}{\text{expected number of transitions from } w_i \text{ given } y} = \\ &= \frac{\sum_{l=1}^N \sum_{t=0}^{T-1} \xi_{t-1,t,y^{(n)(l)}}(i, j) \delta_{y^{(t)(l)}=y}}{\sum_{l=1}^N \sum_{t=0}^{T-1} \gamma_{t,y^{(n)(l)}}(j) \delta_{y^{(t)(l)}=y}} \end{aligned} \quad (7)$$

where

$$\forall_{y \in Y} \sum_{j=1}^n a_{ij,y} = 1.$$

The emission probabilities can be computed in accordance with the methods presented by Rabiner et al. [11]. As the state beliefs depend on y , a sum over all labels has to be applied in order to create label independent emission probabilities.

Evaluation. The Viterbi algorithm generates a sequence of expected labels which are evaluated with the metrics, which described in the following.

Results for CHMM experiments according to the number of hidden states along with results for regular HMM and SVM classification. The '*' indicates the best result

Class	# states	UAR	Kappa	Rho
SMO	-	0.49	0.61	0.77
HMM	5	0.44	0.56	0.72
CHMM	5	0.38	0.40	0.56
	6	0.38	0.39	0.57
	7	0.35	0.40	0.59
	8	0.37	0.41	0.59
	9*	0.39	0.43	0.60
	10	0.37	0.39	0.55
	11	0.36	0.41	0.58

Metrics. The **Unweighted Average Recall (UAR)** for multi-class classification problems is the accuracy corrected by the effects of unbalanced data.

To measure the relative agreement between two corresponding sets of ratings we apply **Cohen's Kappa** [12]. It is defined by the number of label agreements corrected by the chance level of agreement divided by the maximum proportion of times the labelers could agree is computed. In order to take account for ordinal scores, a weighting factor w is introduced reducing the discount of disagreements the closer the ratings are together [13]:

$$w = \frac{|r_1 - r_2|}{\text{range}} \quad (8)$$

Here, r_1 and r_2 denote the rating pair and range the maximum distance which may occur between two ratings. This results in $w = 0$ for agreement and $w = 1$ if the ratings differ the most.

For measuring the correlation between two variables, **Spearman's Rank Correlation Coefficient** is used [14]. It is a non-parametric method assuming a monotonic function between the two variables, defined by

$$\rho = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (9)$$

where x_i and y_i are corresponding ranked ratings and $\bar{x}$ and $\bar{y}$ the mean ranks. Therefore, two sets of ratings may have total correlation even if they never agree. This would happen if all ratings are shifted by the same value, for example.

Setup and Results. For the experiments, we used the LEGO corpus presented in Section 3. Since the values of multiple parameters are constant for most exchanges, they are excluded. Otherwise, this would have resulted in rows of zeros during computation of the covariance matrices of the feature vectors. A row of zeros in the covariance matrix will make it irreversible, which will cause errors during the computation of the emission probabilities.

The model operated with a vector of 29 dimensions. Results of the experiments are presented in Table 1. The data is ranked according to the number of hidden states used for the model. The accuracy decreased remarkably after passing the threshold of 9 states, where the highest values for UAR, κ , and ρ could be achieved.

The results are computed using 6-fold cross validation. When evaluating the performances for each fold, best performance was achieved for 9 states with an UAR of 0.45, Cohen's κ of 0.58, and Spearman's ρ of 0.74.

To define a baseline, we rely on the approach by Schmitt et al. [2]. Using the same features, we trained a Support Vector Machine (SVM) with a linear kernel. The results are shown in Table. Unfortunately, the CHMM approach was not able to outperform the baseline. This is most likely caused by the fact that only little training data was available.

Furthermore, we conducted an experiment using regular HMMs. Using 5 hidden states, we assigned a label to each hidden state. As depicted in Table 1, the CHMM performed worse than the HMM approach. Though performance of both models is dramatically influenced by the lack of data, the CHMM is rather prone to this, as *(number of labels) · (number of hidden states)* additional probability models have to be estimated.

As dialogues have a sequential structure, an approach for estimating Interaction Quality on the exchange level has been evaluated using Conditioned Hidden Markov Models. Experiments were conducted for measuring its performance. The best result with 9 hidden states is outperformed vastly by previously presented methods based on SVM classification. We identified the lack of training data as the cause for this.

References

1. Walker M., Litman D., Kamm C. A., Abella A., Paradise: a framework for evaluating spoken dialogue agents // Proceedings of the eighth conference on European chapter of the Association for Computational Linguistics. Morristown, NJ, USA: Association for Computational Linguistics, 1997. P. 271–280.
2. Schmitt A., Schatz B., Minker W. Modeling and predicting quality in spoken humancomputer interaction // Proceedings of the SIGDIAL 2011 Conf. Portland, Oregon : Association for Computational Linguistics, Jun. 2011.
3. Glodek M., Scherer S., Schwenker F. Conditioned hidden markov model fusion for multimodal classification // Proceedings of the 12th Annual Conf. of the Intern. Speech Communication Association (INTERSPEECH 2011). International Speech Communication Association, Aug. 2011. P. 2269–2272.
4. Engelbrecht K.-P., G'odde F., Hartard F., Ketabdar H., M'oller S. Modeling user satisfaction with hidden markov model // SIGDIAL '09: Proc. of the SIGDIAL 2009 Conf. Morristown, NJ, USA: Association for Computational Linguistics, 2009. P. 170–177.
5. Higashinaka R., Minami Y., Dohsaka K., Meguro T. Modeling user satisfaction transitions in dialogues from overall ratings // Proceedings of the SIGDIAL 2010 Conf. Tokyo : Association for Computational Linguistics, Sep. 2010. P. 18–27.
6. Higashinaka R., Minami Y., Dohsaka K., Meguro T. Issues in predicting user satisfaction transitions in dialogues: Individual differences, evaluation criteria, and prediction models // Spoken Dialogue Systems for Ambient Environments, Lecture Notes in Computer Science, in G. Lee, J. Mariani, W. Minker, and S. Nakamura, Eds. Springer Berlin : Heidelberg. 2010. Vol. 6392. P. 48–60.
7. Schmitt A., Schatz B., Minker W. A statistical approach for estimating user satisfaction in spoken human-machine interaction // Proceedings of the IEEE Jordan Conf. on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT). Amman : IEEE, Dec. 2011.
8. Schmitt A., Ultes S., Minker W. A parameterized and annotated corpus of the cmu let's go bus information system // Intern. Conf. on Language Resources and Evaluation (LREC), in-press.
9. Raux A., Bohus D., Langner B., Black A. W., Eskenazi M. Doing research on a deployed spoken dialogue system: One year of lets go! experience // Proc. of the Intern. Conf. on Speech and Language Processing (ICSLP), Sep. 2006.
10. Faber V. Clustering and the continuous k-means algorithm. Los Alamos Science. 1994. № 22. P. 138–144.
11. Rabiner L. R. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition. San Francisco, CA : Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1989.
12. Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales // Educational and Psychological Measurement. 1960. Vol. 20, № 1. Apr. P. 37–46.
13. Cohen J. Weighted kappa: Nominal scale agreement provision for scaled disagreement or partial credit // Psychological bulletin. 1968. Vol. 70, № 4. P. 213.
14. Spearman C. The proof and measurement of association between two things // American Journal of Psychology. 1904. Vol. 15. P. 88–103.

С. Ультес, А. Шмитт, Р. Эль Хаб, В. Минкер

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РЕЧЕВЫХ ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМАХ: СРАВНЕНИЕ КЛАССИФИКАТОРОВ, ОСНОВАННЫХ НА (УСЛОВНЫХ) СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЯХ, И МАШИН ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ

В последнее время была представлена метрика качества диалога для оценки качества взаимодействия с языковой диалоговой системой. Эта метрика позволяет получить оценку качества в произвольный момент взаимодействия человека с машиной. В то время как предыдущая работа базировалась на методе опорных векторов (SVM) для классификации качества взаимодействия на основе статического характеристического вектора, представляющего всю предысторию взаимодействия, здесь мы исследуем условные скрытые марковские модели (СНММ), которые принимают во внимание последовательный характер данных и, в отличие от стандартных скрытых марковских моделей (НММ), вычисляют вероятности классов. Экспериментальные результаты показали, что СНММ достигла значения невзвешенного среднего вызова (UAR) равного 0.39. Таким образом, алгоритм уступает НММ с UAR равным 0.44 и SVM с UAR равным 0.49. Все алгоритмы тренировались и исследовались в равных условиях.

Ключевые слова: качество взаимодействия, машины опорных векторов.

© Ultes S., Schmitt A., ElChab R., Minker W., 2012

UDC 519.234

K. V. Zablotskaya, S. G. Zablotskiy, F. Fernández-Martínez, W. Minker

LANGUAGE STYLE MATCHING AND VERBAL INTELLIGENCE

In this paper language style matching of speakers yielding different verbal intelligence was analyzed. The work is based on a corpus consisting of 100 descriptions of a short film (monologues), 56 discussions about the same topic (dialogues) and verbal intelligence scores of the test persons. According to the results, higher verbal intelligent speakers showed a greater degree of language style matching when describing the film and were able to better adapt to their dialogue partners compared to lower verbal intelligent participants.

Keywords: spoken dialogue system, linguistic analysis, ANOVA.

Statistical approaches are often applied to text analysis and information retrieval problems. For example, TF-IDF measures may be used for classification of documents into a fixed number of predefined categories. Comparing a document with special dictionaries may be helpful for its content and semantic analysis. Linguistic analysis of texts allows researchers to determine additional information about authors: age, social status, emotions, psychological state, etc. In this research we applied a relatively new statistical method, tokens n-gram distributions, to the analysis of language style matching (LSM).

When two speakers are talking to each other, they try to adapt to their dialogue partner and to somehow synchronize their verbal behaviors. This phenomenon was investigated in [1]. In [2] linguistic style matching in human-human conversations was analyzed. For the linguistic analysis all the utterances were compared with a special dictionary which contained words sorted by a number of categories. The usage of each category was analyzed on conversation and turn-by-turn levels and showed that speakers synchronized their words when talking to each

other. In [3] college students were asked to write answers to several questions formulated in different styles. It was shown that students followed the language styles of written questions.

In this paper we analyzed LSM of speakers with different verbal intelligence. This investigation may be helpful for improvement of user-friendliness of spoken language dialogue systems (SLDSs). SLDSs which automatically adapt to users' language styles and change their dialogue strategies may help users to feel more comfortable when interacting with them. However, it is necessary to know how different speakers change their own language styles in order to adapt to their dialogue partners. In [3] it was shown that students with higher grades matched the linguistic styles of asked questions closer than other students participated in the experiment. In this research we analyzed spoken utterances of people with different verbal intelligence. In the first part of this research we analyzed similarity between language styles of verbal descriptions of a short film (monologues) made by test persons who participated in our experiments (German

native speakers of different ages, social status and education levels) and the language style of the film transcript. In the second part, LSM of dyadic conversations were compared with verbal intelligence scores of the dialogue partners and their levels of acquaintance (whether the dialogue partners were relatives/close friends or strangers who had not met each other before the experiment). In other words, our goal was to investigate how adaptation in a conversation depends on the relationship between dialogue partners and whether their levels of verbal intelligence play the role in this process.

Corpus Description. For the corpus collection 100 German native speakers of different genders, ages, educational levels and social status were asked to participate in a study conducted at the University of Ulm, Germany. The participants were shown a short film from the TV-Program Galileo and were asked to imagine that they were talking to a good friend of theirs. They had to describe the main idea of the film with their own words. The candidates were not asked to somehow follow the language style of the film; they were asked to talk as naturally as possible in order to capture their every-day conversation styles. The chosen film was about an experiment on how long people could stay awake. Two men and one woman were asked to stay in the same house and to fight against sleep. When they were in a bathroom, they had to sing a song or to whistle. The participants also had to take different tests to control their concentration, memory, attention, condition and a general well-being. As a result the woman won. She could be without sleep for 58 hours. At the end of the film it was told that sleep was very necessary and experiments with animals showed that being without sleep can be dangerous to your life.

91 out of 100 participants were asked to make 10-minute conversations with another test person resulting in 55 two-person dialogues and 1 three-person dialogue. The topic of the dialogue was about the education and the school system in Germany. The participants had to express their opinions, to determine advantages and disadvantages of the school system, to talk about teachers, lectures, marks, etc. If the candidates hadn't met each other before and had difficulties in making a dialogue, they were asked to dispute and to prove a certain position about the school system. For example, they were asked to imagine that they had different points of view about German education. The first participant was asked to prove that the school system in Germany is very good, that the children get a very good education and it is no use making changes to it. The second participant was asked to describe bad features of German education, make different examples and to offer some innovations. Sometimes it helped the participants to dispute because they could analyze the position of the dialogue partner and to react in some way. But sometimes it was more difficult for the participants to keep the conversation going because they couldn't find (for example) good features of the education if their private opinion was different.

The other 9 test persons were not able to participate in dialogues because the experiment was time consuming for

them. Also, several test persons participated in several dialogues with different dialogue partners.

Afterwards, verbal intelligence of the candidates was measured using the Hamburg Wechsler Intelligence Test for Adults [4]. It's the German version of the American original. Its scale is based on a projection of the subject's measured rank on the Gaussian bell curve with a center value (average IQ) of 100 and a standard deviation of 15. The test is organized for adults ranging in age from 16 to 74 years and consists of 6 verbal and 5 performance tests. Education, experience and life-style also contribute to scoring better on this test. For the research we used only the verbal section:

- *Information.* With this sub-test the general knowledge is measured; 25 questions come from a particular culture. For example, «What is the capital of Russia?»

- *Comprehension.* This sub-test measures social awareness and common-sense. It focuses on the social sense and the conception of cultural values. For example, «What would you do if you lost your way in a forest?»

- *Digit Span.* The auditory short memory, concentration and attention are measured with this sub-test. A participant is asked to repeat strings of digits forward and then backward.

- *Arithmetic.* Arithmetic problems are offered in a storytelling way to identify mental alertness. It focuses upon attention and concentration while manipulating mental mathematical problems. For example, «Seven envelopes cost twenty five cents. How many envelopes can you buy if you have one dollar?».

- *Similarities in Dissimilar Objects.* A test taker is asked to find abstract similarities among different objects, for example among «a dog» and «a lion». With this test, abstract reasoning and power of conceptualization are measured.

- *Vocabulary.* A participant is asked to explain the meaning of different words, for example «to crawl» or «a needle». The sub-test measures the comprehension of meanings and relations between the expressive words. For example, «What does the word zebra mean?»

As a result, the corpus contains the audio and textual material of 100 monologues, 56 dialogues and 100 verbal intelligence scores of the participants.

Language Style Matching. When a two-person conversation is kept going in a smooth and easy way, this means that the dialogue partners are trying to adapt to each other and to somehow coordinate their speech. The process of adaptation is based on synchronization with the emotional state of the other, listening to his or her point of view, finding proper words for expressing own thoughts and feeling and coordinating with his or her language style. Language style coordination may be reflected through the usage of similar words, phrases, sentences and sentence structures. In other words, if we analyze two texts with synchronized language styles and measure the similarity between them, its value should be high.

In this research, the degree of alignment between frequency distributions of a certain feature (token) was used as a measure of similarity between two texts. For compar-

ing the frequency distributions the chi-square test was chosen because it does not require the normality of distributions and is easy to implement. A detailed explanation of this method can be found in [5] and [6]. This technique has shown its efficiency in a number of studies, for example in analysis of authorship [7], political parties' activity [8, 9] and quantifying "strength of characterization within plays» [5]. In this section we will describe just the main idea of the approach.

Let F_i and F_j be two text files containing n_i and n_j tokens correspondingly. If F_i and F_j have the same language style, we consider the texts to be taken from the same population and the distributions of tokens from the two files should not be significantly different (null hypothesis).

The chi-square statistic is calculated based on the observed and expected values of tokens in both text-files. If the chi-value χ_i^2 is less than certain significance threshold c_i^2 (based on the degrees of freedom and a significance level), the null hypothesis is accepted and the two files may be considered as having a similar language style (making an assumption that the language style is reflected by tokens of this type). For estimating the degree to which the two texts were similar, we calculate the distance between these two values:

$$\text{Similarity}_i = S_i = \chi_i^2 - c_i^2.$$

If $-c_i^2 \leq S_i \leq 0$, the similarity between the texts is significant. If $S_i > 0$, the null hypothesis is rejected: the analyzed texts have different language styles.

In this investigation four different types of tokens were used:

– Letter *n*-gram distributions.

– Word *n*-gram distributions.

– Lemma *n*-gram distributions. At first we analyzed all the lemmas which occurred in the monologues and the film. Further we will refer to this feature as *Lemma (Type 1)*. For taking into account that we work with spoken language, which may contain broken words, unfinished phrases and paraverbal expressions (like ah, hmm, etc.), for monologue analysis we used only lemmas which correspond to the following parts of speech: nouns, pronouns, verbs, adverbs, prepositions, conjunctions, interjections and articles. Such lemmas may be more important for reflecting language style matching. Let's refer to this feature as *Lemma (Type 2)*.

– Part-of-speech *n*-gram distributions. At first we analyzed *n*-gram distributions of all parts of speech occurred in the monologues (*Part-of-speech (Type 1)*). Secondly, *n*-grams were calculated only for parts of speech mentioned in the previous item (*Part-of-speech (Type 2)*).

Procedure and Results. In this research we analyzed differences in language styles of people with different verbal intelligence. The experiments described below will allow us to explore to what degree our test-persons

matched the language style of the film when describing it and whether they were able to adapt to their dialogue partners or not.

Language Style Matching. Experiment 1. Using the k-means algorithm, the verbal intelligence scores of the test persons were partitioned into:

a) 2 clusters (Cluster P_1 consisted of test persons with lower verbal intelligence, P_2 contained candidates with higher verbal intelligence);

b) 3 clusters (P_1 - lower verbal intelligence, P_2 - average verbal intelligence, P_3 - higher verbal intelligence).

For each "couple" ($monol_i$ and $film$, $i = \overline{1, N}$, N - number of monologues) the similarity S_i among distributions of tokens (word, letter, lemma and part-of-speech *n*-grams, $n = \overline{1, 10}$ was calculated. The mean values of S_i for each cluster were compared to each other using ANOVA. Features with significant ANOVA results for 2 clusters were:

– Word 3-g and 4-g distributions;

– Lemma (Type 1) 3-g and 4-g distributions;

– Lemma (Type 2) 3-g, 4-g, 5-g, 6-g and 7-g distributions;

– Part-of-speech (Type 1) 6-g and 7-g distributions;

– Part-of-speech (Type 2) 6-g, 7-g and 8-g distributions.

– Features with significant ANOVA results for 3 clusters were:

– Word 3-g distributions;

– Part-of-speech (Type 1) 6-g distributions;

– Part-of-speech (Type 2) 6-g distributions.

According to the results, letter *n*-gram distributions do not reflect differences in LSM. This feature may be more suitable for analyzing differences between two or more languages or determining whether two texts belong to the same author or not. In our experiments all the candidates spoke the same language and this feature occurred to be useless for estimating differences in language styles. For all the significant features, LSM of candidates with higher verbal intelligence was greater than of candidates with average and lower verbal intelligence. These results confirmed conclusions made in [3]: higher grade students tend to match the style of asked questions more than lower grade students.

Experiments with Dialogues. Experiment 1. For analyzing whether LSM depends on verbal intelligence of dialogue partners, all the dialogues were partitioned into the following groups (using verbal intelligence clusters obtained in the experiment with monologues (1a)):

a) L-L is a group of dialogues where both partners had lower verbal intelligence scores;

b) H-H is a group of dialogues where both partners had higher verbal intelligence scores;

c) L-H is a group of all the other dialogues.

For each dialogue, the similarity S_i was estimated: tokens' distributions of all the utterances of the first dia-

logue partner were compared with those of all the utterances of the second dialogue partner. Using ANOVA, the mean values of S_i of each group (L-L, H-H and L-H) were compared to each other. ANOVA did not show any significant differences.

Experiment 2. Analyzing the results from Experiment 1, we suggested that harmony in conversations may also depend on “closeness» of the dialogue partners. For example, two close friends may find hundreds of topics for their conversations. Our first question was whether they adapt to each other and synchronize their language during such discussions. Another question was whether any adaptation exists in conversations of people who see each other for the first time. For analyzing these situations, we used information about the level of acquaintance of the dialogue partners in our experiments and partitioned them into the following groups:

- a) F-F is a group of dialogues with dialogue partners who were friends or relatives;
- b) S-S is a group of dialogues with dialogue partners who had not met each other before the experiment (were strangers).

Again, the mean values of S_i for each group were compared to each other using ANOVA.

Features with significant ANOVA results were:

Word 3-g distributions;

– Lemma (Type 1) 3-g distributions;

– Lemma (Type 2) 3-g distributions;

– Part-of-speech (Type 1) 4-g and 5-g distributions;

– Part-of-speech (Type 2) 3-g, 4-g and 5-g distributions.

The distribution of these features showed that the similarities of language between friends or relatives were greater than between participants who had not met each other before.

Experiment 3. Our next purpose was to check whether verbal intelligence plays a certain role if we analyze dialogues between friends and strangers separately. For this purpose, ANOVA was applied to the mean values of S_i calculated for the following groups:

- a) L-L, H-H and L-H only for dialogues between friends;
- b) L-L, H-H and L-H only for dialogues between strangers.

In both cases ANOVA significant features were:

– Part-of-speech (Type 1) 6-grams;

– Part-of-speech (Type 2) 6-grams.

These features showed that dialogues between higher verbal intelligent participants had the highest similarity of language independent from whether the dialogue partners were friends or strangers. On the other hand, dialogues between lower verbal intelligent participants had the smallest value of LSM. Interestingly, LSMs of lower ver-

bal intelligent friends were greater than LSMs of lower verbal intelligent strangers.

Analyzing the results we may say the degree to which a speaker adapts to his dialogue partner depends on the level of their acquaintance and the levels of their verbal intelligence. Of course other characteristics may influence on this process: openness to experience of the speakers, their mood, psychological states, etc. However, speakers' LSM may be used as a feature for improving automatic classification of speakers' verbal intelligence. On the other hand, the results suggest that the ability of a SLDS to match a user's language style and adapt to his verbal intelligence level should considerably improve its user-friendliness and attractiveness.

This work is partly supported by the DAAD (German Academic Exchange Service).

Parts of the research described in this article will be supported by the Transregional Collaborative Research Centre SFB/TRR 62 “Companion-Technology for Cognitive Technical Systems» funded by the German Research Foundation (DFG).

References

1. Ireland M. E., Slatcher R. B., Eastwick P. W., Scissors L. E., Finkel E. J., Pennebaker J. W. Language Style Matching Predicts Relationship Initiation and Stability. *Psychological Science*, XX(X), Sage Publications. 2010. P. 1–6.
2. Niederhoffer K. G., Pennebaker J. W. Linguistic Style Matching in Social Interaction // *Journal of Language and Social Psychology*. 2002. Vol. 21, № 4. P. 337–360.
3. Ireland M. E., Pennebaker J. W. Language Style Matching in Writing: Synchrony in Essays, Correspondence, and Poetry // *Journal of Personality and Social Psychology*. 2010. Vol. 99, № 3. P. 549–571.
4. Wechsler D. Handanweisung zum Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene (HAWIE). Separatdr., Bern ; Stuttgart ; Wien ; Huber. 1982.
5. Vogel C., Lynch G. Computational Stylometry: Who's in a Play? In *Proceedings of COST 2102 Workshop (Patras)* 2007. P. 169–186.
6. Straker D. Changing Minds. URL: http://changingminds.org/explanations/research/analysis/c_hisquare.htm.
7. Chaski C. Who Wrote It? Steps Toward a Science of Authorship Identification // *Institute of Justice Journal*. 233, P. 15–22.
8. Laver M. and Garry J. Estimating Policy Positions from Political Texts // *American Journal of Political Science*. 44(3), P. 619–634.
9. Van Gijssels S., Vogel C. Inducing a Cline from Corpora of Political Manifestos / Aleksy M., et al. (eds.) // *Proceedings of the International Symposium on Information and Communication Technologies*. P. 304–310.

К. В. Заблоская, С. Г. Заблоский, Ф. Фернандес-Мартинес, В. Минкер

СОЧЕТАНИЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО СТИЛЯ И ВЕРБАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Представлен сравнительный анализ лингвистических стилей людей, обладающих разным вербальным интеллектом. Для исследования был использован речевой корпус, состоящий из 100 монологов (пересказов одного и того же короткого фильма), 56 диалогов на одну тему и соответствующих оценок вербального интеллекта людей, участвующих в эксперименте. Согласно результатам, люди с более высоким вербальным интеллектом показали более близкое сходство лингвистического стиля при описании фильма и лучше адаптировались к партнерам по диалогу, чем испытуемые с меньшим вербальным интеллектом.

Ключевые слова: речевые диалоговые системы, лингвистический анализ, ANOVA.

© Zablotskaya K. V., Zablotskiy S. G., Fernández-Martínez F., Minker W., 2012

РАЗДЕЛ
2

АВИАЦИОННАЯ
И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ
ТЕХНИКА

УДК 004.93:621.31

А. М. Алешечкин, Г. К. Макаренко

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ ПРИ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Описывается разработанный аналитический метод оценки погрешностей определения координат заданных точек тепловизионных изображений, получаемых при дистанционном исследовании технического состояния воздушных линий электропередачи. Рассмотрена совокупность основных погрешностей измерения первичных параметров, и алгоритм расчета ее влияния на среднеквадратические погрешности определения координат заданных точек тепловизионных изображений. Проведено сравнение погрешностей, полученных аналитическим методом, с результатами оценок погрешностей, полученных методом статистического моделирования, подтвердившее правильность расчетных соотношений.

Ключевые слова: воздушные линии электропередач, тепловизоры, навигация, координаты, погрешности.

В России общая протяженность магистральных воздушных линий (ВЛ) электропередачи составляет более 120 тыс. км (URL: <http://www.fsk-ees.ru/about.html>). В настоящее время система профилактического обслуживания ВЛ характеризуется низкими оперативностью и точностью локализации мест предаварийных состояний. Повысить эффективность диагностики ВЛ способны беспилотные летательные аппараты (БПЛА), оснащенные средствами тепловизионного обследования [1]. Это позволяет выявлять дефекты в режиме работы ВЛ под напряжением [2].

Авторами статьи в работах [3; 4] предложен комплекс диагностики ВЛ, объединяющий в себе БПЛА, аппаратуру спутниковых радионавигационных систем (СРНС), и средства получения фото- и тепловизионных изображений. Данный комплекс способен обеспечить диагностику ВЛ в автоматическом режиме. Далее полученные фото- и тепловизионные изображения обрабатываются с целью обеспечения их координатной привязки.

Целью данной работы является оценка погрешностей координатной привязки изображений, получаемых при помощи диагностического комплекса, предложенного в [3; 4].

В настоящей работе решаются следующие задачи: разрабатывается алгоритм расчета значений погрешностей координатной привязки полученных изображений на основе аналитических соотношений; рассчитываются значения погрешностей по предложенному алгоритму; сравниваются значения погрешностей, полученных путем аналитического и статистического моделирования.

Определение координат заданных точек аэрофотоснимков по известным значениям углов обзора камеры ax , ay (где ax – угол в направлении продольной оси (оси фюзеляжа) БПЛА, ay – угол в направлении поперечной оси БПЛА), географических координат БПЛА lat , lon , h (где lat – широта, lon – долгота, h – высота, определенная навигационной аппаратурой потребителя СРНС), угловой ориентации БПЛА, описываемой углами az , um , kr (где az – азимут продольной оси фюзеляжа, um – угол места, т. е. угол

между осью фюзеляжа БПЛА и горизонтальной плоскостью, kr – крен, т. е. угол между поперечной осью БПЛА в направлении на правый борт и горизонтальной плоскостью) и высоты полета БПЛА над землей dh , осуществляется в соответствии с алгоритмами указанными в [3; 4]. Известны также значения среднеквадратических отклонений (СКО) погрешностей определения исходных данных.

В предложенных алгоритмах принята связанная с объектом система координат, начало которой совпадает с местоположением камеры в центре БПЛА, ось kX направлена по продольной оси фюзеляжа БПЛА вперед, ось kY направлена вправо, ось kZ направлена вертикально вниз (рис. 1).

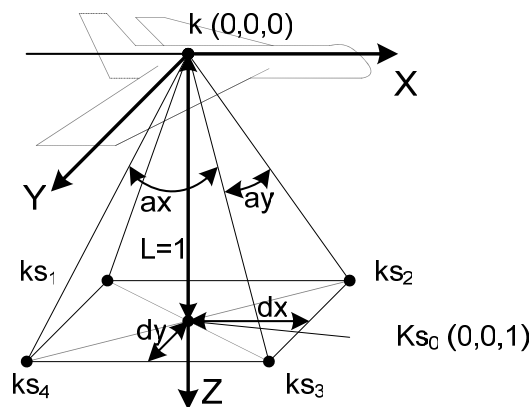


Рис. 9. Точки снимка в системе координат связанной с объектом

На снимке координаты заданных точек определяют по алгоритму (рис. 2).

В результате использования данного алгоритма потребитель получает значения абсолютных координат заданных точек: центра, левого нижнего, левого верхнего, правого верхнего и правого нижнего углов тепловизионного изображения. Данным точкам приписывают индексы $i = 0, 1, 2, 3$ и 4 соответственно.

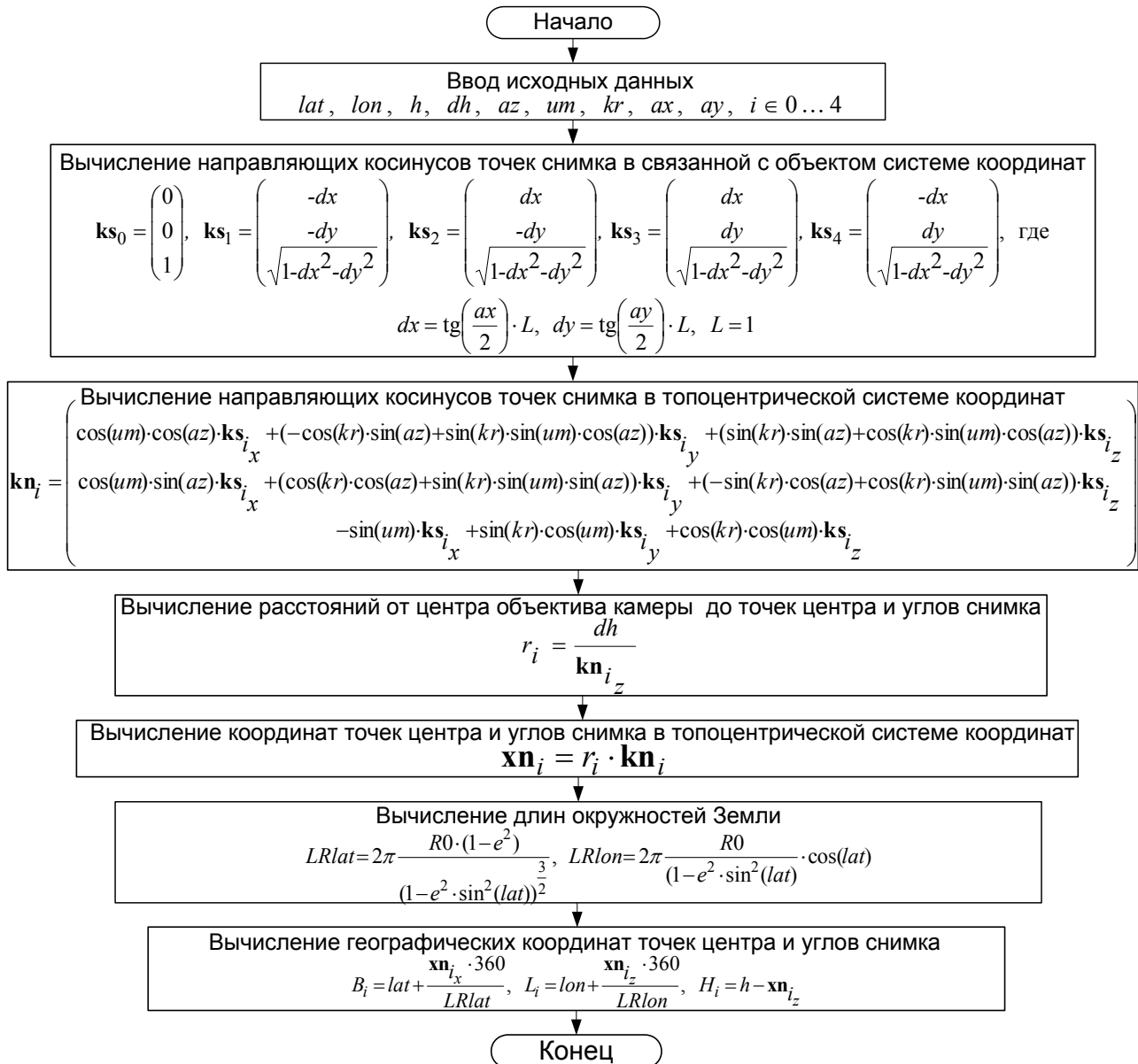


Рис. 2. Блок-схема алгоритма определения координат точек снимка

Задача расчета погрешностей содержит основные этапы (рис. 3).

В операторе 1 вычисляются погрешности задания направляющих косинусов пяти векторов от центра объектива камеры тепловизора до точек 0–5 тепловизионных изображений в топоцентрической системе координат (ТЦСК).

Значения направляющих косинусов в ТЦСК функционально связаны со значениями направляющих косинусов в соединенной с ЛА системе координат (СК) и являются результатами косвенных измерений. К прямым измерениям относятся углы пространственной ориентации ЛА.

В операторе 2 вычисляется дисперсия определения расстояния от i -й точки снимка до центра объектива камеры тепловизора с учетом погрешностей определения направляющих косинусов на i -ю точку изображения, найденных в предыдущем пункте. Предпо-

лагается, что погрешности измерения высоты полета ЛА над землей dh и определения направляющих косинусов векторов точек снимка в ТЦСК являются также некоррелированными, поскольку измерения угловой ориентации и высоты полета выполняются разными устройствами (аппаратура потребителей СРНС и высотомер).

На следующем этапе – в операторе 3 – исходя из значения погрешностей определения направляющих косинусов на i -ю точку изображения и дисперсии определения расстояния от i -й точки снимка до центра объектива камеры тепловизора вычисляется дисперсия погрешностей определения x, y, z , составляющих координат i -й точки снимка в ТЦСК. При этом погрешности задания значений направляющих косинусов векторов точек снимка в ТЦСК по x, y -составляющим и расстояния от камеры до i -й точки являются некоррелированными.



Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета погрешностей определения координат объектов, имеющихсся на тепловизионном изображении

Исходные данные, использованные при моделировании

Наименование	значение	СКО	Примечание
Широта ЛА	$lat = 56^{\circ}0'$ с.ш.	$\sigma_{lat} = 0,032''$	Определяются аппаратурой потребителя спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и GPS
Долгота ЛА	$lon = 92^{\circ}0'$ в.д.	$\sigma_{lon} = 0,058''$	
Высота ЛА	$h = 400$ м	$\sigma_h = 10$ м	
Азимут ЛА	$az = 0^{\circ} - 360^{\circ}$	$\sigma_{az} = 10'$	
Угол места ЛА	$um = 0^{\circ}$	$\sigma_{um} = 20'$	
Крен ЛА	$kr = 0^{\circ}, 10^{\circ}, 20^{\circ}, 30^{\circ}$	$\sigma_{kr} = 20'$	
Углы обзора	$ax = 29^{\circ}, ay = 22^{\circ}$	–	объектива тепловизора TH7102 NEC [6]
Высота ЛА	$dh = 100$ м	$\sigma_{dh} = 10$ м	Определяется радиовысотомером
$z = 1000$	Число статистических испытаний в каждом заданном значении азимута ЛА		

Далее рассчитываются дисперсии погрешностей определения широты и долготы координат i -й точки снимка (оператор 5), для чего определяются и используются дисперсии погрешности определения нормального и меридионального радиусов кривизны сечения Земли (оператор 4).

Вышеописанный алгоритм расчета погрешностей был использован для анализа алгоритма [3; 4], в частности, были рассчитаны зависимости СКО погрешности σ_r определения пространственных координат одной из точек тепловизионного изображения от угла азимута БПЛА в соответствии с выражением:

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2}, \quad (1)$$

где σ_X , σ_Y , σ_Z – СКО погрешности определения геоцентрических координат точки.

Кроме того, были вычислены погрешности координатной привязки получаемых изображений методом статистического моделирования, исходя из которого на измеряемые исходные параметры накладывались погрешности в виде случайных величин с заданными значениями СКО и нулевыми математическими ожиданиями. Затем проводилось заданное число статистических испытаний, в результате которых рассчитывались статистические оценки СКО определяемых параметров. Исходные данные для расчетов указаны в таблице.

При расчетах была выявлена зависимость СКО погрешности определения координат точки левого нижнего угла тепловизионного изображения σ_r от азимута ЛА в диапазоне $0-360^{\circ}$ при четырех значениях крена ЛА (рис. 4).

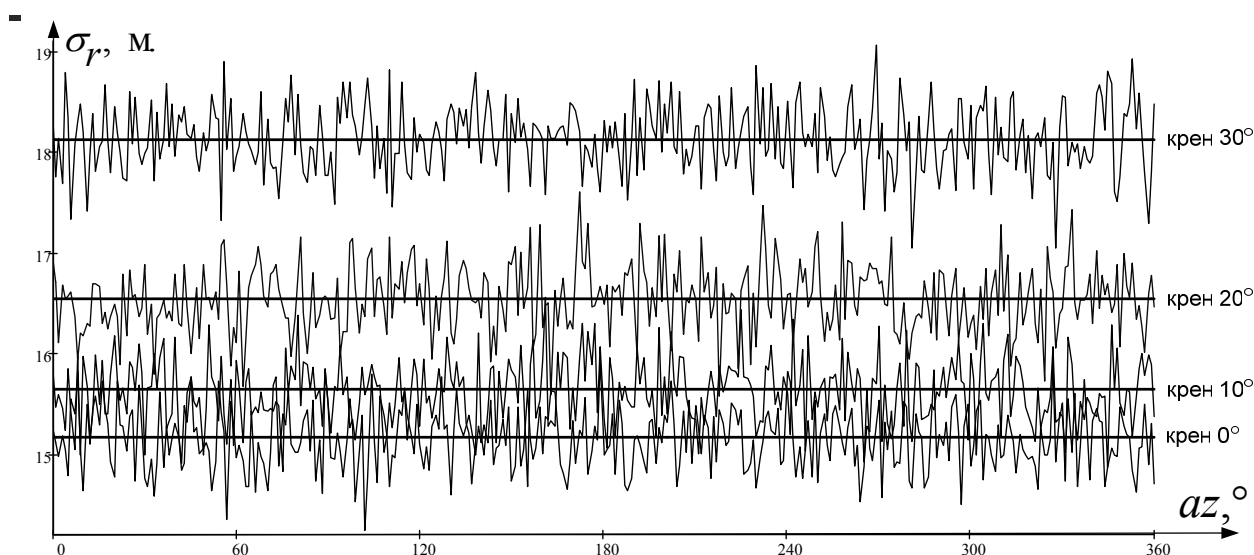


Рис. 4. Зависимость СКО погрешности определения координат заданной точки от азимута ЛА

Зависимости (рис. 4) наглядно демонстрируют соответствие результатов статистического и аналитического методов оценок погрешностей координатной привязки получаемых изображений. Оценки, полученные аналитическим методом, представляют собой математические ожидания оценок полученных методом статистического моделирования. Результаты аналогичны для всех точек изображения.

Анализ результатов расчета погрешностей методами статистического и аналитического моделирования, показывает, что методы имеют несущественное расхождение, обусловленное влиянием случайных погрешностей прямых измерений на получаемые по методу статистического моделирования результаты.

Исходя из этого, аналитический метод расчета погрешностей является более предпочтительным, поскольку не подвержен влиянию случайных значений погрешностей прямых измерений, не зависит от числа проведенных статистических испытаний, не требует затратных по времени вычислений. Кроме того, дополнительным достоинством аналитического метода является возможность учета корреляции между измеряемыми значениями, для чего требуется только изменение вида корреляционных матриц измеряемых

параметров, при этом сам алгоритм расчета погрешностей не изменяется.

Таким образом, приведенный аналитический метод расчета погрешностей позволяет на основе заданных погрешностей прямых измерений рассчитывать погрешности искомых географических координат заданной точки получаемых с борта ЛА тепловизионных изображений или фотоснимков.

Библиографические ссылки

1. Сучкова Г. А. Комплексное обследование и контроль технического состояния элементов ВЛ неразрушающими методами // Энергетик. 2008. № 4 С. 20–22.
2. Шалыт Г. М. Определение мест повреждения в электрических сетях. М. : Энергоатомиздат, 1982.
3. Макаренко Г. К., Алешечкин А. М. Алгоритм координатной привязки тепловизионных снимков // Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. тр. ; науч. ред. Г. Я. Шайдурова ; отв. за вып. А. А. Левицкий. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. С. 33–37.
4. Алешечкин А. М. Способ геодезической привязки аэрофотоснимков // Вестник СибГАУ. 2011. № 7 (37). С. 58–62.

А. М. Aleshechkin, G. K. Makarenko

ESTIMATION OF ERROR BOUNDS OF IDENTIFICATION OF COORDINATES OF ELECTRIC POWER UNDER REMOTE DIAGNOSIS

The authors describe analytical method developed for estimation of errors of identification of coordinates of thermal images given points with remote study of technical condition of overhead power lines and consider a set of main errors of primary parameters measurements, and the algorithm for calculation of its impact on RMS error in determination of coordinates of thermal images given points. The parallel of errors obtained by analytical method with the results of estimations of the errors obtained with the method of statistical modeling is pursued.

Keywords: Overhead power line, infra-red chamber, navigation, position, position error.

© Алешечкин А. М., Макаренко Г. К., 2012

УДК-629.78.01:002.004

Н. А. Тестоедов, В. В. Двирный, А. А. Носенков, М. В. Елфимова

ОБ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Рассмотрена проблема создания отечественной системы космического мониторинга чрезвычайных ситуаций с акцентом на основные ее вопросы: актуальность, требуемые ресурсы, потенциал реализации.

Ключевые слова: космический мониторинг, космический аппарат, чрезвычайная ситуация, проектирование, конструирование, производство.

Мы живем в такое время, когда каждый день средства массовой информации оповещают мировую общественность о все новых и новых чрезвычайных ситуациях (ЧС): крупных пожарах, масштабных наводнениях, разрушительных землетрясениях, тяжелых катастрофах. Категорически ухудшилась ситуация с ЧС и в России. К числу неблагоприятных регионов страны относится Красноярский край, где весьма неблагоприятная сейсмическая обстановка часто усугубляется пожарами, другими видами чрезвычайных ситуаций [1; 2].

В этой связи создание Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) является своевременной и важной государственной мерой. Однако такие организационные меры должны, разумеется, подкрепляться наиболее современным техническим обеспечением. В мировой практике самым впечатляющим и результативным таким обеспечением является американская система космического мониторинга ЧС, услугами которой пользуется и Россия, в том числе Сибирский регион [2].

Авторы считают, что для России, имеющей огромный опыт в космическом аппаратостроении и заявляющей, даже в условиях экономического кризиса, о своих намерениях осуществлять в ближайшие годы полеты к другим планетам, необходимо иметь собственную систему космического мониторинга ЧС, а не ограничиваться лишь запусками отдельных КА и пользоваться услугами зарубежных стран. Тем более, что уже имеется сообщение прессы о преднамеренном характере многих произошедших чрезвычайных ситуаций. Следовательно, создание отечественной системы космического мониторинга (ОСКМ) относится к актуальным задачам первостепенной важности, так как она связана с обеспечением безопасности населения страны, а также с повышением оперативной готовности спасательных, пожарных и других подразделений МЧС России. Все это и определило цель статьи – изложить авторскую версию сути и проблемы создания ОСКМ чрезвычайных ситуаций в части ее ресурсного обеспечения и потенциала реализации.

Вопрос о ресурсном обеспечении процесса создания ОСКМ априорно сводится к рассмотрению финансово-экономических, проектно-конструкторских, производственно-технологических и информационных ресурсов. При этом подавляющий объем ресур-

сов требуется для работ, связанных с созданием орбитальной части (космического сегмента) ОСКМ, содержащей достаточное количество космических аппаратов (КА), а также средств наземного комплекса управления (НКУ) и приема с КА информации целевого назначения.

Для преодоления экономической проблемы этих работ целесообразно принять вариант долевого участия заинтересованных отраслей и ведомств. Ранее, кстати, уже рассматривались предложения по космическому мониторингу пожаров и земель агропромышленного комплекса [3; 4], которые при решении проблемы создания ОСКМ должны быть учтены. Следует серьезно изучить вопрос о возможности и целесообразности долевого участия зарубежных стран, подверженных воздействиям ЧС.

Проектно-конструкторские и производственно-технологические ресурсы гораздо менее критичны в рассматриваемой проблеме. Дело в том, что в основном своем объеме такими ресурсами обладает ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева (ОАО «ИСС»). Именно эти ресурсы составляют материальную основу процесса разработки и производства сложных и надежных космических комплексов [5]. Для выполнения обсуждаемого проекта ОСКМ и изготовления всех компонентов ее космической части, конечно, требуется финансирование на обычной договорной основе, но по более низкой, чем мировая, стоимости.

Информационные ресурсы (ИР) в машиностроении представляют собой знания, сведения, данные, указания, на основании которых строится организационно-интеллектуальная составляющая процесса создания заказываемых изделий во всем диапазоне их сложности, – от КА и мобильного противопожарного комплекса (МПК) до современных механических детских игрушек. Они играют важную и своеобразную роль в создании изделий машиностроения (ИМ), однако можно указать всего лишь несколько работ, например [6–9], в которых раскрывается для заинтересованных специалистов суть и определяющий потенциал ИР в промышленном производстве. В этой связи авторы считают необходимым хотя бы в сокращенном виде рассмотреть вопрос об ИР при создании КА для предлагаемой ОСКМ.

Процесс создания КА состоит из четырех этапов: выпуска директивных документов, проектирования, конструирования и изготовления. На первом этапе

должны быть определены и согласованы, с одной стороны, требования Заказчика (по срокам и этапам выполнения работ, качеству, тактико-техническим и эксплуатационным характеристикам, отчетности и т. д.) и предоставляемые им ресурсы, а с другой стороны, обязательства Исполнителя по выполнению заказа, согласие с требованиями Заказчика и ресурсообеспечение заказа. Все заложенные в директивных документах (договорах, контрактах, технических заданиях) требования, обязательства и прочие сведения, по существу, и являются ИР для последующих этапов создания КА.

Проблематика первого этапа состоит в том, что он имеет юридический статус (все взаимные претензии Заказчика и Исполнителя рассматриваются юридическими органами только на основании директивных документов), а выполняется в условиях повышенной неопределенности (предусматриваемые им работы могут осуществляться в течение нескольких лет и трудно поддаются точному прогнозу), когда достигнуть необходимую конкретику принятых важнейших документов весьма сложно. Поэтому, как правило, в каждом директивном документе следует предусматривать возможность его обоснованной и взаимосоглашенной корректировки.

Проектирование является первой стадией процесса разработки КА. Обобщенная функциональная схема процесса проектирования в постадийном варианте представлена на рис. 1.

Множество $\{v_1^{(n)}, \dots, v_n^{(n)}\}$ – это все обеспечивающие материальные, экономические и человеческие факторы процесса проектирования (количество и качество персонала, оборудование и принадлежности, методология выполнения проектных работ и др.), а также исходные данные директивно-информа-

ционного характера (требования технического задания, информация об изделиях-аналогах и прототипах, патентная информация, научно-техническая информация и др.). Множество $\{r_1^{(n)}, \dots, r_k^{(n)}\}$ – выходные результаты процесса проектирования (проектная документация, математические и физические модели, часть эксплуатационной документации и др.). Множество $\{x_1^{(n)}, \dots, x_m^{(n)}\}$ – все виды управляющих воздействий (УВ) на процесс проектирования (распоряжения, приказы, сигналы управления, директивы и др.). Множество $\{y_1^{(n)}, \dots, y_l^{(n)}\}$ – разнообразная информация (доклады, донесения, контролируемые сигналы и параметры и др.), по которой можно объективно и полностью оценивать процесс проектирования.

Таким образом, процесс проектирования является системой, математическую модель которой в самом общем виде можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} R^{(n)}(t_i) &= f[R^{(n)}(t_0); V^{(n)}(t_i, t_0); \\ &X^{(n)}(t_i, t_0); Y^{(n)}(t_i, t_0)], \\ R^{(n)}(t_i) &\in A(t); \\ V^{(n)}(t_i) &\in B(t); \\ X^{(n)}(t_i) &\in C(t); \\ Y^{(n)}(t_i) &\in D(t); \end{aligned} \quad (1)$$

где $R^{(n)}(t_0)$, $R^{(n)}(t_i)$ – состояние системы в начальный (t_0) и любой другой (t_i) моменты времени; $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$, $D(t)$ – некоторые замкнутые области векторного пространства состояния, возмущения, управления и контроля, лимитирующие все возможные значения соответствующих векторов $r_1^{(n)}, \dots, r_k^{(n)}$, $v_1^{(n)}, \dots, v_n^{(n)}$, $x_1^{(n)}, \dots, x_m^{(n)}$, $y_1^{(n)}, \dots, y_l^{(n)}$, обусловленные физическими закономерностями, в соответствии с которыми функционируют технические системы (ограничения первого рода) и ограничивают привлекаемые ресурсы (ограничения второго рода).

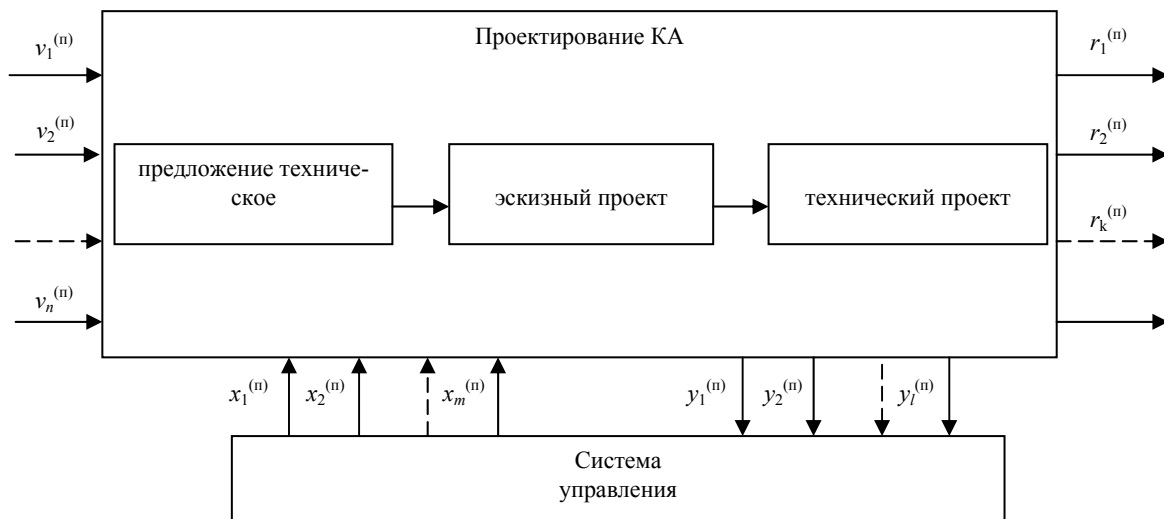


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема процесса проектирования КА

$\{v_1^{(n)}, \dots, v_n^{(n)}\}$ – множество входных (возмущающих) действий; $\{r_1^{(n)}, \dots, r_k^{(n)}\}$ – множество выходных переменных (переменные состояния, сигналы реакции); $\{x_1^{(n)}, \dots, x_m^{(n)}\}$ – множество управляющих воздействий (команд); $\{y_1^{(n)}, \dots, y_l^{(n)}\}$ – множество наблюдаемых переменных (контрольная информация)

Если компоненты множеств $\{v_i^{(n)}\}$, $\{r_j^{(n)}\}$, $\{x_q^{(n)}\}$, $\{y_s^{(n)}\}$ можно считать детерминированными, то имеют место многомерные векторы:

$$V^{(n)}(t) = \begin{bmatrix} v_1^{(n)}(t) \\ \vdots \\ v_n^{(n)}(t) \end{bmatrix}; \quad R^{(n)}(t) = \begin{bmatrix} r_1^{(n)}(t) \\ \vdots \\ r_k^{(n)}(t) \end{bmatrix};$$

$$X^{(n)}(t) = \begin{bmatrix} x_1^{(n)}(t) \\ \vdots \\ x_m^{(n)}(t) \end{bmatrix}; \quad Y^{(n)}(t) = \begin{bmatrix} y_1^{(n)}(t) \\ \vdots \\ y_l^{(n)}(t) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

представляющие, соответственно, векторы-столбцы возмущения, состояния, управления и контроля, а модель (1) является детерминированной, динамической.

Если множества $\{v_i^{(n)}\}$, $\{r_j^{(n)}\}$, $\{x_q^{(n)}\}$, $\{y_s^{(n)}\}$ состоят из элементов случайного типа, то последние тоже можно представить векторами-столбцами, но эти элементы являются математическими ожиданиями соответствующих величин.

Полагая, что поведение системы $R^{(n)}(t_i)$ может быть описано системой обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнение (1) можно привести к виду

$$\frac{dR^{(n)}}{dt} = f[R^{(n)}(t_i); V^{(n)}(t_i); X^{(n)}(t_i); Y^{(n)}(t_i)]. \quad (3)$$

Целевая функция исследуемого процесса может быть представлена как

$$G^{(n)} = \Phi[R^{(n)}(t_i); V^{(n)}(t_i); X^{(n)}(t_i); Y^{(n)}(t_i)]. \quad (4)$$

Если для простоты считать, что оптимальный процесс проектирования соответствует некоторому экстремальному значению целевой функции (4), то задачу оптимального управления процессом проектирования в наиболее простом ее виде можно сформулировать как определение оптимального вектора $X_{\text{опт}}^{(n)}(t)$, обеспечивающего экстремальное значение целевой функции $G^{(n)}$ и удовлетворяющего ограничениям (1). Для большей математической строгости необходимо,

разумеется, исследовать случай одновременного изменения векторов $R^{(n)}(t)$ и $V^{(n)}(t)$. Но такая задача весьма сложна по причине высокой размерности этих векторов их состояний.

Процесс конструирования как объект математической интерпретации и управления аналогичен процессу проектирования (рис. 2).

Технологический процесс изготовления укрупнено можно представить набором операций по изготовлению и отработке бортовых узлов и приборов, операций по изготовлению и отработке бортовых устройств и систем более высокого иерархического уровня, по экспериментальной отработке (ЭО), безопасности (в том числе пожарной) аппаратуры в составе технологического образца КА, по сборке и испытаниям пилотного образца КА. Формализованная таким образом обобщенная функциональная схема технологического процесса (ТП) изготовления представлена на рис. 3. Информационным ресурсом этого ТП являются соответствующие компоненты вектора состояния $R^{(n)}(t)$ процесса разработки, а также технологическая документация, разработанная на основании конструкторских документов и документов по технологическому обеспечению.

Поскольку все представленные выше процессы имеют одинаковую математическую трактовку и в совокупности представляют собой процесс создания КА, то можно отметить, что задачу оптимизации здесь следует решить в два этапа.

На этапе первичной оптимизации определяют идеальный вектор управления $X_{\text{ид}}(t)$, который практически не реализуется, но является тем пределом, к которому должна стремиться система управления.

На этапе вторичной оптимизации выбирают так называемый квазиоптимальный вектор управления $X_{\text{коп}}(t)$, который можно реализовать, зная вектор $X_{\text{ид}}(t)$. При этом цель задачи управления заключается в получении наиболее полноценных, исходя из содержательного уровня векторов входных воздействий (возмущения) информационных ресурсов процесса создания космического аппарата.

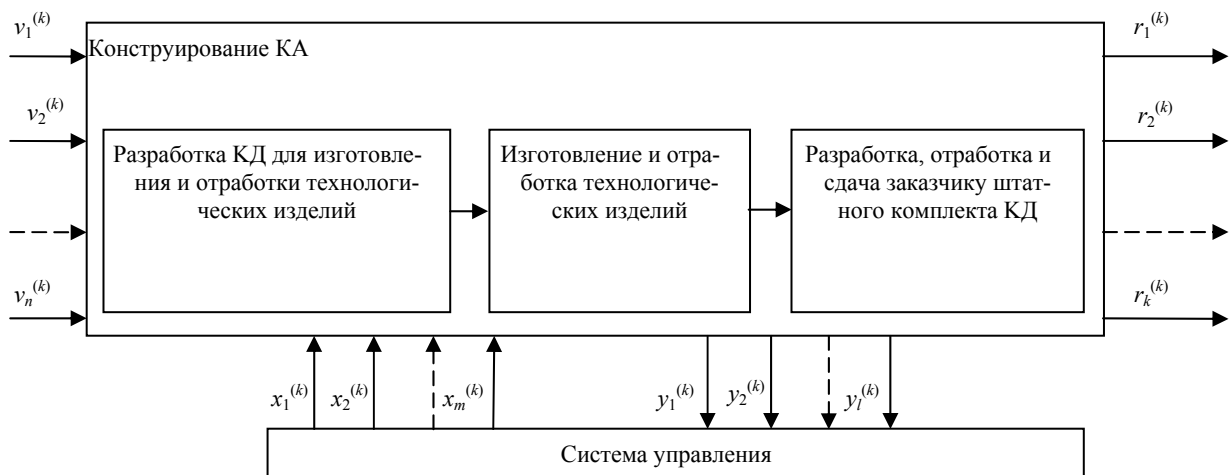


Рис. 2. Обобщенная функциональная схема процесса конструирования

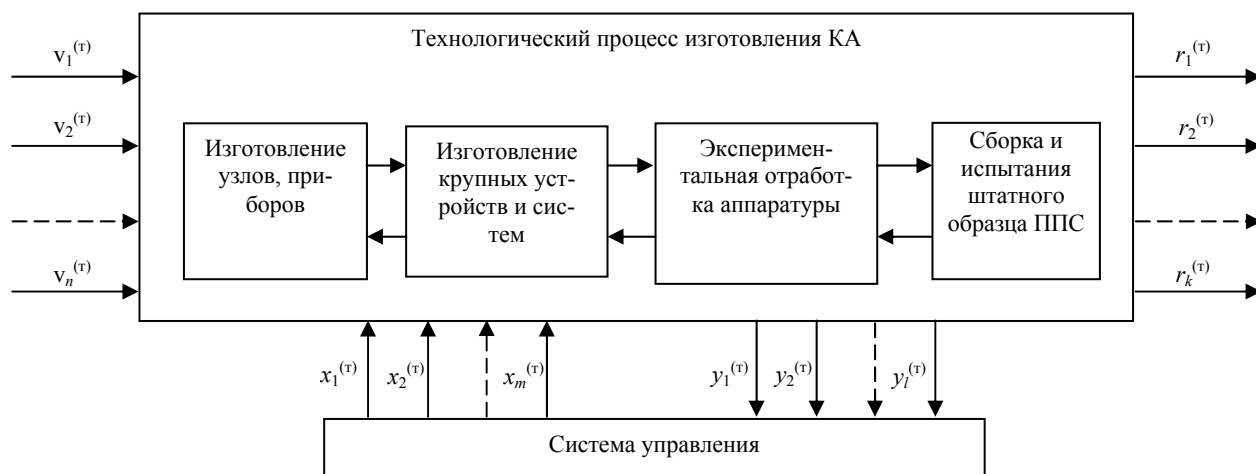


Рис. 3. Обобщенная функциональная схема технологического процесса изготовления КА

Следует при этом отметить, что в мировой практике даже удачно оптимизированные процессы создания современной техники подвергаются корректировке. Это обусловлено невозможностью математически достаточно учесть ряд воздействующих факторов. Кроме того, проблема процесса управления зависит и от сложности создаваемого изделия. Чем проще изделие, тем более строго можно математически представить процесс управления, а сама СУ по своей сути более похожа на систему автоматического управления (САУ). И, наоборот, повышение сложности создаваемого изделия приводит к более абстрактным моделям управления, а сама СУ реализуется, в лучшем случае, на уровне автоматизированной системы управления.

Более того, строго говоря, представленные зависимости (1–4) являются математической моделью того предела оптимизации, к которому в принципе необходимо стремиться создателям современных технических систем, но который становится все более недостижимым по мере роста уровня сложности последних. Так, для абсолютного большинства КА по этой причине приходится ограничиваться лишь рационализацией процесса их создания.

В заключение отметим некоторые дополнительные вопросы с целью более полного представления проблематики затронутой темы. Так, уже на начальной стадии процесса создания любого типа сложных изделий и комплексов должен быть более полно решен вопрос по обеспечению его необходимым объемом исходных ресурсов (людских, материальных, финансовых, технических, информационных). Такая работа выполняется на основании исходного директивного документа — постановления правительства Российской Федерации. А поскольку этот документ своим информационным содержанием влияет на все этапы создания заказа, то его следует считать внешним ИР.

На основании постановления головное предприятие выдает смежным предприятиям ТЗ на разработку, изготовление и поставку необходимого оборудования и финансирует эти работы. По техническому заданию выполняются (с соответствующим финансированием) и научные исследования, необходимость в

которых, как правило, возникает при открытии новых тем.

Результаты выполненных научных исследований ($V_1^{(H)}, \dots, V_4^{(H)}$) являются научно-техническими ИР, необходимыми для выполнения прежде всего проектирования. Результаты проектирования ($V_1^{(П)}, \dots, V_3^{(П)}$) представляют собой инженерные ИР, используемые в большинстве своем при конструировании. Разработанные конструкторские документы ($V_1^{(К)}, V_2^{(К)}$) являются инженерными ИР для этапов изготовления и отработки.

Важнейшим фактором, влияющим на качество создаваемых изделий, является обеспечение технической совместимости (конструктивной, технологической, размерной, энергетической, информационной, механической, противопожарной и др.) элементов их аппаратно-конструктивного построения, а также пооперационного построения производственно-технологических процессов [10].

Изложенные в статье положения и рекомендации носят формализованный характер и могут быть в той или иной мере приемлемы для любых изделий машиностроительной отрасли.

Библиографические ссылки

1. Лукина Н. В. Активные разломы зоны сочленения сибирской платформы и алтае-саянской орогенетической области. М. : О-во испытателей природы. Отд.-е геологии, 1996.
2. Мещеряков С. С., Черных С. Ю. Состояние системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций Сибирского региона // Мониторинг, прогнозирование и моделирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций : материалы науч.-практ. семинара. Железногорск, 2011. С. 5–14.
3. Возможное применение аэрокосмического мобильного комплекса для круглосуточного мониторинга пожаров / В. В. Двирный, М. В. Елфимова, А. С. Исакова и др. // Мониторинг, прогнозирование и моделирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций : материалы науч.-практ. семинара. Железногорск, 2011. С. 15–20.

вычайных ситуаций : материалы науч.-прак. семинара. Железногорск, 2011. С. 107–113.

4. Система дистанционного мониторинга пожаров и земель агропромышленного комплекса / Н. А. Тестодов, В. И. Лавров, В. В. Двирный и др. // Мониторинг, прогнозирование и моделирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций : материалы науч.-прак. семинара. Железногорск, 2011. С. 122–129.

5. Проектирование надежных систем связи / В. Г. Афанасьев, В. И. Верхотуров, В. А. Заславский и др. ; под ред. акад. М. Ф. Решетнева ; МГП «Раско». Томск, 1993.

6. Голенков В. К., Гаврилов А. И. Создание и использование информационных ресурсов на предприятии // НТИ. 1990. № 12. С. 22–23. Сер. 1.

7. Королева Н. А., Тютюнник В. М. Методика оценки уровня обеспечения информационной безопасности организации // НТИ. 2007. № 1. С. 15–17. Сер. 2.

8. Бессонов А. Б. Организационно-правовое обеспечение информационной безопасности организации // НТИ. 2008. № 9. С. 16–28. Сер. 1.

9. Совершенствование системы информационного обеспечения процесса создания космических аппаратов связи / Р. П. Туркенич, А. А. Носенков, В. В. Двирный, С. Е. Терпигин // Решетневские чтения : материалы 15 Междунар. науч. конф. Красноярск, 2011. Ч. 1. С. 101–102.

10. Носенков А. А. Техническая совместимость: практика, наука, проблемы : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2005.

N. A. Testodov, V. V. Dvirnyj, A. A. Nosenkov, M. V. Elfimova

ABOUT DOMESTIC SYSTEM OF SPACE MONITORING OF EMERGENCIES

The problem of development of domestic system of space monitoring of emergencies with a focus on its core issues: relevance, recourse requirements, realization potential.

Keywords: space monitoring, spacecraft, emergency, design, production.

© Тестодов Н. А., Двирный В. В., Носенков А. А., Елфимова М. В., 2012

УДК 532.526.4

М. И. Толстомятов, А. А. Зуев, А. А. Кишкин, Д. А. Жуйков, В. П. Назаров

ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОМЕРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ГАЗОВ С ТЕПЛООТДАЧЕЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ*

Рассмотрена модель распределения температурного и динамического пограничных слоев при реализации турбулентного течения газового потока. Записано выражение для определения толщины потери энергии, получено выражение для определения локального коэффициента теплоотдачи в виде критерия Стантона. Проведен сравнительный анализ с теориями различных авторов.

Ключевые слова: турбулентное течение, пограничный слой, коэффициент теплоотдачи, теплообмен.

При проектировании энергетических установок летательных аппаратов необходимо учитывать большое число факторов, влияющих на надежность и энергоэффективность изделия. Одним из таких факторов являются тепловые потоки, образующиеся в результате теплоотдачи и трения газового потока при течении в газовых магистралях энергоустановок. Неучтенное в расчете тепло при проектировании узлов и агрегатов влияет на теплофизические свойства рабочего тела, такие как плотность и вязкость. В некоторых случаях при значительном градиенте температур возможно появление пластических деформаций в элементах конструкции. Нерасчетные величины вязкости и плотности рабочего тела могут вывести рабочие параметры за предел расчетного объема работы

установки, который для получения максимального КПД имеет довольно узкий диапазон величин.

При учете влияния тепловых потоков и теплоотдачи в настоящее время пользуются либо полуэмпирическими зависимостями, либо численными методами, реализованными в различных пакетах прикладных программ. Полуэмпирические и эмпирические зависимости для учета теплоотдачи основываются на обобщении экспериментальных исследований и не всегда могут применяться для решения широкого круга задач. Использование современных пакетов прикладных программ расширяют возможности теплового расчета, однако должно сопровождаться сложными теплофизическими экспериментами для верификации результатов численного моделирования.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.132.21.1584.

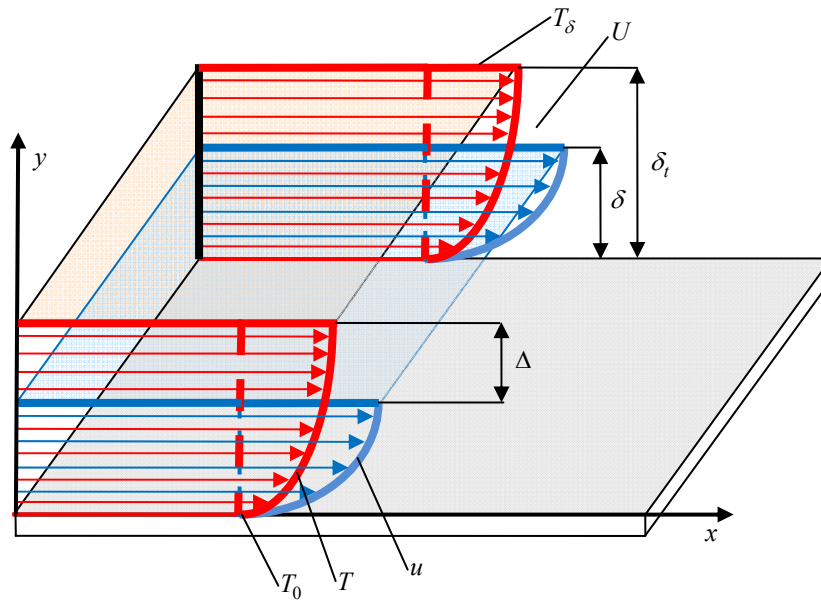


Рис. 1. Распределение температурного и динамического пограничных слоев при турбулентном течении газового потока

Для достоверного определения распределения температурных полей в проточных и вспомогательных полостях течения рабочего тела в тепловом расчете двигателя необходимо использовать локальный коэффициент теплоотдачи. В отличие от среднеинтегрального коэффициента теплоотдачи, который дает усредненные данные по длине исследуемого участка, локальный коэффициент теплоотдачи позволяет выявить возможные местные зоны перегрева рабочего тела. Учет локальных тепловых нагрузок очень важен для таких полостей как полость между ротором и статором турбины турбонасосного агрегата (ТНА), подводящее и отводящее устройство газовой турбины ТНА.

При проведении аналитического исследования прямолинейного турбулентного течения газа или газовой смеси необходимо рассмотреть модель распределения температурного и динамического пограничных слоев при обтекании газовым потоком плоской, прямой, не проницаемой пластины (рис. 1). Толщина температурного пограничного слоя выше толщины динамического. Такое распределение толщин в некоторой степени характеризуется теплофизическими свойствами рабочего тела, а именно: у газов и газовых смесей динамическая вязкость не может быть больше температуропроводности, а их отношение всегда будет меньше единицы. В свою очередь, основное изменение скорости (u) от поверхности обтекаемого тела, где она равна нулю, до скорости в ядре потока (U), происходит в толщине динамического пограничного слоя (δ). Аналогично, основное изменение температуры (T) от температуры на поверхности теплообмена (T_0) до температуры в ядре потока (T_δ), происходит в толщине температурного пограничного слоя (δ_t). Тогда выражение для определения толщины потери энергии примет следующий вид:

$$\delta_{t\varphi}^{**} = \int_0^{\delta_t} \frac{u}{U} \left(1 - \frac{T - T_0}{T_\delta - T_0} \right) dy. \quad (1)$$

Данное выражение характеризует величину, в которой происходит потеря энергии вследствие уменьшения скорости и температуры в пограничных слоях по отношению к скорости и температуре в ядре потока. Отношение скоростей в выражении (1) характеризует распределение профиля скорости в динамическом пограничном слое, а отношение разности температур – распределение профиля температуры в температурном пограничном слое. При различных толщинах пограничных слоев необходимо разбить границы интегрирования выражения (1). Тогда выражение для определения толщины потери энергии преобразуется к виду

$$\delta_{t\varphi}^{**} = \int_0^{\delta} \frac{u}{U} \left(1 - \frac{T - T_0}{T_\delta - T_0} \right) dy + \int_{\delta}^{\delta_t} \frac{u}{U} \cdot \left(1 - \frac{T - T_0}{T_\delta - T_0} \right) dy. \quad (2)$$

Первый член выражения (2) отмечает изменение температуры и скорости в пределах от поверхности тела до толщины динамического пограничного слоя, второй член также, фиксирует изменение температуры и скорости в пределах от толщины динамического до толщины температурного пограничных слоев. Очевидно, что во втором члене выражения (2) изменения скорости нет, т. е.:

$$u = U \text{ или } \frac{u}{U} = 1. \quad (3)$$

Тогда выражение для определения толщины потери энергии (2), в соответствие с выражением (3), запишется в виде

$$\delta_{t\varphi}^{**} = \int_0^{\delta} \frac{u}{U} \left(1 - \frac{T - T_0}{T_\delta - T_0} \right) dy + \int_{\delta}^{\delta_t} \left(1 - \frac{T - T_0}{T_\delta - T_0} \right) dy. \quad (4)$$

Обозначим второй член выражения (4) через δ_t^* и проинтегрируем его в границах температурного пограничного слоя:

$$\delta_t^* = \int_0^{\delta_t} \left(1 - \frac{T - T_0}{T_\delta - T_0} \right) dy. \quad (5)$$

где δ_t^* – расстояние, на котором температурное ядро течения оттесняется наружу вследствие падения температуры в температурном пограничном слое.

Для аппроксимирования изменения профиля скорости [1], применяем «закон $1/7$ » степени. По аналогии с [2], используем отношение динамического и температурного пограничных слоев и обозначаем его через Δ :

$$\Delta = \frac{\delta_t}{\delta}. \quad (6)$$

Тогда выражение для определения толщины потери энергии преобразуется к виду

$$\delta_{t\varphi}^{**} = \int_0^{\delta} \left(\frac{y}{\delta} \right)^{1/7} \cdot \left(1 - \left(\frac{y}{\Delta \cdot \delta} \right)^{1/7} \right) dy + \int_{\delta}^{\delta_t} \left(1 - \left(\frac{y}{\Delta \cdot \delta} \right)^{1/7} \right) dy. \quad (7)$$

После вычисления интегралов получаем зависимость толщины потери энергии от толщины динамического пограничного слоя и безразмерного коэффициента, описывающего отношение толщины температурного к динамическому пограничному слою:

$$\delta_{t\varphi}^{**} = \frac{\delta \cdot \left(9 \cdot \Delta + \frac{7}{\Delta^{1/7}} - 9 \right)}{72} \quad (8)$$

Выразим закон теплоотдачи чрез локальный коэффициент в виде критерия Стантона:

$$St = \frac{q_0}{\rho \cdot Cp \cdot U \cdot (T_\delta - T_0)} = \frac{\lambda \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0}}{\rho \cdot Cp \cdot U \cdot (T_p - T_0)} = \frac{\lambda}{\rho \cdot Cp \cdot U} \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{T - T_0}{T_\delta - T_0} \right) \right]_{y=0}. \quad (9)$$

Решив выражение (9), видим, что необходимо взять производную на поверхности теплообмена от функции распределения температуры в температурном пограничном слое. Для того что бы определить производную, необходимо воспользоваться другой моделью распределения параметров в пограничном слое. По аналогии с [4] используем двухслойную модель с ламинарным подслоем, для которой производная для выражения (9) запишется в виде выражения

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{T - T_0}{T_\delta - T_0} \right)_{y=0} = \frac{U}{\alpha_l^2 \cdot v} \cdot \left(\frac{\alpha_l^2 \cdot v}{\delta_t \cdot U} \right)^{1/4} = \frac{U^{3/4}}{\alpha_l^{3/2} \cdot \Delta^{1/4} \cdot \delta^{1/4} \cdot v^{3/4}}, \quad (10)$$

где α_l – коэффициент ламинарного подслоя, полученный в работе [3]; здесь

$$\alpha_l = 12,559. \quad (11)$$

Выразив толщину динамического пограничного слоя из выражения (8) через толщину потери энергии и подставив в выражение (10), получим:

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{T - T_0}{T_\delta - T_0} \right)_{y=0} = \frac{0,343 \cdot U^{3/4}}{\Delta^{1/4} \cdot \alpha_l^{3/2} \cdot v^{3/4} \cdot \left(\frac{\delta_{t\varphi}^{**}}{9 \cdot \Delta + \frac{7}{\Delta^{1/7}} - 9} \right)^{1/4}}. \quad (12)$$

С учетом выражения (12), перепишем закон теплоотдачи в виде критерия Стантона:

$$St = \frac{\lambda}{\rho \cdot Cp \cdot U} \times \frac{0,343 \cdot U^{3/4}}{\Delta^{1/4} \cdot \alpha_l^{3/2} \cdot v^{3/4} \cdot \left(\frac{\delta_{t\varphi}^{**}}{9 \cdot \Delta + \frac{7}{\Delta^{1/7}} - 9} \right)^{1/4}}. \quad (13)$$

Подставив выражение (13) в интегральное соотношение уравнения энергии, записанное в естественной криволинейной системе координат [4], получим интегральное соотношение уравнения энергии пространственного пограничного слоя для случая течения газа или газовой смеси, когда критерий Прандтля меньше единицы:

$$\begin{aligned} & \frac{u}{H_\varphi} \cdot \frac{\partial}{\partial \varphi} \cdot \delta_{t\varphi}^{**} + \frac{1}{H_\psi} \cdot \frac{\partial (\delta_{t\psi}^{**})}{\partial \psi} + \\ & + \frac{1}{H_\varphi \cdot H_\psi} \cdot \frac{\partial H_\psi}{\partial \varphi} \cdot \delta_{t\varphi}^{**} + \frac{1}{H_\varphi \cdot H_\psi} \cdot \frac{\partial H_\varphi}{\partial \psi} \cdot \delta_{t\psi}^{**} = \\ & = \frac{0,343 \cdot \lambda \cdot \left(9 \cdot \Delta + \frac{7}{\Delta^{1/7}} - 9 \right)^{1/4}}{Cp \cdot \rho \cdot \Delta^{1/4} \cdot U^{1/4} \cdot \alpha_l^{3/2} \cdot v^{3/4} \cdot \delta_{t\varphi}^{**1/4}} - \\ & - \frac{\tau_{\varphi 0} \cdot (1 + \varepsilon^2)}{\rho \cdot Cp \cdot (T_\delta - T_0)}. \end{aligned} \quad (14)$$

Принимая относительную характерную толщину:

$$J = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{\delta_{t\psi}^{**}}{\delta_{t\varphi}^{**}}, \quad (15)$$

где ε – тангенс угла скоса донных линий тока по отношению к потенциальному течению, $\delta_{t\varphi}^{**}$ – толщина потери энергии в продольном направлении, $\delta_{t\psi}^{**}$ – толщина потери энергии в поперечном направлении. Перепишав выражение (14), получим

$$\begin{aligned} & \frac{1}{H_\varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \cdot \delta_{i\varphi}^{**} + \frac{J}{H_\psi} \frac{\partial (\delta_{i\psi}^{**} \cdot \varepsilon)}{\partial \psi} + \\ & + \frac{1}{H_\varphi \cdot H_\psi} \frac{\partial H_\psi}{\partial \varphi} \cdot \delta_{i\varphi}^{**} + \frac{J}{H_\varphi \cdot H_\psi} \frac{\partial H_\varphi}{\partial \psi} \cdot \delta_{i\varphi}^{**} \cdot \varepsilon = \\ & = \frac{0,343 \cdot \lambda \cdot \left(9 \cdot \Delta + \frac{7}{\Delta^{1/7}} - 9\right)^{1/4}}{Cp \cdot \rho \cdot \Delta^{1/4} \cdot U^{1/4} \cdot \alpha_l^{3/2} \cdot v^{3/4} \cdot \delta_{i\varphi}^{**1/4}} - \\ & - \frac{\tau_{\varphi 0} \cdot (1 + \varepsilon^2)}{\rho \cdot Cp \cdot (T_\delta - T_0)}. \end{aligned} \quad (16)$$

При прямолинейном течении, поперечное течение отсутствует, т. е. $\frac{\partial}{\partial \psi} = 0$, а так же для случая прямолинейного течения коэффициенты Ламе определяются $H_\psi = 1$, $H_\varphi = 1$, тогда $\frac{\partial H_\psi}{\partial \varphi} = 0$, $\frac{\partial H_\varphi}{\partial \psi} = 0$. Для проведения дальнейших итераций необходимо пренебречь диссипативным членом в выражении (16), тогда интегральное соотношение уравнения энергии преобразуется к виду

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \delta_{i\varphi}^{**} = \frac{\lambda \cdot \left(9 \cdot \Delta + \frac{7}{\Delta^{1/7}} - 9\right)^{1/4}}{Cp \cdot \rho \cdot \Delta^{1/4} \cdot U^{1/4} \cdot \alpha_l^{3/2} \cdot v^{3/4} \cdot \delta_{i\varphi}^{**1/4}}. \quad (17)$$

В интегральном соотношении уравнения энергии для прямолинейного равномерного течения (17) разделим переменные и проинтегрируем от нуля до текущего значения переменных, и определим толщину потери энергии:

$$\int_0^{\delta_{i\varphi}^{**}} \delta_{i\varphi}^{**1/4} d\delta_{i\varphi}^{**} = \frac{0,343 \cdot \lambda \cdot \left(9 \cdot \Delta + \frac{7}{\Delta^{1/7}} - 9\right)^{1/4}}{Cp \cdot \rho \cdot \Delta^{1/4} \cdot U^{1/4} \cdot \alpha_l^{3/2} \cdot v^{3/4}} \int_0^\varphi d\varphi. \quad (18)$$

После интегрирования получим:

$$\delta_{i\varphi}^{**} = \frac{1,195 \cdot \lambda^{4/5} \cdot \left(9 \cdot \Delta + \frac{7}{\Delta^{1/7}} - 9\right)^{1/5} \cdot \varphi^{4/5}}{Cp^{4/5} \cdot \rho^{4/5} \cdot U^{1/5} \cdot \Delta^{1/5} \cdot \alpha_l^{5/6} \cdot v^{3/5}}. \quad (19)$$

Окончательное выражение для определения толщины потери энергии необходимо представить в выражении для вычисления локального коэффициента теплоотдачи (13):

$$St = \frac{0,956 \cdot \lambda^{4/3} \cdot \left(9 \cdot \Delta + \frac{7}{\Delta^{1/7}} - 9\right)^{1/5}}{Cp^{4/5} \cdot U^{1/5} \cdot \rho^{4/5} \cdot \alpha_l^{6/5} \cdot \Delta^{1/5} \cdot v^{3/5} \cdot \varphi^{1/5}}. \quad (20)$$

Чтобы выражение привести к более простому виду, умножим числитель и знаменатель выражения (20) на динамическую вязкость ($\mu^{4/5}$), а также воспользуемся безразмерным критерием подобия Рейнольдса: $\left(Re = \frac{\rho \cdot U \cdot \varphi}{\mu}\right)$ и критерием Прандтля: $\left(Pr = \frac{\mu \cdot Cp}{\lambda}\right)$, тогда

$$St = 0,40662 \cdot \left(\frac{9\Delta^{8/7} - 9\Delta^{1/7} + 7}{Pr^4 \cdot Re \cdot \Delta^{8/7} \alpha_l^6}\right)^{1/5}. \quad (21)$$

Причем для расчета локального коэффициента теплоотдачи необходимо найти отношение толщин температурного и динамического пограничных слоев, [3] используя приближенное выражение:

$$\Delta = \frac{1}{\sqrt[3]{Pr}}. \quad (22)$$

Выражение (21) с учетом формулы (22) примет вид

$$St = 0,40662 \cdot \left(\frac{7 \cdot Pr^{0,258} - 9 \cdot Pr^{0,333} + 9}{Pr^4 \cdot Re \cdot \alpha_l^6}\right)^{1/5}. \quad (23)$$

Для подтверждения методики получения локального коэффициента теплоотдачи в виде критерия Стантона воспользуемся аналогией Рейнольдса о процессах переноса тепла и импульсов, применяя выражение [5]:

$$St = \frac{1}{2} Cf. \quad (24)$$

Во всех теоретических функциях прослеживается увеличение отношения безразмерного коэффициента теплоотдачи по отношению к коэффициенту трения с уменьшением критерия Прандтля. По всей видимости, такое поведение функций обусловлено теплофизическими свойствами рабочего тела. С уменьшением числа Прандтля у рабочего тела увеличивается теплопроводность, что приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи и уменьшению вязкости, что, в свою очередь, приводит к уменьшению коэффициента трения (рис. 2).

На графике видно, что только при $Pr = 1$ сохраняется равенство $St = \frac{1}{2} Cf$. В диапазоне $Pr = 0,7 \dots 1$, что характерно для реальных газов и газовых смесей, среднее расхождение с теориями других авторов составляет не более 10 %. Стоит отметить, что сравнивать теории в области малых чисел Прандтля невозможно, так как зависимости, полученные различными авторами, предназначены для рабочих тел с числом Прандтля не намного отличным от единицы.

Таким образом, опираясь на удовлетворительный результат сравнительного анализа, можно сделать вывод о том, что с учетом принятых допущений исходное интегральное соотношение уравнения энергии пространственного пограничного слоя, позволяющее рассматривать различные течения газового потока, может быть использовано для вывода локального коэффициента теплоотдачи при реализации вращательных течений газа в полостях турбоагрегатов.

Библиографические ссылки

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя : пер. с нем. М. : Наука, 1969.
2. Кейс В. М. Конвективный тепло- и массообмен : пер. с англ. М. : Энергия, 1972.

3. Зуев А. А., Вахитов Р. Р., Мелкозеров М. Г. Уравнение теплоотдачи для турбулентного температурного пограничного слоя на основе двухслойной модели // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики «АНТЭ-07»: материалы Междунар. науч.-технич. конф. (11–12 дек. 2007, г. Казань). Казань: Изд-во Казан. гос. тех. ун-та. 2007. Т. 2.

4. Интегральное соотношение уравнения энергии температурного пространственного пограничного слоя / А. А. Зуев [и др.] // Вестник Рыбинской гос. авиационной технол. академии имени П. А. Соловьева. 2010. № 2 (17). С. 37–42.

5. Романенко П. Н. Теплообмен и трение при градиентном течении жидкостей. М.: Энергия, 1964.

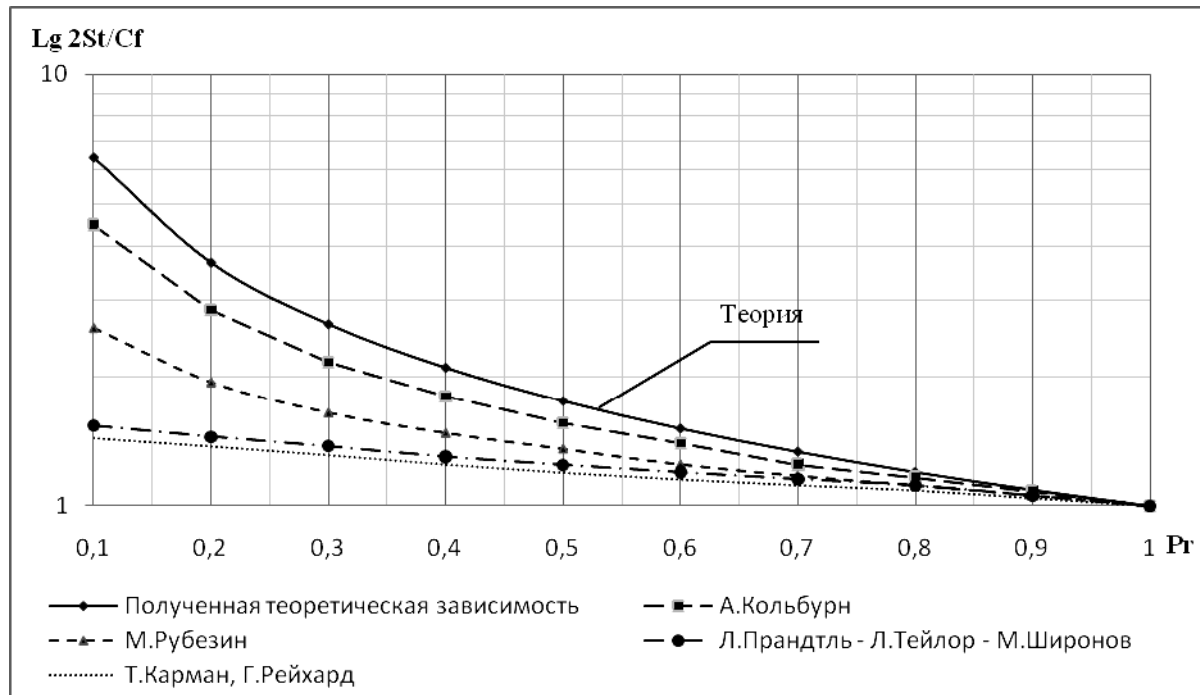


Рис. 2. График сравнительного анализа аналогии между трением и теплообменом в турбулентных потоках при $M \approx 0$, $Re = 10^7$

М. И. Tolstopyatov, А. А. Zuev, А. А. Kishkin, D. A. Zhuikov, V. P. Nazarov

RECTILINEAR UNIFORM GAS FLOW WITH THERMAL EFFICIENCY IN PROPULSION EQUIPMENT OF AIRCRAFTS

The article considers a model of distribution of thermal and dynamic boundary layers distribution in the process of turbulent flow of the gas stream. Expression for determination of energy thickness is presented and expression for the determination of local thermal efficiency coefficient in the form of Stanton criterion. Comparative analysis of the theories of different authors is presented as well.

Keywords: turbulent flow, boundary layer, thermal efficiency coefficient, heat exchange.

© Толстопятов М. И., Зуев А. А., Кишкин А. А., Жуйков Д. А., Назаров В. П., 2012

КАЛИБРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ

Рассмотрен расчет радиолиний «НКА – анализатор спектра» и «генератор помех – анализатор спектра» для их калибровки с целью испытания навигационной аппаратуры потребителя спутниковых радионавигационных систем на помехоустойчивость.

Ключевые слова: навигационная аппаратура потребителей, спутниковые радионавигационные системы, помехоустойчивость.

В настоящее время все большее значение приобретают средства спутниковой радионавигации (СРНС) как в гражданской отрасли, так и в военных приложениях. Широкое применение СРНС находят для решения задач временной синхронизации, определения географических координат и пространственной ориентации. Многие приложения СРНС требуют непрерывного навигационно-временного обеспечения, в том числе и в условиях воздействия промышленных и преднамеренных помех. Для определения помехоустойчивости навигационной аппаратуры потребителя (НАП) СРНС проводятся испытания, при этом, как правило, определяется устойчивость НАП СРНС к воздействию широкополосных шумовых и гармонических помех.

По общепринятым методикам испытаний на помехоустойчивость НАП СРНС полезный сигнал с навигационных космических аппаратов (НКА) ГЛОНАСС, GPS и сигнал помехи принимаются на разные антенны [1]. Как правило, антенны разнесены друг от друга, но находятся на достаточно близком расстоянии, что приводит к переотражениям как полезного сигнала, так и сигнала помехи от антенн и их мачт. Неидентичность антенн также существенно увеличивает погрешность измерений.

Помехоустойчивость НАП СРНС с реальным антенно-фидерным устройством (АФУ) значительно отличается от помехоустойчивости НАП СРНС с идеальной антенной. Реальная помехоустойчивость зависит от нескольких факторов: неравномерности распределения плотности потоков мощности НКА у поверхности Земли при различных углах местоположения, особенно при малых углах; различия плотности потоков мощности в L_1 и L_2 диапазонах; неравномерности диаграммы направленности (ДН) приемной антенны АФУ НАП СРНС.

К примеру, при испытаниях НАП СРНС на помехоустойчивость срыв слежения по всем НКА должен происходить почти одновременно при одном уровне мощности помехи. Аналогично, захват всех НКА также должен происходить почти одновременно, но при меньших уровнях помехового сигнала.

На самом деле этого не происходит. Так как НКА на малых углах места (в пределах $10...20^\circ$), принимаются с ослаблением от 15 до 12 дБ, относительно 3 дБ усиления эталонной антенны.

Чтобы учесть все факторы, влияющие на помехоустойчивость НАП СРНС, необходимо произвести точный расчет энергетических характеристик радиолинии «НКА – АФУ НАП СРНС». Для систем ГЛОНАСС и GPS основные расчетные характеристики совпадают, поэтому можно ограничиться расчетом только для ГЛОНАСС.

В предлагаемой методике испытаний НАП СРНС тракт контроля спектральной мощности помехового сигнала предлагается совместить с рабочим радиочастотным трактом информационного канала. Данный метод измерения помехоустойчивости НАП СРНС является более точным и простым, так как приемная измерительная антенна принимает как основной сигнал с НКА ГЛОНАСС, GPS, так и сигнал помехи, который с высокой точностью измеряется анализатором спектра. В данной методике исключается неизбежная ошибка вследствие неидентичности антенн, связанная с неточностью определения уровней измеренного сигнала помехи и поступившего сигнала помехи на вход АФУ НАП СРНС.

Мощность радиосигнала, принимаемого потребителем от НКА ГЛОНАСС на выходе приемной линейно поляризованной антенны с коэффициентом усиления 3 дБи и при угле места НКА более 5° составляет не менее минус 161 дБВт для частот поддиапазона L_1 . Мощность радиосигнала, принимаемого потребителем от НКА ГЛОНАСС-М на выходе приемной линейно поляризованной антенны с коэффициентом усиления 3 дБи и при угле места НКА более 5° составляет не менее минус 167 дБВт для частот поддиапазонов L_2 [2].

В качестве обобщенной характеристики радиолинии используют величину энергетического потенциала. Под энергетическим потенциалом радиолинии будем понимать отношение мощности сигнала навигационного спутника на выходе приемного устройства (P_c) к спектральной плотности мощности шума в полосе 1 Гц (N_0):

$$Q = \frac{P_c}{N_0}, \quad (1)$$

Как показано в [3], при значениях $q > 5$ плотность вероятности суммы сигнала и шума практически соответствует нормальному распределению с математическим ожиданием, равным амплитуде сигнала

и средним квадратическим отклонением, соответствующим $\sigma_{\text{ш}}$. В этих условиях надежно обнаруживается сигнал на фоне шумов.

Погрешность измерения фазового сдвига на элементарном интервале измерения является критической величиной, определяющей возможность непрерывного сопровождения сигнала НКА фильтром фазовой автоподстройки частоты (так называемая «схема слежения за несущей»). Предельное значение $\sigma_{\text{фпр}}$, при котором может наступить срыв слежения за фазой, для фазового дискриминатора, имеющего раскрыв дискриминационной характеристики $\Delta D = \pm 90^\circ$, составляет $\sigma_{\text{фпр}} \geq \Delta D/10 = 9^\circ$.

Среднеквадратичную погрешность измерения фазового сдвига σ_ϕ можно определить по выражению:

$$\sigma_\phi = \sqrt{\frac{N_0}{2P_C T_{\text{изм}}}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{изм}}$ – интервал измерения.

При заданной среднеквадратичной погрешности фазового сдвига $\sigma_\phi = 4^\circ$ и времени измерения 10 мс, принятом в НАП СРНС, можно вычислить минимальную требуемую мощность сигнала на выходе идеальной эталонной антенны:

$$P_C = \frac{N_0}{2\sigma_\phi^2 T_{\text{изм}}} = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 210}{2 \cdot 5,03 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2}} \cong 2,8807 \cdot 10^{-17} \text{ Вт}. \quad (3)$$

Переведя данную величину в логарифмическую шкалу, выраженную дБ, получим:

$$P_C (\text{дБ}) = 10 \lg(P_C) = -165,4 \text{ дБВт}.$$

Энергетический потенциал для приемника с изотропной идеальной приемной антенной:

$$Q = -165,4 - (-205,4) \cong 40,1 \text{ дБВт}. \quad (4)$$

Таким образом, энергетический потенциал НКА с малыми углами места снижается до 25...28 дБ только за счет неравномерности ДН.

Расчетные значения эффективной плотности потока мощности у поверхности Земли, обеспечиваемые НКА без учета затухания в атмосфере и эффективные мощности сигналов, принимаемых потребителем на эталонную антенну с НКА, в логарифмическом виде приведены в табл. 1.

Для более точного учета всех факторов, влияющих на помехоустойчивость, необходимо произвести более точный расчет радиолинии от генераторов помех до анализатора спектра.

В упрощенном виде можно считать, что измерительный тракт можно представить в виде радиочастотной линии передачи мощности с генератора помех на анализатор спектра, блок-схема которого приведена на рисунке.

С генератора помехи сигнал через аттенуатор по СВЧ фидеру поступает на излучающую антенну. На некотором расстоянии от передающей антенны находится приемная измерительная антенна. Принятый антенной сигнал поступает на вход малошумящего усилителя (МШУ), усиленный сигнал по фидеру через адаптер и делитель СВЧ мощности идет на НАП СРНС и на анализатор спектра.

Проанализируем вышеприведенную схему. Ослабление, вносимое в радиолинию аттенуатором, известно, коэффициенты передачи радиочастотных фидеров, излучающей антенны, МШУ, адаптера и делителя мощности могут быть измерены с достаточно высокой точностью. В итоге, задача сводится к расчету коэффициента передачи радиолинии и определению коэффициента передачи K_A приемной антенны АФУ НАП СРНС.

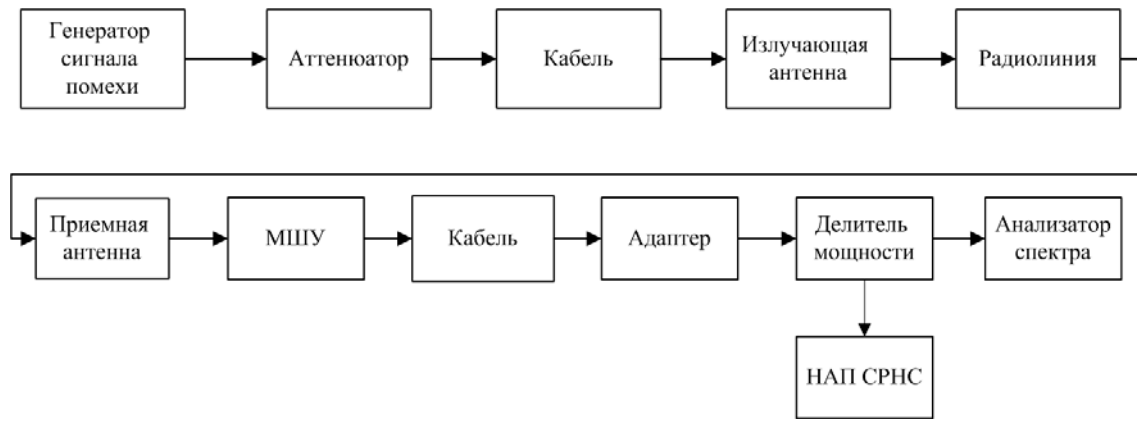
Плотность потока мощности электромагнитного излучения (ЭМИ) Π_r (в Ваттах на единицу площади) на расстоянии r от источника излучения для источника с изотропной излучающей антенной определяется по выражению [4]

$$\Pi_r = \frac{P_r}{4\pi r^2}, \quad (5)$$

где P_r – излучаемая мощность передающей антенной.

Расчетные плотности потока мощности ЭМИ у поверхности Земли от НКА и соответствующие эффективные мощности на выходе эталонной антенны

Навигационная система	Частотный канал	Коэффициент усиления бортовой излучающей антенны НКА, дБ		Плотность потока мощности у поверхности Земли, дБВт/м ²	Эффективная мощность, дБВт
1	2	3		4	5
ГЛОНАСС	L_1	В зените	10	-128,5	-151,0
		В углах $\pm 15^\circ$	12	-126,0	-148,5
		В углах $\pm 19^\circ$	8	-130,5	-153,0
	L_2	В зените	9	-137,5	-158,0
		В углах $\pm 15^\circ$	11	-139,5	-160,0
		В углах $\pm 19^\circ$	9	-139,5	-160,0
GPS	L_1	В зените	10	-130,0	-152,5
		В углах $\pm 15^\circ$	12	-128,0	-150,5
		В углах $\pm 19^\circ$	8	-132,0	-154,5
	L_2	В зените	9	-139,0	-156,5
		В углах $\pm 15^\circ$	11	-141,0	-161,5
		В углах $\pm 19^\circ$	9	-139,0	-156,5



Блок-схема измерительного стенда для испытаний НАП СРНС на помехоустойчивость

Для источника ЭМИ, антенна которого обладает усилением G_r в направлении r ,

$$P_r = \frac{P_r G_r}{4\pi r^2}. \quad (6)$$

Плотность потока мощности в области расположения фазового центра приемной антенны АФУ НАП СРНС рассчитаем по упрощенной формуле (1).

Мощность сигнала, принимаемого изотропной антенной АФУ НАП СРНС от излучающей антенны генератора помехи:

$$P_i = P_r \cdot S_{\text{эфф}}, \quad (7)$$

где $S_{\text{эфф}}$ – эффективная площадь приемной антенны.

Эффективную мощность сигнала, принимаемого изотропной антенной приемника, можно представить и в логарифмическом виде:

$$P_{i\text{эфф}} = 10(\lg P_i + \lg S_{\text{эфф}}) - L_{\text{атм}}, \quad (8)$$

где $L_{\text{атм}}$ – затухание в атмосфере, связанное с потерями на рассеяние мощности излучения на микрочастицах, загрязняющих атмосферу.

В формуле есть два слагаемых: первое слагаемое характеризует коэффициент передачи K_A приемной антенны АФУ НАП СРНС, второе характеризует затухание в пространстве. Затуханием в атмосфере можно пренебречь, так как расстояние, на котором размещаются передающая и приемные антенны в измерительном стенде, не велико, и потери в атмосфере будут незначительными. Коэффициент передачи радиотракта K_{Σ} в логарифмическом виде определим по формуле

$$K_{\Sigma} = 10 \lg P_{i\text{эфф}}, \quad (9)$$

Эффективная мощность сигнала, принимаемая эталонной антенной, в логарифмическом виде и есть коэффициент передачи приемной эталонной антенны K_A . Коэффициент передачи K_A приемной антенны в радиолинии можно вычислить через эффективную площадь антенны, зная ее коэффициент направленного действия (КНД):

$$K_{A\text{эфф}} = 10 \lg S_{\text{эфф}}. \quad (10)$$

Эффективная площадь антенны является параметром, характеризующим качество антенн. Чтобы перейти от известного КНД (усиления G) к более привычной площади антенны, можно воспользоваться формулой

$$S = \frac{G\lambda^2}{4\pi}, \quad (11)$$

где S – геометрическая площадь антенны; λ – длина волны на средней рабочей частоте антенны.

В АФУ НАП СРНС применяются полосковые антенны, относящиеся к классу аппретурных антенн [6]. Площадь аппретурной антенны определяется по выражению

$$S_{\text{эфф}} = \frac{S}{v}, \quad (12)$$

где v – коэффициент использования площади антенны.

Для аппретурных антенн v достаточно высок и достигает значения 0,9–0,94 [6]. Из-за сложной формы облучателя приемной антенны НАП СРНС v можно с достаточной точностью принять равной 0,8, что в логарифмическом виде будет составлять 0,8 дБ.

Коэффициент передачи $K_{A\text{эфф}}$ приемной антенны можно вычислить исходя из принципа баланса мощностей в СВЧ тракте.

Так как неизвестный коэффициент передачи K_A приемной антенны АФУ НАП СРНС является единственным неизвестным параметром, то он будет равен сумме всех коэффициентов передачи блоков, образующих измерительную радиолинию:

$$P_{\Gamma} + L_{\text{аттен}} + L_{\text{каб. изл}} + G_{\text{Аизл}} + K_{\Sigma} + K_{A\text{эфф}} + G_{\text{МШУ}} + L_{\text{каб. изм}} + L_{\text{ад}} + L_{\text{дел}} = P_{\text{анализ}}, \quad (13)$$

где P_{Γ} – мощность генератора помех; $L_{\text{аттен}}$ – ослабление, вносимое аттенюатором; $L_{\text{каб. изл}}$, $L_{\text{каб. изм}}$ – ослабление, вносимое кабельными линиями; $G_{\text{Аизл}}$ – коэффициент усиления передающей антенны; K_{Σ} – коэффициент передачи радиолинии; $K_{A\text{эфф}}$ – коэффициент передачи приемной антенны; $G_{\text{МШУ}}$ – коэффициент усиления МШУ; $L_{\text{ад}}$ – ослабление, вносимое адаптером; $L_{\text{дел}}$ – ослабление, вносимое делителем;

$P_{\text{анализ}}$ – мощность помехового сигнала, измеренного анализатором спектра.

Таким образом, калибровка измерительного тракта позволяет рассчитать поправочный коэффициент N к показаниям анализатора спектра в L_1 и L_2 диапазоне, который равен сумме коэффициентов передачи всех блоков от анализатора спектра до приемной антенны:

$$N = -K_{\text{Аэфф}} - G_{\text{МШУ}} + L_{\text{каб.изм.}} + L_{\text{ад}} + L_{\text{дел.}} \quad (14)$$

При помощи найденного поправочного коэффициента определяется мощность помехового сигнала, приведенного к входу приемной антенны АФУ НАП СРНС, при котором происходят срывы сопровождения и захвата сигналов НКА. Применение предложенной методики позволяет измерять реальную устойчивость НАП СРНС к воздействию помех вне зависимости от значений коэффициентов передачи приемного тракта, что дает возможность сравнить ее с предлагаемыми моделями помеховой обстановки.

Библиографические ссылки

1. Дмитриев Д. Д. Исследование помехоустойчивости аппаратуры радионавигации // Современные проблемы развития науки, техники и образования : сб. научн. тр. / под науч. ред. М. А. Барышева, В. И. Кокорина. Красноярск : ИПК СФУ, 2009. С. 202–209.
2. Интерфейсный контрольный документ ГЛОНАСС. Навигационный радиосигнал в диапазонах L_1, L_2 / РНИИ КП. ред. 5.1. М. : РНИИ КП, 2008.
3. Айбиндер И. М. Шумы радиоприемников. М. : Связь, 1974. 328 с.
4. Уайт Д. Р. Ж. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. М. : Советское радио, 1977.
5. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Радиотехника, 2010.
6. Панченко Б. А., Нефедов Е. И. Микрополосковые антенны. М. : Радио и связь, 1986.

V. N. Tyapkin, Y. L. Fateev, D. D. Dmitriev, V. G. Konnov

CALIBRATION OF MEASURING PATH FOR ECM TEST OF NAVIGATION EQUIPMENT OF CUSTOMERS OF SATELLITE RADIO NAVIGATION SYSTEMS

The authors consider calculation of radio-frequency lines «Navigation space satellite – the spectrum analyzer» and «the generator of noises – the spectrum analyzer» for their calibration for ECM test of navigation equipment of customers of satellite radio navigation systems.

Keywords: navigation equipment of customers, satellite radio navigation systems, interference immunity.

© Тяпкин В. Н., Фатеев Ю. Л., Дмитриев Д. Д., Коннов В. Г., 2012

УДК 629.78.064.5

В. Е. Чеботарев, В. Д. Звонарь, Р. Ф. Фаткулин, Г. В. Дмитриев

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ НАЛИЧИИ ОГРАНИЧЕНИЙ

Проведен анализ различного типа электрообогревателей космического аппарата и для каждого из них составлена математическая модель расчета параметров при наличии конструктивных и тепловых ограничений. Разработана методика выбора параметров электрообогревателей по критериям, зависящим от вида ограничений и обеспечивающих заданную плотность теплового потока. Представлены результаты расчета параметров электрообогревателей космического аппарата информационного обеспечения и сформулированы рекомендации по их выбору в условиях неопределенности факторов эксплуатации.

Ключевые слова: космический аппарат, электрообогреватель, математическая модель.

Электрообогреватели космического аппарата (КА) совместно со средствами охлаждения используются для поддержания заданного теплового режима оборудования, создавая необходимое равновесие между притоком и оттоком тепла от этого оборудования. Электрообогреватель (ЭО) содержит токонесущий провод и электроизолирующую подложку [1].

Основными параметрами ЭО являются: мощность, масса, площадь обогреваемой поверхности.

Мощность ЭО определяется по закону Ома [2]:

$$N_{\text{ЭО}} = \frac{U^2}{R_{\text{пр}}} = \frac{U^2}{R_l l_{\text{пр}}} = \frac{U^2 S_{\text{пр}}}{\rho_{\text{пр}} l_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{ЭО}}$ – мощность ЭО, Вт; U – напряжение электропитания ЭО, В; $R_{\text{пр}}$ – электрическое сопротивление провода, Ом; R_l – удельное электрическое сопротивление единицы длины провода, Ом/м; $S_{\text{пр}}$ – площадь сечения провода, м^2 ; $\rho_{\text{пр}}$ – удельное электриче-

ское сопротивление материала провода, Ом·м;
 $l_{\text{пр}}$ – длина провода, м.

Площадь обогреваемой с помощью ЭО поверхности $F_{\text{ЭО}}$ зависит от площади провода $F_{\text{пр}}$ и коэффициента заполнения им обогреваемой поверхности $K_{\text{ЗАП}}$

$$F_{\text{ЭО}} = \frac{F_{\text{пр}}}{K_{\text{ЗАП}}}, \quad F_{\text{пр}} = l_{\text{пр}} \cdot d_{\text{пр}} = \frac{U^2 \cdot S_{\text{пр}}}{\rho_{\text{ЭО}} \cdot N_{\text{ЭО}}} \cdot d_{\text{пр}}, \quad (2)$$

где $d_{\text{пр}}$ – максимальный размер сечения провода.

Масса ЭО формируется как сумма масс токонесущего провода $m_{\text{пр}}$, электроизолирующей подложки и клея $m_{\text{ЭП}}$:

$$m_{\text{ЭО}} = m_{\text{пр}} + m_{\text{ЭП}} = \gamma_{\text{пр}} \cdot l_{\text{пр}} \cdot S_{\text{пр}} + \gamma_{\text{ЭП}} \cdot \frac{F_{\text{пр}}}{K_{\text{ЗАП}}} = F_{\text{ПР}} \left(\gamma_{\text{пр}} \cdot \frac{S_{\text{пр}}}{d_{\text{пр}}} + \frac{\gamma_{\text{ЭП}}}{K_{\text{ЗАП}}} \right), \quad (3)$$

где $\gamma_{\text{пр}}$ – объемная плотность провода, кг/м³;
 $\gamma_{\text{ЭП}}$ – поверхностная плотность подложки, кг/м².

Эффективность применения ЭО характеризуется следующими удельными показателями:

– тепловая эффективность

$$q_{\text{ЭО}} = \frac{N_{\text{ЭО}}}{F_{\text{ЭО}}} = \frac{\rho_{\text{пр}} \cdot K_{\text{ЗАП}}}{d_{\text{пр}} \cdot S_{\text{пр}}} \cdot \left(\frac{N_{\text{ЭО}}}{U} \right)^2, \quad (4)$$

– массовая эффективность

$$m_{\text{Э}} = \frac{N_{\text{ЭО}}}{T_{\text{ЭО}}} = \frac{\rho_{\text{пр}}}{\left(\gamma_{\text{пр}} \cdot S_{\text{пр}} + \gamma_{\text{ЭП}} \cdot \frac{d_{\text{пр}}}{K_{\text{ЗАП}}} \right) \cdot S_{\text{пр}}} \cdot \left(\frac{N_{\text{ЭО}}}{U} \right)^2. \quad (5)$$

Удельные показатели ЭО могут быть использованы для оптимизации параметров ЭО по критерию $q_{\text{Э}} \rightarrow \max$, $m_{\text{Э}} \rightarrow \max$. С помощью этих критериев проведем выбор материала токонесущего провода по максимуму $\rho_{\text{пр}}$ провода (формула (4)), или максимуму $\frac{\rho_{\text{пр}}}{\gamma_{\text{пр}}}$ (формула (5)) (табл. 1, в скобках приведен номер позиции материала, занимаемой по данному критерию).

Анализ данных табл. 1 позволяет сформулировать следующие рекомендации:

– материал нихром имеет лучшие показатели по обоим критериям;

– материал константан имеет удовлетворительные показатели по критерию 1, но уступает материалу алюминий по критерию 2;

– материал алюминий имеет удовлетворительные показатели по критерию 2, но неудовлетворительные – по критерию 1.

В итоге в ЭО КА применяют токонесущий провод, выполненный из материала с большим удельным сопротивлением (критерий 1): нихром, константан.

Кроме того, удельные показатели ЭО также содержат информацию о других частных критериях оптимизации ЭО: $U \rightarrow \min$, $S_{\text{пр}} \rightarrow \min$, $K_{\text{ЗАП}} \rightarrow \max$.

Уменьшение напряжения ЭО повышает удельный показатель $q_{\text{Э}}$, $m_{\text{Э}}$, однако приводит к увеличению массы кабелей системы электропитания:

$$m_{\text{К}} = K_{\text{об}} \cdot \gamma_{\text{К}} \cdot l_{\text{К}}^2 \cdot \rho_{\text{К}} \cdot \frac{N_{\text{ЭО}}}{\Delta U_{\text{К}} \cdot U}, \quad (6)$$

где $K_{\text{об}}$ – коэффициент конструктивных затрат массы на оболочку кабеля; $\gamma_{\text{К}}$ – объемная плотность провода кабеля, кг/м³; $l_{\text{К}}$ – длина кабеля, м; $\rho_{\text{К}}$ – удельное электрическое сопротивление материала провода кабеля, Ом·м; $\Delta U_{\text{К}}$ – допустимое падение напряжения в кабеле за счет омического сопротивления.

Ввиду неопределенности реализации длины кабеля для конкретного типа ЭО выработана общая рекомендация: напряжение ЭО выше 27 В целесообразно применять для ЭО мощностью более 110 Вт.

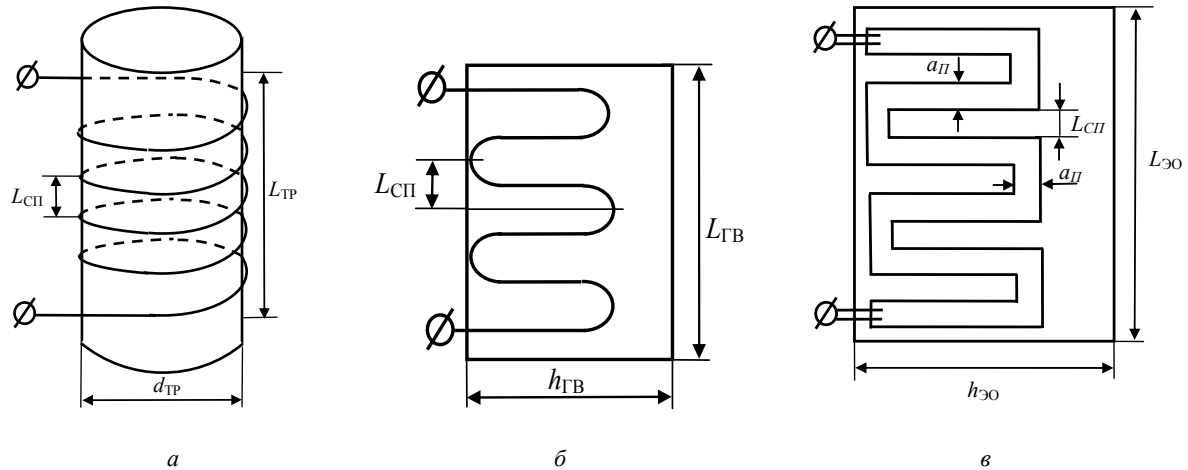
Минимизация площади сечения провода ЭО $S_{\text{пр}}$ и максимизация $K_{\text{ЗАП}}$ связаны с тепловыми и конструктивными ограничениями.

Тепловые ограничения обусловлены исключением плавления материала изолирующей подложки и токонесущего провода. В условиях вакуума и при умеренной температуре считается, что вся выделяемая тепловая мощность ЭО передается на обогреваемую поверхность. В этом случае для заданного термического сопротивления изолирующей подложки $R_{\text{П}}$ и допустимого значения перепада температур между лентой и сопотанелью $\Delta T_{\text{П}}$, существует ограничение на плотность мощности

$$q_{\text{П}} = \frac{\Delta T_{\text{П}}}{R_{\text{П}}}. \quad (7)$$

Таблица 1

№ п/п	Наименование	$\rho_{\text{пр}}$, Ом·мм ² /м	$\gamma_{\text{пр}}$, кг/л	$\frac{\rho_{\text{пр}}}{\gamma_{\text{пр}}}$
1	Медь	0,0178 (5)	8,9	0,002 (5)
2	Алюминий	0,0287 (4)	2,71	0,106 (2)
3	Вольфрам	0,055 (3)	19,1	0,003 (4)
4	Константан	0,5 (2)	8,9	0,056 (3)
5	Нихром	1,12 (1)	8,4	0,133 (1)



Схематичное размещение провода электрообогревателя
 а – вокруг трубопровода; б – на цилиндрической поверхности газовада; в – на плоской поверхности сотопанели

Конструктивные ограничения, а также величина предельной плотности мощности ЭО зависят от назначения, места размещения и условий эксплуатации ЭО, формы обогреваемой поверхности: плоская или цилиндрическая и типа используемого токонесущего провода: проволочный или пленочный. Рассмотрим наиболее характерные типы ЭО, применяемые на КА информационного обеспечения: для обогрева трубопроводов ДУ, газа гермоконтейнера, сотопанелей с приборами негерметичного приборного отсека (см. рисунок) [1].

Электрообогреватели трубопроводов ДУ предназначены поддерживать узкий диапазон температур (10...25 °С) рабочего тела (гидразина) в трубопроводе. Электрообогреватели устанавливаются на участках трубопровода, находящихся вне приборного отсека КА, поэтому они дополнительно закрываются теплоизоляцией для уменьшения утечки тепла в окружающее внешнее космическое пространство.

В этом случае применять проволочный токонесущий провод в ЭО допустимо из условия теплопередачи, что приводит к упрощению технологии его сборки: провод наматывается в один слой через электроизолятор на наружную цилиндрическую поверхность трубопровода. При этом резервный ЭО формируется наматыванием провода через электроизолятор на основной ЭО. Такая конструктивная схема позволяет в экстремальных случаях включать одновременно оба комплекта ЭО. Плотность укладки провода, задаваемая как количество витков на единицу длины n_L или шаг между витками спирали $L_{СП} = 1/n_L$, регулируется для обеспечения требуемого значения плотности теплового потока.

Максимальное значение шага ограничено неравномерностью теплового потока, а минимальное – исключением электропробоя между витками. Величина плотности теплового потока, формируемая ЭО трубопровода, рассчитывается по формуле

$$q_F = \frac{N_{ЭО}}{\pi \cdot L_{ТР} \cdot d_{ТР}} = \frac{q_L}{\pi \cdot d_{ТР}}, \quad (8)$$

где $L_{ТР}$ – длина термостатируемой части трубопровода, м; $d_{ТР}$ – наружный диаметр трубопровода, м; q_L – плотность теплового потока на единицу длины трубопровода, Вт/м.

Для заданной длины термостатируемой части трубопровода и его диаметра, выбранного типа провода и номинала напряжения определяются следующие параметры ЭО:

$$n_L = \frac{1}{\pi \cdot d_{ТР}} \cdot \sqrt{\left(\frac{U^2}{\pi \cdot R_l \cdot q_F \cdot d_{ТР} \cdot L_{ТР}^2} \right)^2 - 1}, \quad (9)$$

$$N_{ЭО} = \pi \cdot q_F \cdot d_{ТР} \cdot L_{ТР},$$

$$l_{пр} = L_{ТР} \cdot \sqrt{(\pi \cdot n_L \cdot d_{ТР})^2 + 1}. \quad (10)$$

В связи с наличием ограничений по плотности укладки провода n_L появляется ограничение на длину термостатируемой части трубопровода, оцениваемой с помощью уравнения

$$L_{ТР}^2 = \frac{U^2}{\pi \cdot R_l \cdot q_F \cdot d_{ТР} \cdot \sqrt{(\pi \cdot n_L \cdot d_{ТР})^2 + 1}}. \quad (11)$$

Величина теплового потока q_F в формулах (8)...(10) определяется из условия гарантированного поддержания температурного диапазона рабочего тела ДУ, и для гидразина (диапазон температур 10...25 °С) составляет $q_F = 59...75$ Вт/м². Для этого случая диапазон параметров ЭО трубопровода КА диаметром $d_{ТР} = 6$ мм при использовании провода, выполненного из нихрома ($R_l = 15,85$ Ом/м) для расчетных ограничений на n_L представлен в табл. 2.

Информация табл. 2 может быть использована для проектных оценок выбираемой длины трубопровода, удовлетворяющей ограничениям.

Таблица 2

Наименование	$q_F = 59 \text{ Вт/м}^2$ ($q_L = 1,1 \text{ Вт/м}$)		$q_F = 75 \text{ Вт/м}^2$ ($q_L = 1,4 \text{ Вт/м}$)	
	$n_L = 0,5 \text{ в/м}$	$n_L = 3,5 \text{ в/м}$	$n_L = 0,5 \text{ в/м}$	$n_L = 3,5 \text{ в/м}$
$L_{TP}, \text{ м}$	5,5	2,5	4,9	2,2
$N_{ЭО}, \text{ Вт}$	6,0	2,8	6,9	3,1
$l_{ЭО}, \text{ м}$	7,6	16,7	6,7	14,8

Последующий расчет параметров ЭО проводится по формулам (9)...(10) для известного значения длины трубопровода.

Электрообогреватели газа гермоконтейнера предназначены для поддержания заданного диапазона температур герметичного приборного отсека при минимальных тепловыделениях аппаратуры. Электрообогреватели устанавливаются в зонах цилиндрической части газоведа, интенсивно обдуваемых газом. В этом случае применение проволочного токонесущего провода в ЭО допустимо по условию теплоотдачи в газовый контур и приводит к упрощению технологии сборки: провод наклеивается в один слой на поверхность газоведа, являющегося электроизолятором, с равномерным шагом $L_{СП}$ укладки провода. Резервный ЭО формируется на рядом расположенной свободной поверхности газоведа.

Плотность укладки провода, задаваемая шагом между витками спирали $L_{СП}$, регулируется, обеспечивая требуемое значение плотности теплового потока. Для поддержания температуры газа гермоконтейнера в пределах $10...40^\circ\text{C}$ при интенсивной циркуляции газа в газоведе требуемое значение плотности теплового потока составляет $q_F = 140 \text{ Вт/м}^2$.

Для заданной мощности ЭО и типа провода определяется его длина из уравнения (1):

$$l_{пр} = \frac{U^2}{N_{ЭО} R_l}, \quad (12)$$

а для обеспечения требуемой величины теплового потока q_F определяются площадь и геометрические размеры ЭО:

$$\begin{aligned} F_{ЭО} &= \frac{N_{ЭО}}{q_F} = h_{ГВ} \cdot L_{ГВ}, \\ L_{ГВ} &= l_{пр} - \frac{F_{ЭО}}{L_{СП}} \geq L_{СП}, \quad n_B = \frac{L_{ГВ}}{L_{СП}}, \\ l_{пр} &= (L_{СП} + h_{ГВ}) \cdot n_B = L_{ГВ} + \frac{h_{ГВ} \cdot L_{ГВ}}{L_{СП}}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $h_{ГВ}$, $L_{ГВ}$ – геометрические размеры ЭО, размещаемого на газоведе, м; n_B – количество витков провода (подбирается четное число).

Исходя из ограничения $L_{ГВ} \geq L_{СП}$ находим

$$L_{СП.min} = 0,5 l_{ЭО} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot F_{ЭО}}{l_{пр}^2}} \right] \approx \frac{F_{ЭО}}{l_{пр}}. \quad (14)$$

Дополнительно максимальное значение шага $L_{СП}$ ограничено неравномерностью теплового потока, а

минимальное – исключением электропровода между витками.

Проведем оценку параметров ЭО, размещаемого на газоведе, со следующими требованиями по обеспечению теплового режима: $N_{ЭО} = 10 \text{ Вт}$, $q_F = 140 \text{ Вт/м}^2$, $U = 27 \text{ В}$ и использующего провод из нихрома ($R_l = 15,85 \text{ Ом/м}$), укладываемого с шагом $L_{СП} = 3...20 \text{ мм}$. Для этого величина шага $L_{СП}$ должна быть более $15,5 \text{ мм}$. Принимая величину шага $L_{СП} = 16 \text{ мм}$, получим следующие геометрические размеры ЭО:

- площадь $F_{ЭО} = 0,072 \text{ м}^2$;
- габариты $h_{ГВ} = 0,378 \text{ м}$, $L_{ГВ} = 0,189 \text{ м}$;
- длина провода $l_{пр} = 4,62 \text{ м}$.

Количество витков провода согласно формуле (13) составляет $n_B = 11,8$, которое должно принимать целочисленное значение $n_B = 12$. За счет округления необходимо уточнить величину длины провода $l_{пр} = 4,73 \text{ м}$ и мощность ЭО $N_{ЭО} = 9,76 \text{ Вт}$.

Электрообогреватели сотопанелей и приборов негерметичного приборного отсека предназначены для поддержания требуемой температуры сотопанели с приборами, а также непосредственно приборов, требующих особых условий поддержания температуры и обособленных от панели в тепловом отношении.

В электрообогревателях этого типа используется пленочный токонесущий провод в виде ленты (фольги), изготовленной из материала с большим удельным сопротивлением (константана), укладываемой на изолирующую подложку в виде змейки с организацией необходимых зазоров между лентами. В качестве изолирующей подложки в космической отрасли используется стеклоткань, а в более новых разработках – полиимидная пленка.

Оптимизация параметров этого типа ЭО заключается в минимизации его площади, которая достигается выбором соотношений между геометрическими размерами провода с учетом технологических и тепловых ограничений.

Технологические ограничения на ширину и зазор между лентами зависят от способа изготовления нагревателя. При ручном приклеивании ленточки технологические ограничения на минимальные геометрические размеры ленты, выполненные из константана следующие: ширина $a_{II} \geq a_0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, толщина $b_{II} \geq b_0 = 12 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, а конструктивный зазор между лентами $L_{СП} \geq L_0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Кроме того, ширина и длина ленты может принимать непрерывное значение.

ние, обеспечиваемое соответствующей нарезкой, а толщина принимает дискретное значение: $12 \cdot 10^{-6}$ м; $18 \cdot 10^{-6}$ м и т. д.

При изготовлении пленочных нагревателей путем травления дорожки из фольги константана или никрома, нанесенной на полиимидную пленку, расстояние между дорожками может быть уменьшено до 0,127 мм.

Тепловое ограничение на характеристики пленочного ЭО обусловлено исключением плавления материала изолирующей подложки и токонесущего провода, которое соответствует температуре выше 100 °С. Перепад температуры между нагревателем и панелью обусловлен термическим сопротивлением изолирующей подложки R_{Π} , которое представляется в виде суммы термических сопротивлений клеевого слоя между ленточкой и электроизолирующей подложкой, электроизолирующей подложки и клеевого слоя между нагревателем и панелью:

$$R_{\Pi} = \left(\frac{\delta_{\text{кл1}}}{\lambda_{\text{кл1}}} + \frac{\delta_{\text{из}}}{\lambda_{\text{из}}} + \frac{\delta_{\text{кл2}}}{\lambda_{\text{кл2}}} \right), \quad (15)$$

где $\delta_{\text{кл1}}$, $\delta_{\text{из}}$, $\delta_{\text{кл2}}$ – толщина электроизолятора и клеевых слоев, $\lambda_{\text{кл1}}$, $\lambda_{\text{из}}$, $\lambda_{\text{кл2}}$ – теплопроводность электроизолятора и клеевых слоев.

Использование в качестве подложки ЭО стеклоткани толщиной $\delta = 0,3$ мм ($\lambda = 0,2$ Вт/м·К) и клеевых слоев толщиной $\delta = 0,1$ мм ($\lambda = 0,2$ Вт/м·К) создает термическое сопротивление $R_{\Pi} = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м²·К/Вт.

При установке нагревателя на внутреннюю обшивку радиационной сотовой панели, не оснащенную тепловыми трубами, для исключения нагрева поверхности сотовой панели выше температуры 100 °С необходимо учитывать перепад температур в сотовой панели до радиатора или обогреваемого прибора (30...50 °С). В результате предельная плотность теплового потока от ЭО $q_{\Pi} = 12\,000$ Вт/м².

При установке на сотовую панель тепловых труб, ограничение по тепловому потоку определяется возможностями тепловых труб воспринимать тепло без возникновения кризиса кипения теплоносителя (аммиака) в ее капиллярных канавках. В зависимости от диаметра тепловой трубы ограничение составляет порядка $q_{\Pi} = 80\,000$ Вт/м². При наличии основной и запасной трубы это ограничение уменьшается вдвое и составляет $q_{\Pi} = 40\,000$ Вт/м² (для обеспечения работоспособности при отказе одной из тепловых труб).

При установке нагревателя на прибор ограничения обусловлены требуемой равномерностью температурного поля прибора, доступными местами для установки нагревателей и определяются с помощью тепловой математической модели прибора.

В формализованном виде тепловое ограничение на характеристики пленочного ЭО представляется как неравенство

$$q = \frac{N_{\text{ЭО}}}{F_{\text{пр}}} = \frac{N_{\text{ЭО}} \rho_{\text{пр}}}{U^2 a_{\Pi}^2 b_{\Pi}} \leq q_{\Pi}. \quad (16)$$

где a_{Π} , b_{Π} – ширина и толщина ленты, м.

Мощность пленочного ЭО определяется по формуле (1) подстановкой значения $S_{\text{пр}} = a_{\Pi} \cdot b_{\Pi}$:

$$N_{\text{ЭО}} = \frac{U^2 a_{\Pi} b_{\Pi}}{\rho_{\text{пр}} l_{\text{пр}}}. \quad (17)$$

Геометрические размеры ЭО вычисляются по следующим формулам:

$$F_{\text{ЭО}} = h_{\text{ЭО}} \cdot L_{\text{ЭО}} = \frac{l_{\text{пр}} a_{\Pi}}{K_{\text{ЗАП}}}; \quad (18)$$

$$l_{\text{пр}} = (h_{\text{ЭО}} + L_{\text{СП}}) \cdot n_{\text{В}} = L_{\text{ЭО}} \frac{h_{\text{ЭО}} + L_{\text{СП}}}{a_{\Pi} + L_{\text{СП}}}; \quad (19)$$

$$K_{\text{ЗАП}} = \frac{l_{\text{пр}} \cdot a_{\Pi}}{F_{\text{ЭО}}} = \frac{1 + \frac{L_{\text{СП}}}{h_{\text{ЭО}}}}{1 + \frac{L_{\text{СП}}}{a_{\Pi}}}, \quad (20)$$

где $h_{\text{ЭО}}$, $L_{\text{ЭО}}$ – геометрические размеры пленочного ЭО, м; $K_{\text{ЗАП}}$ – коэффициент заполнения; $n_{\text{В}}$ – число

витков провода, $n_{\text{В}} = \frac{L_{\text{ЭО}}}{a_{\Pi} \cdot L_{\text{СП}}}$.

Рассчитаем геометрические параметры ЭО по формулам (18)...(20) с учетом тепловых и конструктивных ограничений.

В начале определим значение мощности ЭО $N_{\text{ПР}}$, при которой достигается предельная плотность теплового потока:

$$N_{\text{ПР}} = \sqrt{q_{\Pi} \cdot \frac{U^2 a_0^2 b_0}{\rho_{\text{пр}}}}. \quad (21)$$

Так, предельное значение мощности ЭО для ленты, выполненной из константана ($\rho_{\text{ЭО}} = 0,48 \cdot 10^{-6}$ Ом·м) и принятых значениях a_0 , b_0 равно $N_{\text{ПР}} = 29,6$ Вт ($U = 27$ В) и $N_{\text{ПР}} = 109,6$ Вт ($U = 100$ В).

Если $N_{\text{ЭО}} \geq N_{\text{ПР}}$, то для заданного $N_{\text{ЭО}}$ находим с помощью уравнения (16) поверхностную плотность омического сопротивления:

$$R_S = \frac{R}{F_{\text{пр}}} = \frac{\rho_{\text{пр}}}{a_{\Pi}^2 \cdot b_{\Pi}} = \frac{U^2}{N_{\text{ЭО}}^2} \cdot q_{\Pi}, \quad (22)$$

В этом случае, принимая известными значения параметров $N_{\text{ЭО}}$, U , R_S , $\rho_{\text{пр}}$, b_{Π} , определяем ширину ленты по формуле (21):

$$a_{\Pi} = \frac{N_{\text{ЭО}}}{U} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{пр}}}{b_{\Pi} \cdot q_{\Pi}}} = \sqrt{\frac{\rho_{\text{пр}}}{R_S \cdot b_{\Pi}}}, \quad (23)$$

и ее длину $l_{\text{пр}}$ по формуле (17):

$$l_{\text{пр}} = \frac{U^2 \cdot a_{\Pi} \cdot b_{\Pi}}{\rho_{\text{пр}} \cdot N_{\text{ЭО}}}, \quad (24)$$

а затем для известного значения $L_{\text{СП}}$ и одного из габаритных размеров ЭО вычисляем другой габаритный размер ЭО – площадь $F_{\text{ЭО}}$ и коэффициент заполнения $K_{\text{ЗАП}}$:

$$L_{\text{ЭО}} = l_{\text{пр}} \cdot \frac{a_{\Pi} + L_{\text{СП}}}{h_{\text{ЭО}} + L_{\text{СП}}}, \quad h_{\text{ЭО}} = \frac{l_{\text{пр}}}{L_{\text{ЭО}}} (a_{\Pi} + L_{\text{СП}}) - L_{\text{СП}}. \quad (25)$$

При этом подбирается четное число витков провода.

Для квадратной формы ЭО его габаритные размеры определяют путем решения квадратного уравнения

$$h_{ЭО} = L_{ЭО} = 0,5 \cdot L_{СП} \times \left(\sqrt{1 + 4 \cdot l_{ЭО} \cdot \left(\frac{1}{L_{СП}} + \frac{a_{П}}{L_{СП}^2} \right)} - 1 \right). \quad (26)$$

Если $N_{ЭО} < N_{ПР}$, то параметры ЭО в условиях ограничений рассчитываем с помощью уравнений (18)...(25), подставив в них минимальные значения a_0 , b_0 , L_0 .

Расчетные значения параметров ЭО с учетом ограничений, принятых на КА информационного обеспечения, приведены в табл. 3.

Анализ данных табл. 3 позволяет сформулировать следующие рекомендации:

1) напряжение 100 В целесообразно применять для мощности ЭО более 110 Вт;

2) увеличение толщины ленты провода увеличивает площадь ЭО;

3) ширину зазора между лентами необходимо минимизировать, чтобы не увеличивать площадь ЭО.

При использовании разработанной модели для расчета проектных параметров ЭО в условиях неопределенности факторов эксплуатации (наличие диапазона по напряжению, дискретности геометрических размеров) рекомендуется реализовывать четное число

витков с некоторым завышением мощности ЭО. Применение ЭО увеличенной мощности допустимо, так как ЭО, как правило, работает в скажном режиме, организуемом контуром управления по показаниям датчиков температуры.

Итак, проведен анализ различного типа электрообогревателей космического аппарата и для каждого из них составлена математическая модель расчета параметров при наличии конструктивных и тепловых ограничений.

Разработана методика выбора параметров электрообогревателей по критериям, зависящим от вида ограничений и обеспечивающих заданную плотность теплового потока.

Представлены результаты расчета параметров электрообогревателей космического аппарата информационного обеспечения и сформулированы рекомендации по их выбору в условиях неопределенности факторов эксплуатации.

Библиографические ссылки

1. Чеботарев В. Е. Проектирование космических аппаратов систем информационного обеспечения : учеб. пособие. В 2 кн. Кн. 2. Внутреннее проектирование космического аппарата ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2006.
2. Кухлинг Х. Справочник по физике : пер. с нем. М. : Мир, 1982.

Таблица 3

$N_{ЭО}$, Вт	20	30	60	70	70	110	110	160	180	240	240
U , В	27	27	27	27	100	27	100	100	100	100	100
$b_{П}$, мм	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,018
$a_{П}$, мм	2	2,03	4,06	4,73	2	7,44	2,01	2,92	3,29	4,38	3,58
$L_{СП}$, мм	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$l_{ПР}$, м	1,8225	1,23	1,23	1,23	7,14	1,23	4,56	4,56	4,56	4,56	5,585
$K_{ЗАП}$	0,512	0,519	0,685	0,719	0,506	0,805	0,509	0,601	0,63	0,695	0,649
$F_{ЭО}$, м ²	0,007	0,005	0,007	0,008	0,028	0,012	0,018	0,022	0,024	0,029	0,031
$q_{ПР}$, Вт/м ²	5468	12015	12015	12032	4902	12022	12001	12016	12009	12016	12010
$q_{ЭО}$, Вт/м ²	2810	6233	8234	8651	2480	9167	6109	7224	7563	8348	7796
n_B	22	18	14	14	42	12	34	30	30	26	32

V. E. Chebotarev, V. D. Zvonar, R. F. Fatkulin, G. B. Dmitriev

TECHNIQUE FOR CALCULATION AND SELECTION OF SPACECRAFT ELECTRIC HEATERS PARAMETERS UNDER UNCERTAINTY CONDITIONS

The authors present analysis of different electrical heaters of spacecraft. Taking into account design and heat limitations, the mathematical models are presented for each of them. Technique for selection of heater parameters, based on limitations dependent criteria and providing for specified heat-flux density, is developed. The obtained calculation data of spacecraft heaters are presented and recommendations on choice of their parameters under uncertainty conditions are formulated.

Keywords: spacecraft, electric heater, mathematic model.

© Чеботарев В. Е., Звонарь В. Д., Фаткулин Р. Ф., Дмитриев Г. В., 2012

А. В. Шахматов, М. Ю. Вергазов, С. А. Чекмарев, В. Х. Ханов

СЕТЕВАЯ АРХИТЕКТУРА СОПРЯЖЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Описывается сетевая архитектура, предназначенная для сопряжения комплексов бортового оборудования космического аппарата, а также текущие результаты работ по созданию ее прототипа. Целью разработки данной архитектуры является получение таких преимуществ, как повышенная надежность с приемлемыми затратами, хорошая масштабируемость, малое количество кабельных соединений, упрощение обслуживания.

Ключевые слова: сетевая архитектура, комплексы бортового оборудования, космические аппараты.

Традиционные подходы к организации информационно-логического взаимодействия комплексов бортового оборудования (КБО) космического аппарата (КА) в настоящее время не могут коренным образом повлиять на решение основных задач космического приборостроения:

- добиться высокой надежности при приемлемом уровне затрат аппаратного резервирования;
- выдержать жесткие требования к массогабаритным показателям и потребляемой мощности;
- добиться унификации интерфейсов и каналов передачи данных.

Возможным решением могла бы стать сетевая архитектура, широко применяемая в системах управления не космического назначения. Однако сетевая архитектура не нашла широкого распространения. Сдерживающим фактором являлось отсутствие современной сетевой «космической» технологии.

Долгие годы и даже десятилетия основным интерфейсом на борту КА оставался магистральный последовательный интерфейс в соответствии со стандартом MIL-STD-1533 (отечественные аналоги ГОСТ 26765.52–87, ГОСТ Р 52070–2003) [1]. К моменту своего появления (1973 г.) сетевые технологии еще только проходили стадию своего появления, поэтому, конечно же, он не отвечает современным требованиям. Он имеет не высокую скорость, только ма-

гистральную топологию, низкую масштабируемость, централизованное управление; для него отсутствуют высокоразвитые протоколы верхних уровней.

Понимание необходимости современной сетевой технологии сложилось уже давно, поэтому в 2000 годах по инициативе Европейского космического агентства (ESA) был разработан стандарт SpaceWire [2]. С его появлением у разработчиков космических систем стало возможным реализовать сетевую архитектуру на борту КА.

Особенностью сетевой архитектуры является создание инфраструктуры передачи данных, позволяющей легко дублировать основные и инфраструктурные компоненты, иметь несколько альтернативных путей передачи данных, масштабировать или модифицировать сеть под имеющееся оборудование на борту КА.

В качестве базовой топологии могут быть использованы различные модификации соединения типа «звезда» с быстродействующим коммутатором (маршрутизирующим коммутатором в случае технологии SpaceWire) в качестве центрального узла [3].

Наиболее вероятными кандидатами представляются топологии «двойная звезда», «двойная-двойная звезда» и «тройная звезда» (рис. 1–3), представляющие различные варианты архитектурной надежности.

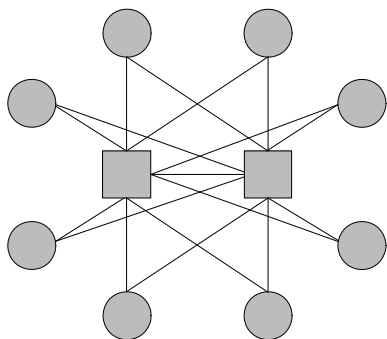


Рис. 1. Архитектура «двойная звезда»

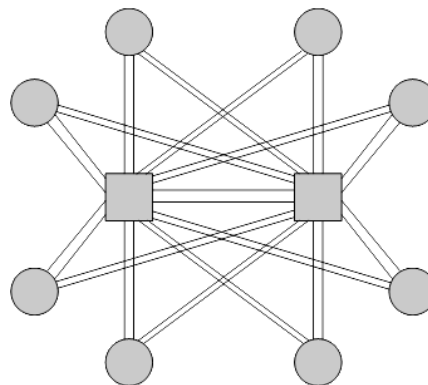


Рис. 2. Архитектура «двойная-двойная звезда»

* Работа выполнена в рамках реализации конкурса научно-технических исследований, разработок, инновационных программ и проектов для обеспечения конкурентных преимуществ экономики Красноярского края (Дополнительное соглашение от 05.07.2012 г. № 03/12 к Соглашению № 5 от 06.08.2009 г.).

Квадратными блоками изображаются маршрутизирующие коммутаторы (далее – маршрутизаторы), являющиеся основой сетевой архитектуры, круглыми – узлы сети (КБО).

Архитектура «двойная звезда» состоит из двух связанных между собой маршрутизаторов и узлов, имеющих связи с каждым маршрутизатором. В архитектуре «двойная-двойная звезда» связи образуются двумя физическими каналами. В архитектуре «тройная звезда» используются три маршрутизатора, каждый из которых связан с каждым узлом сети. Очевидно, что каждый вариант топологии от первого к третьему повышает надежность информационного взаимодействия КБО, конкретный вариант определяется исходными данными на КА.

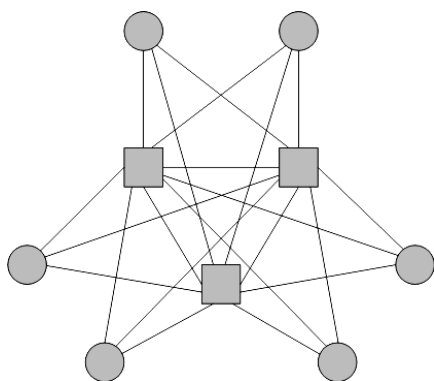


Рис. 3. Архитектура «тройная звезда»

Рассмотрим несколько практических примеров реализации сетевой архитектуры на основе технологии SpaceWire (далее – SpW).

Архитектура для малого КА (рис. 4) характеризуется непродолжительным временем активного существования, поэтому требования к архитектурной надежности не высокие.

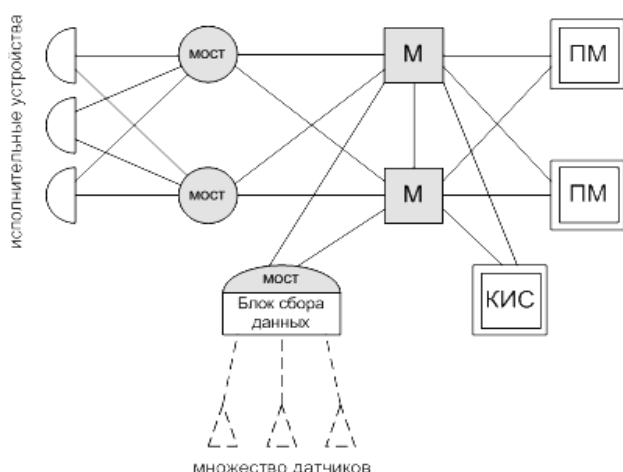


Рис. 4. Сетевая архитектура для малого КА

Системообразующими устройствами являются два маршрутизатора (М). Передача данных по сети инициируется только интеллектуальными блоками – процессорным модулем (ПМ) или контрольно-

измерительной системой (КИС). Они посылают запросы другим устройствам и получают ответы на них.

Стандарт SpW поддерживает возможность применения избыточных линий связи для резервирования путей доставки данных. Резервировать пути доставки данных можно двумя способами:

Способ 1. Каждый мост (устройство, преобразующее данные и интерфейсы передачи данных к виду для подключения к SpW) при доставке данных до маршрутизатора (ов) выбирает рабочий незанятый линк (канал SpW). Если их несколько, то используются приоритеты.

Способ 2. Если устройство не получает ответ на запрос, то оно посылает повторный запрос по другому пути.

Таким образом, технология SpW позволяет устройствам сети отслеживать состояния линков, доставляя тем самым данные по работоспособным каналам связи. Это же свойство позволяет легко организовать мониторинг состояния сети, что облегчает ее удаленное обслуживание.

Для малых КА отмеченные выше преимущества сетевой архитектуры не дают существенного эффекта, например, снижения количества кабельных соединений. Поэтому использование на малых КА сети SpW является экспериментальной отработкой технологий сетевого информационно-управляющего взаимодействия КБО для дальнейшего использования на КА средних и больших классов.

Сетевая архитектура КА, повторяющая в целом, но на новой технологической основе традиционный подход к резервированию, является вариантом топологии «двойной звезды» с дублированным составом оборудования (рис. 5). Она состоит из двух полукомплектов. Один полукомплект является активным, другой находится в резерве (холодном или горячем). При отказе одного устройства из активного полукомплекта нет необходимости полностью переключаться на резервный полукомплект. Достаточно из резервного полукомплекта активизировать устройство, отказавшее в первом полукомплекте.

Наличие резервных модулей, объединенных сетью SpW, позволяет легко реализовать важную функцию обеспечения надежности функционирования КБО – их поочередное переключение в холодный резерв для сброса накопленной дозы радиации [4].

С целью демонстрации возможностей сетевой архитектуры на базе технологии SpW был реализован демонстрационный пример (рис. 6).

Пример состоит из двух частей: модели наземной КИС и модели бортового комплекса управления (БКУ), модели бортовой КИС, модели исполнительных устройств.

Модель наземной КИС включает ноутбук, оборудованный каналом WiFi. Канал WiFi имитирует радиоканал телеметрии и телекоманд. Программное обеспечение, установленное на ноутбуке, позволяет отображать принимаемую через WiFi-канал телеметрию и задавать команды телеуправления для БКУ и исполнительных устройств.

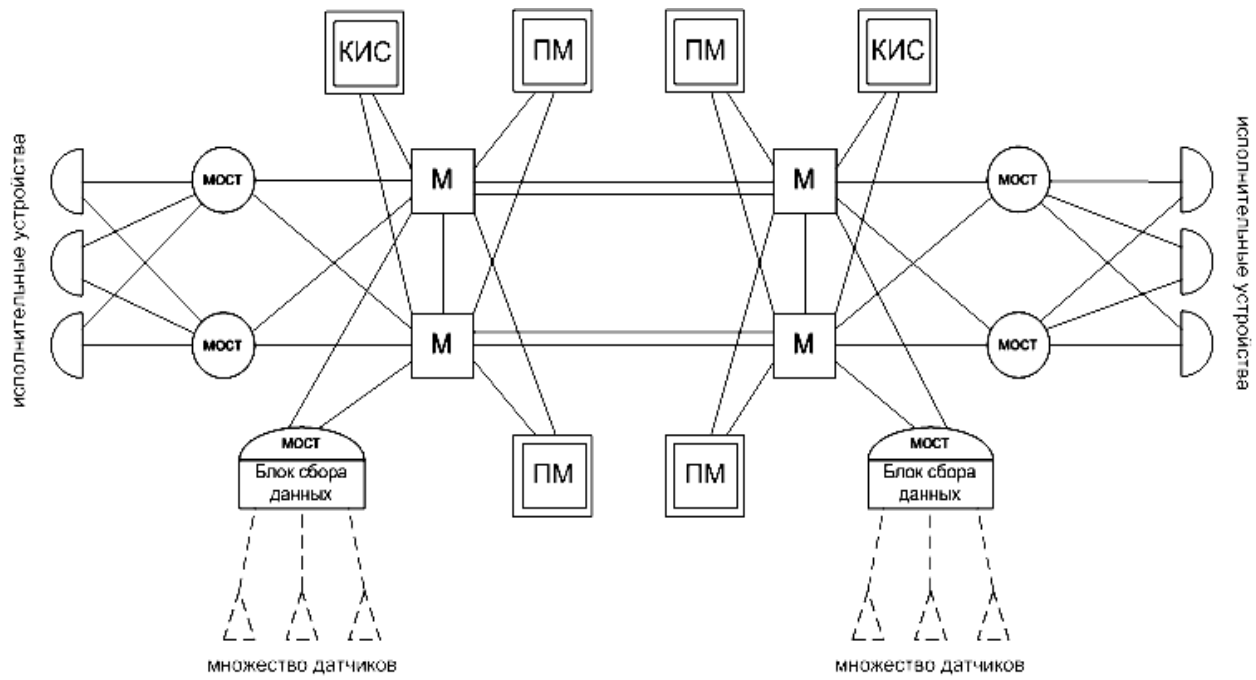


Рис. 5. Вариант сетевой архитектуры на базе SpW

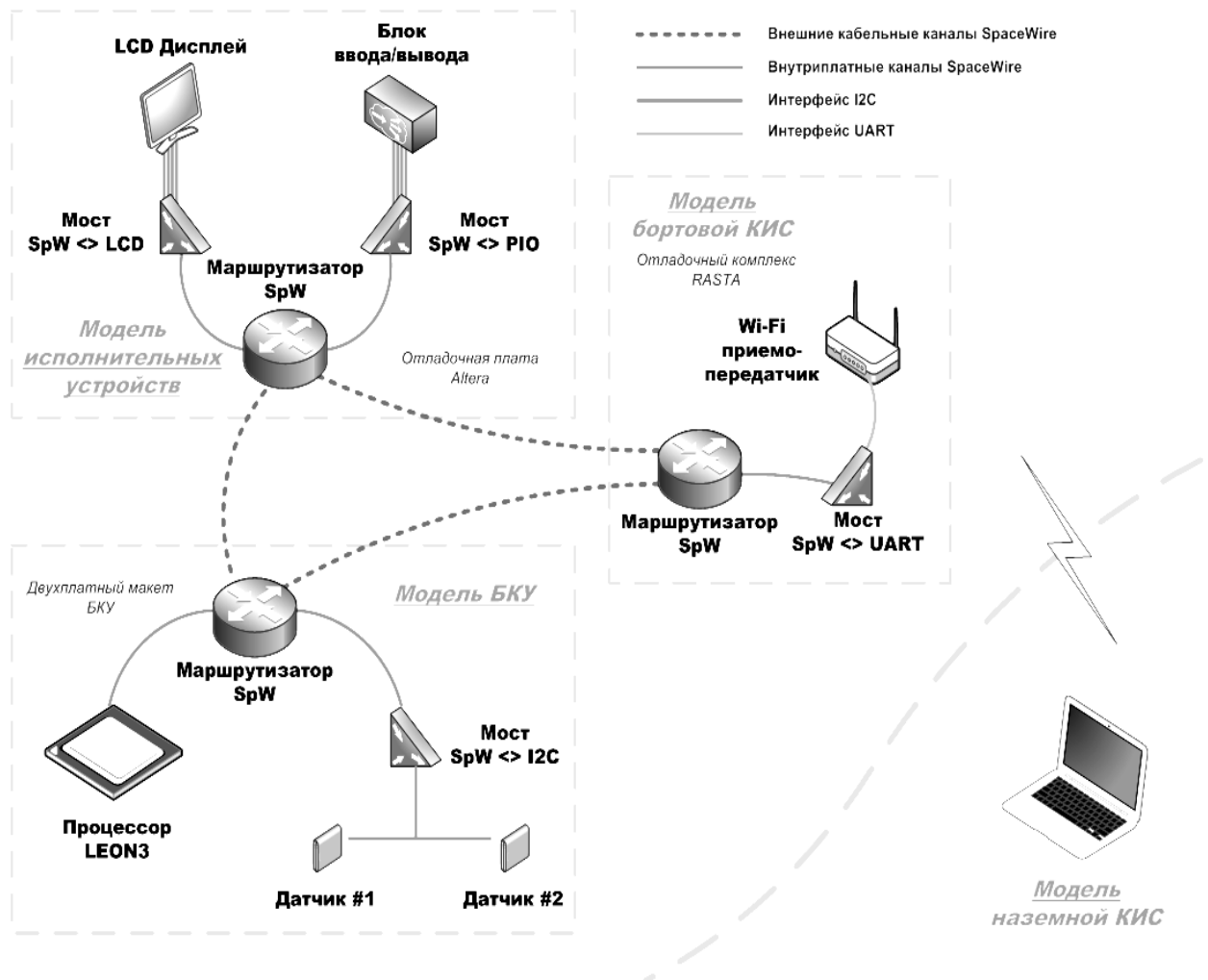


Рис. 6. Демонстрационный пример сетевой архитектуры на базе SpW

Макет бортового КИС состоит из приемопередатчика WiFi и реализованных на оборудовании RASTA маршрутизатора SpW на 4 порта и моста SpW $\leftrightarrow$ UART.

Модель исполнительных устройств выполнена на отладочной плате Altera Terasic v.1.2. Плата представляет собой устройство для разработки систем на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). В данном варианте на базе данной платы выполнены маршрутизатор SpW на 4 порта, мосты SpW $\leftrightarrow$ PIO и SpW $\leftrightarrow$ LCD. Параллельный интерфейс PIO присоединен к блоку светодиодов. Включение/выключение светодиодов сигнализирует о фактах прохождения команд, посылаемых с ноутбука модели наземной КИС.

LCD служит для отображения телеметрии, принимаемой с модели БКУ. Параллельно телеметрия через модель бортовой КИС и WiFi пересылается на модель наземной КИС и отображается на экране ноутбука.

Двухплатный макет БКУ состоит из 4-х портового маршрутизатора и БК на базе процессора LEON3. Каждая плата имеет датчик напряжения, датчик тока, датчик температуры, которые как данные телеметрии через мост SpW $\leftrightarrow$ I2C и маршрутизатор пересылаются бортовым компьютером на модель наземной КИС для отображения на экране ноутбука.

Бортовой компьютер работает под управлением операционной системы RTEMS. Передача данных осуществляется с помощью протокола RMAP сети SpW [5].

Для работы демонстрационного примера произведены следующие работы:

- адаптирован под спецификацию демонстрационного примера IP-блок кода SpW Light;
- разработан 4-портовый маршрутизатор SpW, существующий как в виде IP-блока, так и законченного устройства;
- разработан аппаратный мост SpW $\leftrightarrow$ I2C;
- разработан аппаратный мост SpW $\leftrightarrow$ PIO;
- разработан аппаратный кодек RMAP Target;
- написан программный драйвер RMAP Initiator;
- написан драйвер кода SpW Light для операционной системы RTEMS.

Разработанный пример демонстрирует:

- сетевую архитектуру построения информационной платформы КА. Данный вариант соответствует топологии «тройная звезда» Кроме того, демонстрируется передача данных с помощью как внутриплат-

ных и межплатных каналов, так и внешних кабельных соединений SpW;

- резервирование маршрутов передачи данных. Данное свойство экспериментально проверяется «горячим» отключением любого одного линка SpW, при этом работоспособность системы сохранялась: команды с модели наземной КИС принимались бортовым сегментом, а телеметрическая информация отображалась на экране ноутбука;

- работу устройств в одной сети с разными скоростями. В рассмотренном примере два маршрутизатора обеспечивали на своих портах скорость, равную 30 Мбит/с, а один – скорость, составляющую 25 Мбит/с. В полном соответствии с [2] сеть оставалась в работоспособном состоянии;

- сбор телеметрической информации по сети SpW;
- передачу команд управления и получение квитанций об их выполнении в соответствии с протоколом RMAP;

- взаимодействие между моделями бортовой и наземной КИС по радиоканалу.

Таким образом, в результате проведенных работ определены наиболее вероятные архитектуры сопряжения КБО, рассмотрены варианты сети КА, создан демонстрационный пример сетевой архитектуры на базе SpW, экспериментами показаны важные достоинства как сетевой архитектуры, так и стандарта SpW.

Библиографические ссылки

1. MIL-STD-1553B : Interface Standard for Digital Time Division Command / Response Multiplex Data Bus. Department of Defense, 1975.
2. ECSSE-ST-50-12C SpaceWire – Links, nodes, routers and networks. European Cooperation for Space Standardization (ECSS), 2008.
3. Сетевая архитектура бортового комплекса управления / Д. А. Никитин, В. Х. Ханов, М. Ю. Вергазов, С. А. Чекмарев // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения (УКИ-12) : тр. рос. конф. М. : ИПУ РАН, 2012. С. 1539–1546.
4. Гобчанский О. П., Попов В. Д., Николаев Ю. М. Повышение радиационной стойкости промышленных средств автоматики в составе бортовой аппаратуры // Современные технологии автоматизации. 2001. № 4. С. 36–40.
5. ECSSE-ST-50-52C SpaceWire – Remote memory access protocol. European Cooperation for Space Standardization (ECSS), 2010.

A. V. Shahmatov, M. Yu. Vergazov, S. A. Chekmaryov, V. Kh. Khanov

NETWORK ARCHITECTURE OF SPACECRAFT ON-BOARD EQUIPMENT MATING

This paper describes network architecture of spacecraft on-board equipment mating, as well as shows current results of its prototyping. The aim of the development of this architecture is to obtain following advantages: improved reliability at acceptable cost, good scalability, fewer quantity of cable links, simplified service.

Keywords: network architecture, on-board equipment complex, spacecrafts

РАЗДЕЛ
3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ
И МАТЕРИАЛЫ

УДК 666.3

С. С. Добросмыслов, В. И. Кирко, Г. Е. Нагибин, З. И. Попов

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ДОБАВОК Sb и V НА ЭЛЕКТРОННУЮ СТРУКТУРУ ДИОКСИДА ОЛОВА*

Проведены теоретические и экспериментальные исследования влияния легирующих добавок V и Sb на электрофизические свойства керамического материала на основе диоксида олова. Теоретическое моделирование осуществлялось при помощи программного пакета VASP, в рамках формализма функционала плотности (DFT). Синтез керамики на основе диоксида олова проводили по классической технологии при температуре спекания 1300 °С с различной концентрацией легирующих добавок сурьмы (от 1 до 5 %). Материал, полученный с использованием ванадия, обладал низкой электропроводностью.

Ключевые слова: керамика, диоксид олова, электропроводность, вольтамперная характеристика, зонная структура, квантово-химическое моделирование.

Высокопроводящий химически стойкий материал на основе диоксида олова нашел широкое применение во многих отраслях промышленности [1]: первую очередь в электронике, электротехнике, электрохимии, катализе, биотехнологии, металлургии, атомной и химической промышленности и др. [2].

Чистый диоксид олова плохо спекается, что обусловлено доминированием процесса испарения-конденсации над диффузией [3], а также имеет низкую проводимость, связанную с высокой энергией активации (3,54 эВ).

Для улучшения спекаемости материалов на основе диоксида олова использовались стеклообразующие добавки, такие как MnO_2 [4], CoO [5], CuO [6] и др. В работе [7] было показано, что керамика, полученная с помощью комбинации оксидов марганца (IV) и меди (II), обладает наилучшими физико-механическими характеристиками. Хорошие электрофизические свойства (особенно при высокой температуре) обеспечивают добавки Sb_2O_3 [8] и V_2O_5 [9]. Атомы трехвалентного Sb в Sb_2O_3 и пятивалентного V в V_2O_5 в условиях высокотемпературного синтеза керамики замещают в кристаллической решетке атомы четырехвалентных Sn и создают достаточную концентрацию носителей электрического заряда [10].

Цель работы: численное моделирование электронной структуры керамик SnO_2 , допированных атомами Sb и V и экспериментальное исследование влияния атомов Sb и V на электрофизические и физико-механические свойства керамики на основе SnO_2 .

Моделирование электронной структуры проводилось в рамках формализма функционала плотности (DFT) [11; 12] с использованием программного пакета VASP (Vienna Ab Initio Simulation Package) [13; 14]. Данная программа для abinitio расчетов использует метод псевдопотенциала и разложение волновых функций по базису плоских волн. Для эффективного уменьшения количества базисных функций и увеличения скорости расчетов в программе для всех атомов используются псевдопотенциалы Вандербиля [15]. При проведении оптимизации геометрии координаты

всех атомов в суперячейке варьировались с помощью метода сопряженных градиентов с использованием вычисленных сил, действующих на атомы. Оптимизация геометрии проводилась до тех пор, пока силы, действующие на каждый атом, не становились менее 0,05 эВ/Å.

Исследовался диоксид олова – полупроводник с энергией запрещенной зоны 3,54 эВ [16], со структурой кристаллической решетки рутил (рис. 1).

Рассчитаны зонные структуры для суперячеек $\text{SbSn}_{47}\text{O}_{96}$ и $\text{VSn}_{47}\text{O}_{96}$ (рис. 2).

При легировании диоксида олова атомами V и Sb существенно уменьшается энергия запрещенной зоны, что и должно приводить к улучшению электрофизических характеристик керамик. Однако отметим, что при одинаковых концентрациях примеси ширина запрещенной зоны больше при допировании керамики SnO_2 атомами ванадия (практически на 12 %). Последнее, когда удельное электросопротивление керамики экспоненциально зависит от температуры, может повлиять на конечный выбор состава керамики для ее практического применения.

Также проведенные расчеты показали, что при легировании сурьмой более существенно искажаются уровни проводимости материала. Возможно, это обусловлено более сильной энергией взаимодействия сурьмы с диоксидом олова.

Экспериментальное исследование физико-механических и электрофизических свойств керамики на основе SnO_2 , допированных атомами сурьмы и ванадия. Образцы изготавливались по классической керамической технологии. Исходная шихта смеси порошка SnO_2 с порошком Sb_2O_3 или V_2O_5 приготавливалась в водном растворе солей Cu и Mn ($\text{CuNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Проводился предварительный обжиг образцов при температуре 1100 °С с дальнейшим измельчением. После формировалось готовое изделие при использовании в качестве связки 5%-го раствора поливинилового спирта. Обжиг изделия проходил при температуре 1300 и 1400 °С в течение 2 ч.

*Работа выполнена в рамках реализации федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. и при поддержке гранта РФФИ № 12-03-31323.

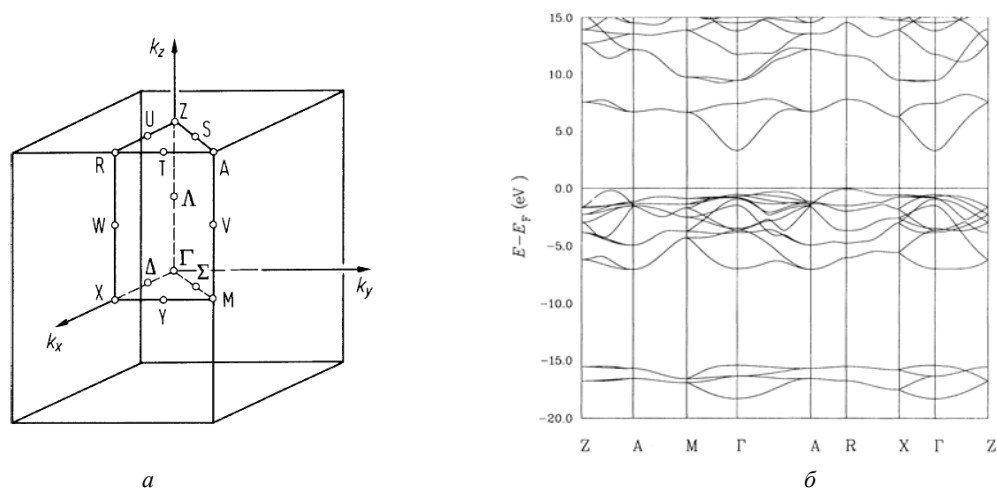


Рис. 1. Результаты расчетов:
а – зона Бриллюэна для структуры рутила [17]; б – зонная структура SnO_2 [18]

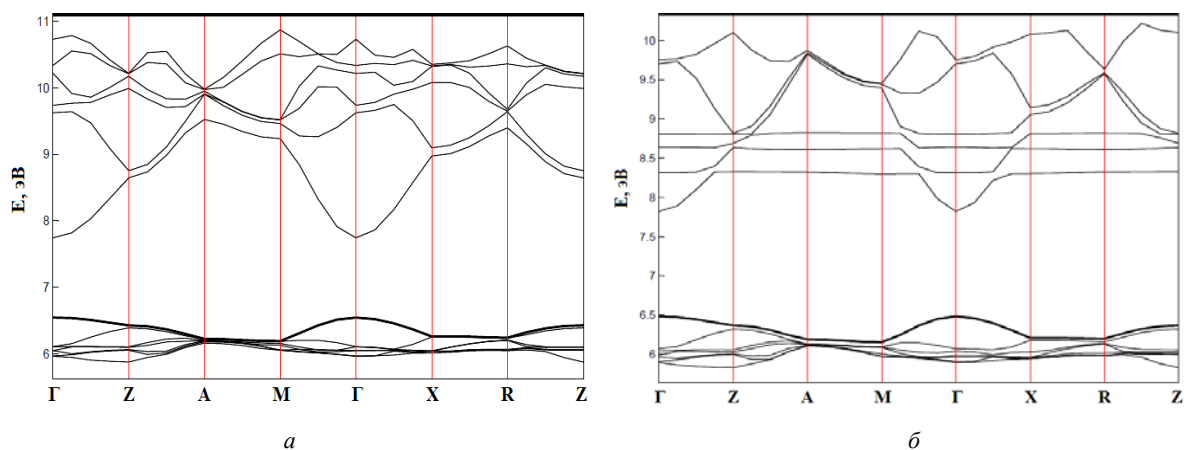


Рис. 2. Рассчитанные зонные структуры для суперячеек:
а – $\text{SbSn}_{47}\text{O}_{96}$ ($E_{\text{fermi}} = 7.14$ эВ) $E_{\text{gap}}(\text{SbSn}_{47}\text{O}_{96}) = 1,19$ эВ; б – $\text{VSn}_{47}\text{O}_{96}$ ($E_{\text{fermi}} = 7.15$ эВ) $E_{\text{gap}}(\text{VSn}_{47}\text{O}_{96}) = 1,33$ эВ

Для физико-механических испытаний образцы керамик изготавливались в виде цилиндров диаметром 15 мм и высотой 10 мм соответственно. Для электрофизических измерений образцы имели прямоугольную форму $5 \times 4 \times 50$ мм. Плотность образцов измерялась по методике гидростатического взвешивания в спирте, открытая пористость соответствовала ГОСТ 2409–95. Удельное электросопротивление (УЭС) в диапазоне температур 20–1000 °С измерялось четырехзондовым методом [18]. Механические свойства определялись с помощью прибора Instron 3369. Кристаллическая структура синтезированных керамик контролировалась рентгеноструктурным анализом на приборе XRD 6000. Фотографии поверхности изломов получали с помощью растрового электронного микроскопа JEOL (Japan) JSM-7001F.

Результаты исследований физико-механических свойств керамик на основе SnO_2 , легированных оксидами Sb, V и Cu, представлены в табл. 1

Данные табл. 1 показывают, что добавки в шихту синтезированного материала оксидов сурьмы, марганца и меди обеспечивают керамике достаточно низ-

кую пористость и высокую прочность. Наоборот, оксид ванадия отрицательно влияет на основные физико-механические характеристики диоксида олова, что связано с плохой растворимостью материала. Оксид сурьмы практически не влияет на физико-механические свойства.

Предположительно происходит полное растворение сурьмы в кристаллической решетке диоксида олова, и влияние на спекаемость отсутствует. Последнее подтверждается данными микрорентгеноспектрального анализа (рис. 3).

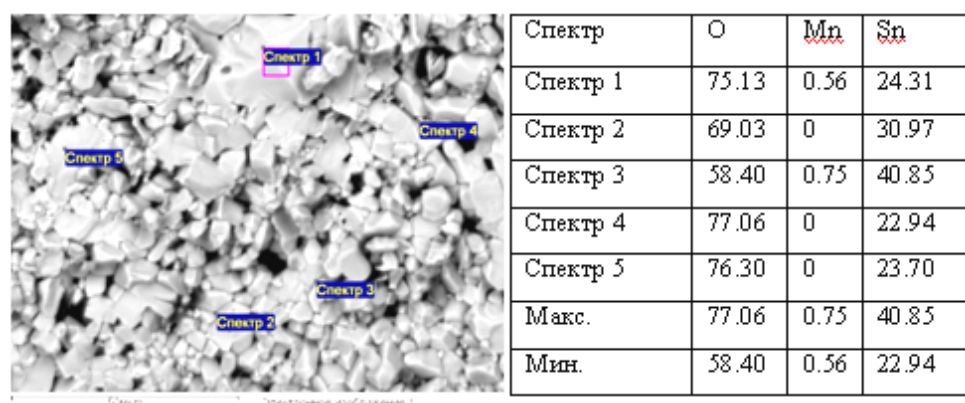
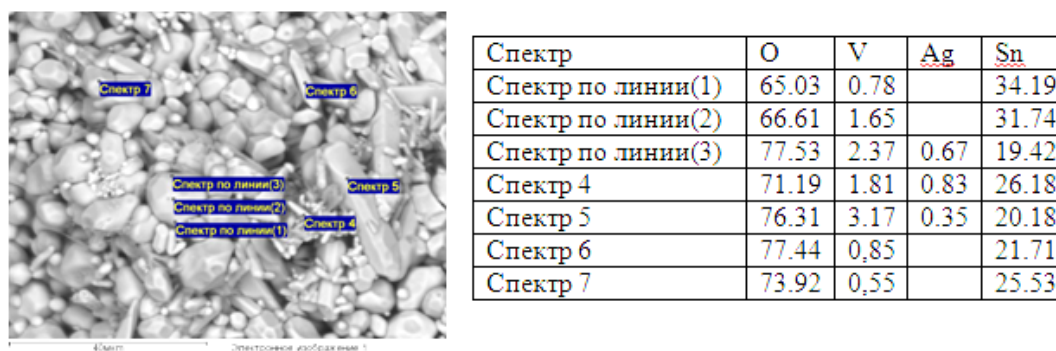
В отличие от сурьмы, ванадий плохо растворяется в кристаллической структуре диоксида олова. Данный результат подтверждает высокое удельное электрическое сопротивление (табл. 1) материала, полученного с добавками оксида ванадия, и результаты микрорентгеноспектрального анализа (рис. 4).

В случае использования комбинации добавок MnO_2 –CuO происходит образования CuMnO_x фазы (преимущественно CuMn_2O_4 , $\text{Cu}_{1,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$), которая выступает в качестве стеклофазы, образующейся на поверхности зерен и способствует спеканию [19].

Таблица 1

Физико-механические свойства керамик на основе диоксида олова

№	Состав шихты	Температура обжига, °С	Плотность, кг/м ³	Открытая пористость, %	Прочность, МПа	УЭС мОм · м, T = 1000 °С
1	SnO ₂ – 95 %, Sb ₂ O ₃ – 1 %, MnO ₂ – 2 %, CuO – 2 %	1300	6121	1,77	432	0,28
2	SnO ₂ – 94 %, Sb ₂ O ₃ – 2 %, MnO ₂ – 2 %, CuO – 2 %	1300	6315	2,15	413	0,27
3	SnO ₂ – 93 %, Sb ₂ O ₃ – 3 %, MnO ₂ – 2 %, CuO – 2 %	1300	6215	2,42	399	0,24
4	9SnO ₂ – 2 %, Sb ₂ O ₃ – 4 %, MnO ₂ – 2 %, CuO – 2 %	1300	6127	2,88	424	0,23
5	SnO ₂ – 91 %, Sb ₂ O ₃ – 5 %, MnO ₂ – 2 %, CuO – 2 %	1300	6206	4,84	401	0,2
6	SnO ₂ – 94 %, V ₂ O ₅ – 2 %, CuO – 2 %	1300	4621	28,4	51,9	–
7	SnO ₂ – 94 %, V ₂ O ₅ – 2 %, MnO ₂ – 2 %	1300	5389	16,4	192,7	–
8	SnO ₂ – 94 %, V ₂ O ₅ – 2 %, AgO – 2 %	1300	5008	23,03	58,1	3,9

Рис. 3. Излом керамики состава SnO₂ – 94 %, Sb₂O₃ – 2 %, CuO – 2 %, MnO₂ – 2 % и результаты микрорентгеноспектрального анализаРис. 4. Излом керамики состава SnO₂ – 96 %, V₂O₅ – 2 %, AgO – 2 % и результаты микрорентгеноспектрального анализа

Электрофизические свойства керамик на основе диоксида олова. Удельное электрическое сопротивление керамики, допированной сурьмой (при 1000 °С), слабо уменьшается с увеличением ее концентрации и лежит в пределах 0,2–0,28 мОм · м (см. табл. 1). Наоборот, удельное электросопротивление керамики, полученной с использованием добавки V₂O₅, показало, что при температурах 1000 °С электрическое сопротивления остается высоким (табл. 1, пп. 6–7). Данный результат может быть объяснен либо высокой пористостью синтезированной керамики, либо

отсутствием замещения атомов олова в структуре диоксида олова атомами ванадия при заданных режимах синтеза.

Для полупроводниковых материалов характерна экспоненциальная зависимость электрического сопротивления от температуры [20] описываемая выражением:

$$\rho = \rho_0 \cdot \exp(E_a / 2kT),$$

где ρ_0 – начальное электрическое сопротивление, Ом · м; E_a – ширина запрещенной зоны, Дж; k – постоянная Больцмана; T – температура (рис. 5).

Все зависимости удельного электросопротивления от температуры имеют классический экспоненциальный характер, а зависимости в координатах $-\ln \rho/\rho_0 - 2q/kT$ – практически линейный характер. Последнее позволяет рассчитать энергию термической активации керамик (табл. 2).

Увеличения массовой концентрации оксида сурьмы приводит к снижению ширины запрещенной зоны с 1,33 до 0,75 эВ.

При повышении концентрации оксида сурьмы до 5 % происходит качественное изменение характера кри-

вой ВАХ. Возможно, это связано с неполным и хаотичным растворением атомов сурьмы в кристаллической решетке диоксида олова.

Теоретические исследования показали, что при одинаковых концентрациях примеси V или Sn ширина запрещенной зоны больше при допировании SnO_2 атомами ванадия на 0,14 эВ. Различие между рассчитанным значением энергии активации диоксида олова, легированного сурьмой, и экспериментальными исследованиями составляет 19 %, что в случае керамики является удовлетворительным.

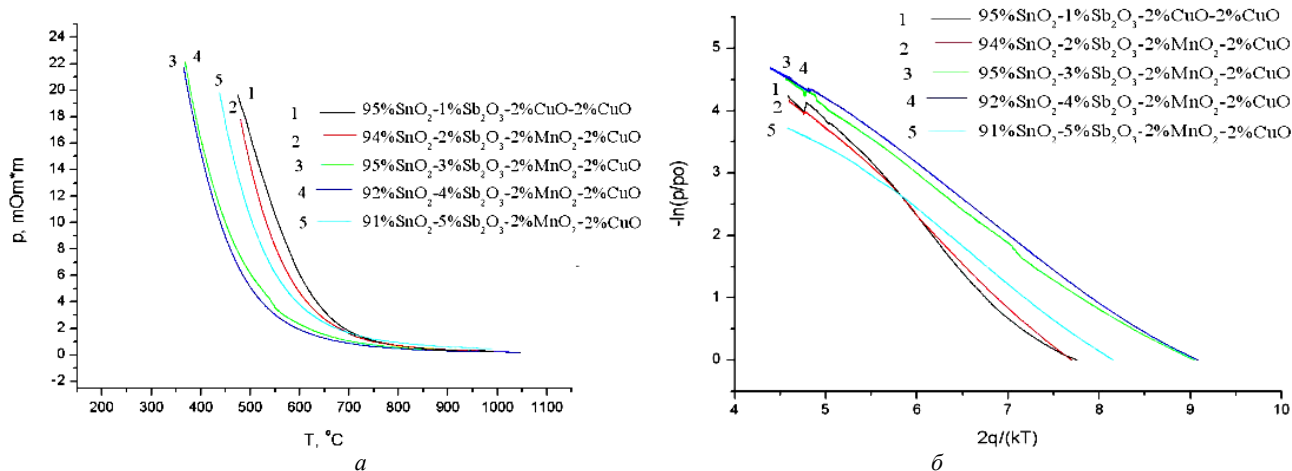


Рис. 5. Зависимости удельного электрического сопротивления керамик от температуры и при различной концентрации оксида сурьмы (а), а также те же зависимости только в логарифмических координатах (б)

Таблица 2

Энергия активации керамических материалов

Состав	$\text{SnO}_2 - 95 \%, \text{Sb}_2\text{O}_3 - 1 \%, \text{MnO}_2 - 2 \%, \text{CuO} - 2 \%$	$\text{SnO}_2 - 94 \%, \text{Sb}_2\text{O}_3 - 2 \%, \text{MnO}_2 - 2 \%, \text{CuO} - 2 \%$	$\text{SnO}_2 - 93 \%, \text{Sb}_2\text{O}_3 - 3 \%, \text{MnO}_2 - 2 \%, \text{CuO} - 2 \%$	$\text{SnO}_2 - 92 \%, \text{Sb}_2\text{O}_3 - 4 \%, \text{MnO}_2 - 2 \%, \text{CuO} - 2 \%$	$\text{SnO}_2 - 91 \%, \text{Sb}_2\text{O}_3 - 5 \%, \text{MnO}_2 - 2 \%, \text{CuO} - 2 \%$
$E_{\text{активации}}, \text{eV}$	1,33	1,33	1,0	1,0	0,75

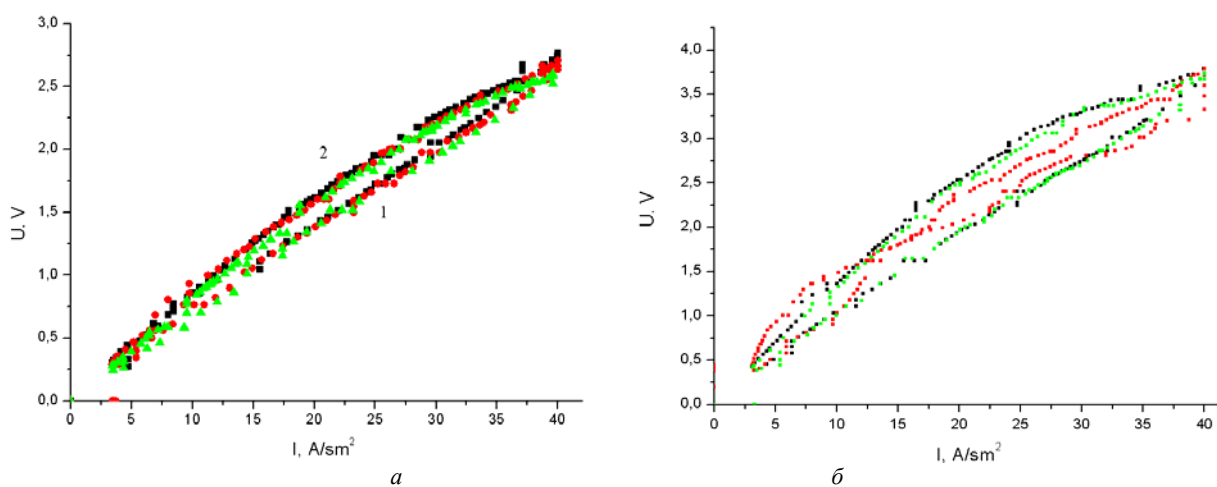


Рис. 6. Вольтамперные характеристики материала ($T = 1000^{\circ}\text{C}$):
 а – $\text{SnO}_2 - 94 \%, \text{Sb}_2\text{O}_3 - 2 \%, \text{CuO} - 2 \%, \text{MnO}_2 - 2 \%$; б – $\text{SnO}_2 - 91 \%, \text{Sb}_2\text{O}_3 - 5 \%, \text{CuO} - 2 \%, \text{MnO}_2 - 2 \%$;
 1 – повышение силы тока; 2 – понижение силы тока

Материал, полученный с добавками V по классической керамической технологии, обладает низкой электропроводностью, возможно это связано с плохой растворимостью ванадия в диоксиде олова и требует изменения методики синтеза.

При экспериментальных исследованиях выяснили, что увеличение концентрации оксида сурьмы приводит к снижению ширины запрещенной зоны с 1,33 до 0,75 eV.

Библиографические ссылки

1. Contribution to the Study of SnO₂-Based Ceramics. Part II. Effect of Various Oxide Additives on the Sintering Capacity and Electrical Conductivity of SnO₂ / St. Zuca, M. Terzi, M. Zaharescu, K. Matiasovski // J. of Materials Sci. 1991. Vol. 26. P. 1673–1676.
2. Influence of the Additives and Processing Conditions on the Characteristics of Dense SnO₂-Based Ceramics / D. Ninistro, G. Fabbri, G. C. Celotti, A. Btllosi // J. of Materials Sci. 2003. Vol. 38. P. 2727–2742.
3. Effect of Cobalt (II) Oxide and Manganese e(IV) Oxide on Sintering of Tin(IV) Oxide / J. A. Cerri, E. R. Leite, D. Gouvea, E. Longo // J. of the American Ceramic Society. 1996. Vol. 79 (3). P. 799.
4. SnO₂-Modified MnO₂ Electrode Materials for Electrochemical Capacitor // Y. Chen, P. He, P. Huang et al. // ECS Transactions. 2010. Vol. 28 (8). P. 107–115.
5. Microstructural Evolution During Sintering of CoO Doped SnO₂ Ceramics / J. A. Varela, J. A. Cerri, E. R. Leite et al. // Ceramics Intern. 1999. Vol. 25. P. 253–256.
6. Исследование физико-механических и электрофизических свойств электропроводящих огнеупорных керамик на основе SnO₂–Sb₂O₃–CuO / С. С. Добросмыслов, В. И. Кирко, Г. Е. Нагибин и др. // Огнеупоры и техническая керамика. 2010. № 6. С. 7–10.
7. Особенности физико-механических и высокотемпературных электрофизических свойств керамических полупроводниковых материалов на основе SnO₂ с добавками MnO₂ и CuO / С. С. Добросмыслов, В. И. Кирко, Г. Е. Нагибин и др. // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 1 (41). С. 118–122.
8. Influence of the Concentration of Sb₂O₃ on the Electrical Properties of SnO₂ Varistors / J. R. Ciorcero, S. A. Pianaro, G. Bacci et al. // J. of Materials Sci.: Materials Electron. 2011. Vol. 22. P. 679–683.
9. Mahipal R. B., Mastikhi V. M. Study of Tin Dioxide and Antimony Tetroxide Supported Vanadium Oxide Catalysts by Solid-State ⁵¹V and ¹H NMR Technique // Solid State Nuclear Magnetic Resonance. 1992. Vol. 1. P. 245–249.
10. Галлахов Ф. Я., Шервинская А. К., Петрова М. А. Диаграммы состояния систем тугоплавких оксидов / Ин-т химии силикатов. Л. : Наука, 1987. Т. 3.
11. Kresse G., Joubert D. From Ultrasoft Pseudopotentials to the Projector Augmented-Wave Method // Phys. Rev. B. 1999. Vol. 59. P. 1758.
12. Car-Parrinello Molecular Dynamics with Vanderbilt Ultrasoft Pseudopotentials / K. Laasonen, A. Pasquarello, R. Car et al. // Phys. Rev. B. 1993. Vol. 47. P. 10142.
13. Kresse G., Furthmüller J. Efficient Iterative Schemes for Ab Initio Total-Energy Calculations Using a Plane-Wave Basis Set // Phys. Rev. B. 1996. Vol. 54. P. 11169.
14. Kresse G., Furthmüller J. Efficiency of Ab Initio Total Energy Calculations for Metals and Semiconductors Using a Plane-Wave Basis set // Comput. Materials Sci. 1996. № 6. P. 15.
15. Ultrasoft PSEUDOPOTENTIALS applied to Magnetic Fe, Co, and Ni: From Atoms to Solids / E. G. Moroni, G. Kresse, J. Hafner, J. Furthmüller // Phys. Rev. 1997. Vol. 56. P. 15629.
16. Химическая энциклопедия : в 5 т / И. Л. Кнунянц, Н. С. Зефирова, Н. Н. Кулов и др. М. : Сов. энцикл., 1992. Т. 3.
17. Mishra K. C., Johnson K. H., Schmidt P. C. Electronic Structure of Antimony-Doped tin Oxide // Phys. Rev. B. 1995. Vol. 51. P. 13972.
18. Dharmasema, K. P., Wadley H. H. G. Electrical Conductivity of Open-Cell Metal Foams // J. of Materials Research. 2002. Vol. 17. № 3. P. 625.
19. Structural Transformation of an Alumina-Supported MnO₂–CuO Oxidation Catalyst by Hydrothermal Impact of Sub- and Supercritical Water / A. Martin, U. Armbruster, M. Schneider et al. // J. of Materials Chem. 2002. Vol. 12. P. 639–645.
20. Тырышкин И. С. Основы полупроводниковой электроники : учеб. пособие / Новосиб. гос. техн. ун-т. Новосибирск, 2009.

S. S. Dobrosmislov, V. I. Kirko, G. E. Nagibin, Z. I. Popov

EFFECT OF ALLOYING ELEMENTS SB AND V ON THE ELECTRONIC STRUCTURE OF TIN DIOXIDE

The authors present theoretical and experimental studies of effect of alloying elements V and Sb on electrical properties of ceramic material based on tin dioxide. Theoretical modeling was carried out with the use of software package VASP, within the frame of formalism of density functional (DFT). Synthesis of ceramic based on tin dioxide was performed by traditional technology, under sintering temperature of 1300 °C, with different concentrations of dope additives of antimony (from 1% to 5 %). Material obtained with the use of vanadium, had low conductivity. Studies of

the structure showed the complete dissolution of antimony tin dioxide. The calculations showed that the ceramic activation energy of stoichiometric ratio ($\text{SbSn}_{47}\text{O}_{96}$) = 1.19 eV of ceramics ($\text{VSn}_{47}\text{O}_{96}$) = 1.33 eV. Experimental studies have shown that increase of concentration of antimony oxide leads to decrease of the band gap from 1.33 eV to 0.75 eV. The difference between the calculated value of the activation energy of antimony-doped tin dioxide and experimental studies is 19 %.

Keywords: ceramics, tin dioxide, conductivity, current-voltage characteristic, band structure, quantum chemical modeling.

© Добросмыслов С. С., Кирко В. И., Нагибин Г. Е., Попов З. И., 2012

УДК 621.924

В. А. Левко

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ ПО ДЛИНЕ КАНАЛА ПРИ АБРАЗИВНО-ЭКСТРУЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ*

Приведены результаты исследований распределения давления рабочей среды по длине канала. Выявлено, что при установившемся течении величина давления рабочей среды зависит от величины давления сдвига на входе в канал и градиента скорости потока среды.

Ключевые слова: абразивно-экструзионная обработка, распределение давления рабочей среды, продольный профиль канала, поверхностный слой, градиент скорости, вязкоупругие свойства.

Для теоретического описания процесса течения рабочей среды при абразивно-экструзионной обработке (АЭО) применяются два подхода. Согласно модели бингамовского пластика [1], сдвиговое течение рабочей среды при АЭО осуществляется за счет перепада давлений среды на входе и выходе обрабатываемого канала. Исходя из этой модели, в каналах большой длины перепад давлений приводит к появлению неравномерности обработки по длине. Это явление существенно ограничивает технологические возможности данного способа финишной обработки.

При АЭО сдвиговое течение имеет доминирующее направление, оказывающее существенное влияние на характер перемещения абразивных зерен. При визуальных исследованиях потока рабочей среды [2] в каналах разных конфигураций установлено, что АЗ перемещаются по траекториям, совпадающими с линиями тока. Это наблюдение позволило сделать предположение о том, что при установившемся режиме течения наблюдается появление совокупностей абразивных зерен, перемещающихся по одной траектории, образованных линиями тока рабочей среды.

Следовательно, наблюдаемую совокупность можно представить в виде цепочки, состоящей из последовательно соединенных одинаковых элементов – сегментов, каждый из которых деформируется независимо от остальных, а условие неразрывности цепочки обеспечивается соединением сегментов вязкоупругой среды в шариках, моделирующих абразивные частицы, окруженные сольватной оболочкой.

Исходя из этого предположения, была разработана модель течения среды, построенная на преобразован-

ной модели Каргина-Слонимского-Пауза (КСР) [3]. На основании теоретических разработок было выявлено, что при установившемся режиме сдвигового течения скорости движения всех шариков (du_i/dt) одинаковы, времена запаздывания системы λ_{μ} достигают своих максимальных значений, упругие деформации приближаются к асимптотическому значению $u_e(\infty)$. Тогда и условия равновесия для всех сегментов цепочки подобны, т. е. не зависят от длины цепочки (обрабатываемого канала). Величина сжатия ε сегментов цепочки на оси канала в данном случае перестает быть зависимой от длины канала – режима вязкоупругого течения. На центральной оси канала поток движется подобно сжатому упругому стрелю.

Для подтверждения данной модели были проведены экспериментальные исследования влияния длины обрабатываемого канала на условия АЭО.

Объектом исследования являлся установившийся поток рабочей среды. Для исследований создано опытное приспособление (рис. 1) и схема измерения параметров процесса (рис. 2).

Корпус 1 и крышка 2 имеют пазы для взаимного расположения. Два переходника 3 обеспечивают соединение корпуса и крышки между собой, а также установку собранного приспособления в рабочие цилиндры опытно-промышленной установки УЭШ-100 М. В паз крышки 2 устанавливается прямоугольный образец 4. В собранном приспособлении имитируется прямоугольный канал 5, имеющий сечение 10×10 мм и длину 108 мм. Материал образца и имитатора – сталь 38ХГС.

*Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы «Развитие научных основ абразивно-экструзионной обработки» (тема № 1.28.11).

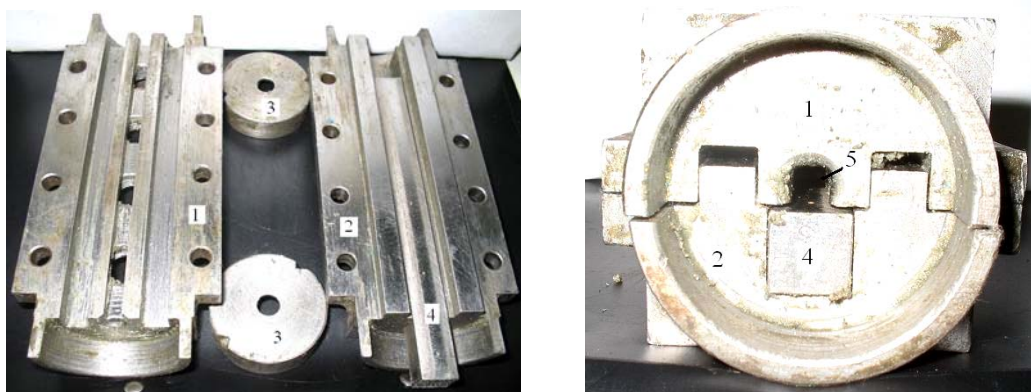


Рис. 1. Приспособление для исследования

Результаты исследования

$P_{вх}$, МПа	Сечение 1			Сечение 2			Сечение 3			Сечение 4		
	P , МПа	Ra , мкм	Δh , мкм	P , МПа	Ra , мкм	Δh , мкм	P , МПа	Ra , мкм	Δh , мкм	P , МПа	Ra , мкм	Δh , мкм
6,0	0,9	0,35	75	0,9	0,37	70	0,89	0,36	70	0,88	0,36	75
9,0	1,4	0,30	100	1,39	0,31	95	1,38	0,32	95	1,38	0,32	100
12,0	1,8	0,25	150	1,79	0,26	145	1,78	0,26	145	1,76	0,25	150

В сечениях 1...4 измерялись шероховатость Ra поверхности и величина изменения глубины реперной точки Δh после 20 циклов АЭО при различных величинах входного давления $P_{вх}$. На осциллограммах фиксировался характер и величина изменения давления среды P . Конструкция приспособления позволила обеспечить перестройку профиля потока в переходниках и исключить влияние перестройки на распределение давления по длине канала.

равномерность съема материала по всей длине канала (рис. 3).

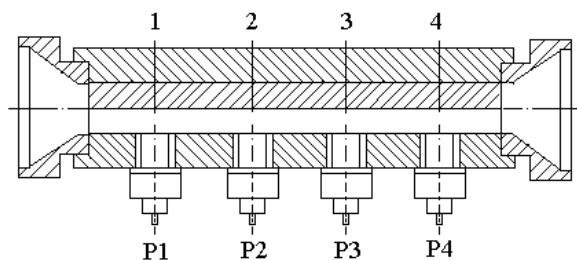


Рис. 2. Схема измерения параметров

Применялась рабочая среда следующего состава: наполнитель – нормальный электрокорунд 18А зернистостью 320 мкм, весовое содержание 50 %; плотность среды $\rho = 1410,32 \text{ кг/м}^3$, упругие свойства – модуль Юнга $E = 119600$, величина коэффициента Пуассона $\mu = 0,411$. Каждое условие эксперимента повторялось 6 раз. Средние значения результатов экспериментов приведены в таблице. Величина давления P определена по пиковому (максимальному) значению давления на осциллограмме.

Состояние поверхностного слоя образцов после обработки (центральная часть образцов), выявила



Рис. 3. Образцы после обработки

Результаты исследования показали, что изменение давления по длине канала при установившемся течении несущественно. Основное влияние на численное значение давления в канале оказывает величина входного давления и коэффициент потерь потока среды при перестройке его профиля на входе в обрабатываемый канал.

Изменение шероховатости и величины удаленного слоя материала при установившемся сдвигом течении среды (рис. 4) слабо зависят от длины обрабатываемого канала. Результаты этих исследований подтверждают, что для расчетов параметров АЭО нужно применять модели течения среды, построенной на преобразованной модели КСР.

Изменение давления по времени аналогично во всех четырех исследуемых сечениях и практически происходит одновременно по всей длине канала (рис. 5). Изменение величины давления среды связано с условиями течения среды в канале и режимами деформирования вязкоупругих цепочек.

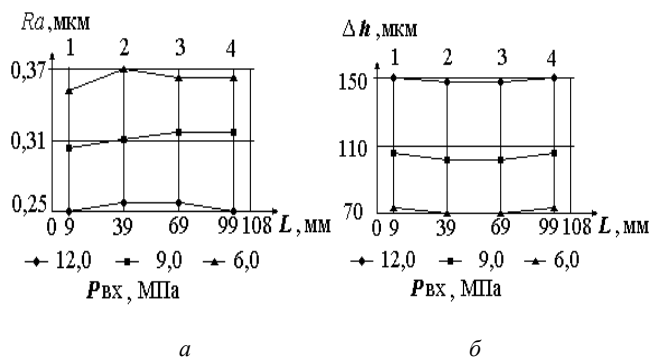


Рис. 4. Изменение параметров поверхностного слоя при АЭО канала большой длины:
а – шероховатость Ra ; б – изменение глубины реперной точки Δh

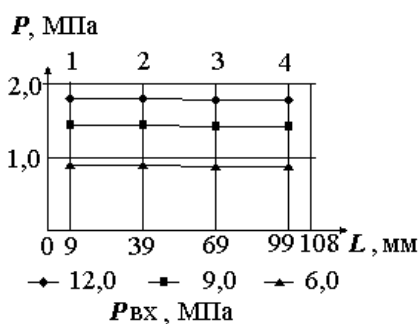


Рис. 5. Изменение давления по длине канала большой длины

По результатам исследований было проведено сравнение двух продольных профилей каналов образцов (рис. 6). Согласно теории бингамовского пластика для случая двунаправленной АЭО в каналах большой длины продольный профиль должен иметь ярко выраженную конусность. Наибольший съем металла должен наблюдаться на входе в канал в зоне 1. Наименьший съем – в центральной части канала, т. е. зоне 3 (рис. 6, а).

Профиль обработанной детали без применения направляющего устройства, которое формирует профиль потока на входе в канал, имеет две ярко выраженные зоны: входную зону 1 с максимальным значением удаленного металла и среднюю зону 2 (рис. 6, б).

Профиль обработанной детали, закрепленной в устройстве, которое формирует профиль потока на входе в канал (рис. 1), имеет одну ярко выраженную среднюю зону 2 (рис. 6, в).

Согласно классификации зон течения [4], для случая АЭО по схеме (см. рис. 2), входная зона формируется в рабочем цилиндре установки. Режим деформирования рабочей среды в этой зоне на условия обработки непосредственного влияния не оказывает. Входная зона 1 (рис. 6) формируется на входе в исследуемый канал и в его выходной зоне. В ней перестройка профиля потока максимальна. Далее по длине канала формируется зона установившегося течения. Условия обработки в ней можно отнести к условиям средней зоны, и расчет режимов АЭО вести по методике [3].

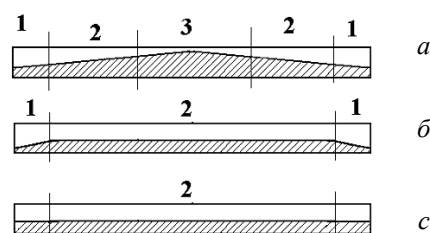


Рис. 6. Продольный профиль обработанной поверхности образца:

а – по теории бингамовского пластика; б – экспериментальный; в – экспериментальный с выравниванием профиля потока на входе

Основное влияние на параметры абразивно-экструзионной обработки оказывает градиент скорости сдвига рабочей среды, а не перепад давлений на входе и выходе в обрабатываемом канале.

Этот эффект объясняется высокими вязкоупругими свойствами абразивных рабочих сред. Установленные факты позволяют расширить технологические возможности способа АЭО по обработке каналов большой длины.

Библиографические ссылки

1. Сысоев С. К., Сысоев А. С. Экструзионное хонингование деталей летательных аппаратов: теория, исследования, практика : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2005.
2. Исследование влияния формы обрабатываемого канала на течение рабочей среды при абразивно-экструзионной обработке / В. А. Левко, М. А. Лубнин, П. А. Снетков и др. // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 4 (25). С. 138–145.
3. Левко В. А. Модель течения рабочей среды при абразивно-экструзионной обработке тонких осесимметричных каналов большой длины // Вестник Чебоксар. гос. пед. ун-та. 2008. № 2. С. 85–94.
4. Левко В. А. Абразивно-экструзионная обработка: современный уровень и теоретические основы процесса : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2007.

V. A. Levko

STUDY OF PRESSURE DISTRIBUTION OF MEDIUM LONGWISE A CHANNEL UNDER ABRASIVE FLOW MACHINING PROCESSING

The author presents the results of research of medium pressure distribution longwise a channel. With a steady flow the medium pressure depends on the pressure shift at the inlet to the channel and the velocity gradient of a flow.

Keywords Abrasive flow machining processing medium pressure distribution, longitudinal profile of a channel, surface layer, velocity gradient, visco-elastic properties.

© Левко В. А., 2012

УДК 53.07; 53.05

С. А. Лященко, С. Н. Варнаков, И. А. Тарасов, Д. В. Шевцов, С. Г. Овчинников

АВТОМАТИЗАЦИЯ МАГНИТОЭЛЛИПСОМЕТРИЧЕСКИХ IN SITU ИЗМЕРЕНИЙ НА СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОМ КОМПЛЕКСЕ ДЛЯ СИНТЕЗА И ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ СПИНТРОНИКИ*

Представлены результаты модернизации созданного коллективом авторов магнитоэллипсометрического комплекса. Проведена автоматизация процессов управления аппаратной частью и реализованы алгоритмы обработки сигналов магнитоэллипсометра. Возможности созданной системы были продемонстрированы на примере технологического цикла создания и in situ исследования структурных, оптических и магнитных свойств наноструктуры Fe/SiO₂/Si(100).

Ключевые слова: сверхвысоковакуумная технология многослойных наноструктур, спектральная эллипсометрия, эффект Керра.

Методы отражательной одноволновой и спектральной эллипсометрии позволяют с высокой точностью определять оптические свойства различных поверхностей [1]. Одноволновая эллипсометрия хорошо зарекомендовала себя как метод контроля технологии получения наноструктур методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), где требуется непрерывный неразрушающий мониторинг процессов формирования [2–6]. В работе [7] нами было показано, что одноволновая эллипсометрия при незначительной модификации схемы измерения позволяет проводить также магнитооптические исследования. Для реализации всех потенциальных возможностей эллипсометрии, которые наиболее полно реализуются при спектральных измерениях, коллективом авторов был создан измерительно-ростовой комплекс для синтеза материалов спинтроники и in situ измерений их оптических и магнитных свойств [8].

Однако использование в разработанном магнитоэллипсометрическом комплексе переменных магнитных полей привело к ряду технологических ограничений на эксперимент.

Так, в связи с высокой индуктивностью электромагнита при частотах даже в единицы герц невозможно было получить достаточную для насыщения железной ферромагнитной пленки величину напряженности магнитного поля. Использование при этом высокого напряжения значительно уменьшало время полезной работы магнитоэллипсометра из-за нагрева обмотки электромагнита. Отсутствие автоматического управления блоком питания не позволяло программировать задание частоты, формы и амплитуды переменного напряжения, что существенно затруднило калибровку и непосредственное измерение величины напряженности магнитного поля. Кроме того, применение переменного магнитного поля затрудняло проведение спектральных магнитооптических измерений.

Также в процессе запуска спектрального магнитоэллипсометра для in situ анализа поверхности образца при разогретом молекулярном источнике была выявлена существенно меньшая интенсивность зондирующего пучка, по сравнению с одноволновыми эллипсометрами.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта поддержки ведущей научной школы (проект НШ-1044.2012.2), программы ОФН РАН № 2.4, программы Президиума РАН № 24.34, интеграционного проекта СО РАН – ДВО РАН № 85, «У.М.Н.И.К.» (Красноярск, Россия) и при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.132.21.1709 «Развитие методологии применения отражательной спектральной эллипсометрии для исследования наноразмерных структур» и соглашение 14.В37.21.1276 «Исследование процессов формирования магнитного порядка в дискретных магнитных сплавах системы Si-Mn».

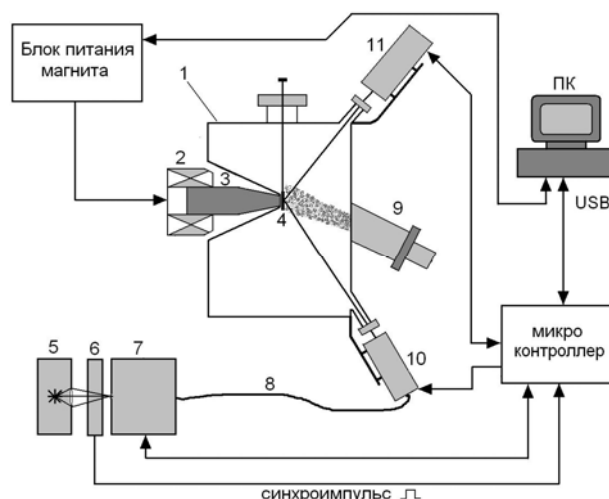


Рис. 1. Блок-схема магнитоэллипсометрического комплекса:
 1 – вакуумная камера; 2 – электромагнит; 3 – магнитопровод; 4 – исследуемый образец; 5 – источник света;
 6 – obtюратор; 7 – монохроматор; 8 – световод; 9 – молекулярный источник;
 10 – блок поляризатора; 11 – блок анализатора

Влияние фонового излучения от разогретого молекулярного источника было столь велико, что связанное с этим изменение эллипсометрических параметров достигало десятков градусов, и их измерение становилось невозможным.

Описанные выше проблемы использования измерительно-ростового комплекса определили цель данной работы – модернизация спектрального магнитоэллипсометра для использования постоянных магнитных полей и автоматизация управления его аппаратной схемой для проведения качественных одноволновых и спектральных магнитоэллипсометрических измерений под управлением ЭВМ.

Модернизация спектрального магнитоэллипсометра заключалась в использовании постоянного электромагнита с железным магнитопроводом и заменой блока питания с возможностью управления от внешней ЭВМ, что позволило не только на порядок увеличить напряженность магнитного поля, но и задавать под контролем ее значение.

Для борьбы с изменяющейся фоновой засветкой нами был реализован традиционный вариант – применение механического obtюратора на основе быстровращающегося диска с двумя симметричными лопастями [9], что позволило значительно увеличить отношение «сигнал/шум» и не внесло изменений в оптическую схему прибора.

Схема модернизированной экспериментальной установки (рис. 1) отличается от блок-схемы, представленной в работе [8]: изменено предназначение синхроимпульса с вывода о состоянии блока питания магнита на вывод о положении obtюратора, а также подключен к компьютеру блок питания магнита, что позволяет автоматизировать магнитооптические измерения при программном управлении магнитным полем. Механический obtюратор 6 был помещен на пути светового пучка между коллимационной линзой источника света 5 и входом в монохроматор магнитоэллипсометра 7. При работе obtюратора синхроим-

пульс от датчика положения лопаток поступает на оптопару в составе контроллера магнитоэллипсометра, а контроллер, в свою очередь, формирует сообщение в компьютере.

В процессе поиска оптимальных режимов работы obtюратора было учтено, что в технологии формирования структур методом МЛЭ скорость осаждения вещества составляет порядка $0,02 \text{ нм/с}$ [10], соответствующим изменениям величины сигнала на фотоприемниках эллипсометра в среднем $0,002 \text{ с}^{-1}$ или 10^{-4} абсолютной величины [11] за один период перекрытия света obtюратором. Так как средняя амплитуда шума фотоприемников лежит в пределах 10^{-3} абсолютной величины сигналов, то технологическими изменениями интенсивности по причине формирования структур за один период перекрытия можно пренебречь, и использовать при измерениях скорость вращения obtюратора не менее 9 об/с для получения максимального количества точек при усреднении сигнала.

Автоматизация оптических и магнитооптических *in situ* измерений заключалась в создании программы ЭВМ для управления оптической и магнитной системами в составе спектрального магнитоэллипсометра по заданным алгоритмам, а также проведении оптического моделирования исследуемого образца для анализа его структуры путем оптимизации эллипсометрических данных. Взаимодействие программного пакета с оборудованием было реализовано через контроллеры фирмы FTDI. Подключение осуществляется к двум контроллерам: блоку эллипсометра (монохроматор, плечи поляризатора и анализатора, четыре фотоприемника и оптическое реле прерывателя светового потока) и блоку питания электромагнита (стабилизация тока и напряжения). Взаимодействие между разделами программы осуществляется с помощью глобальных массивов данных и процедур. Алгоритм обработки сигналов от магнитоэллипсометра с использованием данных о состоянии механического obtюратора был реализован для расчета значений эл-

липсометрических параметров Ψ и Δ [12] на основе разности между суммарным и темновым сигналами. Алгоритм основан на обработке компьютером двух сообщений от контроллера магнитоэллипсометра: 1) сообщение, содержащее в себе данные о напряжениях на четырех фотоприемниках [13], поступающее в операционную систему компьютера каждые 970 мкс; 2) сообщение о поступлении синхроимпульса, сигнализирующее об окончании очередного цикла пропускания и перекрытия зондирующего излучения на обтураторе.

Для предотвращения случайных выбросов сигнала в процессе непрерывных эллипсометрических измерений, а соответственно, и возникновения возможных ошибок в расчетах эллипсометрических углов в алгоритме встроена фильтрация сигнала по всем фотоприемникам, которая производит замену текущих значений сигналов на значения из предыдущего периода, если текущий сигнал отличается от них более чем на 10 % (данная величина подбирается опытным путем для каждой электронно-оптической схемы и ее минимальное значение ограничено амплитудой шумов фотоприемников).

Интерфейс программы управления спектральным магнитоэллипсометром включает в себя четыре основных раздела. Раздел «Данные оптики» предназначен для настройки оптических плеч эллипсометра и монохроматора с отображением в текстовой панели всех операций и результатов их выполнения.

Раздел «Прерыватель» ориентирован на измерения эллипсометрических параметров без магнитной системы. Он решает такие задачи, как:

– проведение эллипсометрических *in situ* спектральных измерений в диапазоне длин волн от 350 до

900 нм с шагом 2 нм, с последующей возможностью оптического моделирования поверхностных структур;

– построение дисперсии диэлектрической проницаемости для отдельных компонент структуры и для всего образца в целом в рамках модели полубесконечной среды [1].

Важной функцией раздела «Прерыватель» является проведение эллипсометрических *in situ* одноволновых измерений от времени для контроля технологических процессов в рабочей камере. В частности, данная методика позволяет параллельно с измерениями производить расчет текущей толщины эффективной пленки растущего материала на подложке образца. В качестве примера на рис. 2 представлено программное окно раздела «Прерыватель», с отображением процесса расчета толщины по измеренным эллипсометрическим данным в процессе напыления.

Раздел «Магнитная система» ориентирован на работу с магнитным полем магнитоэллипсометра. В нем производится *in situ* измерения магнитооптического эффекта Керра на фиксированной длине волны (в диапазоне от 350 до 900 нм) для тонких пленок магнитных материалов. Данные отображаются в программе как зависимость эллипсометрических параметров Ψ и Δ от величины приложенного магнитного поля [14]. Режим измерений позволяет определить коэрцитивную силу поверхностных ферромагнитных структур в диапазоне полей $\pm 4,2$ кЭ. Также производятся *in situ* спектральные измерения экваториального эффекта Керра (ЭЭК). Данные, полученные в результате измерений изменения эллипсометрических углов при перемагничивании образца в полях насыщения на каждой длине волны выбранного спектрального диапазона.

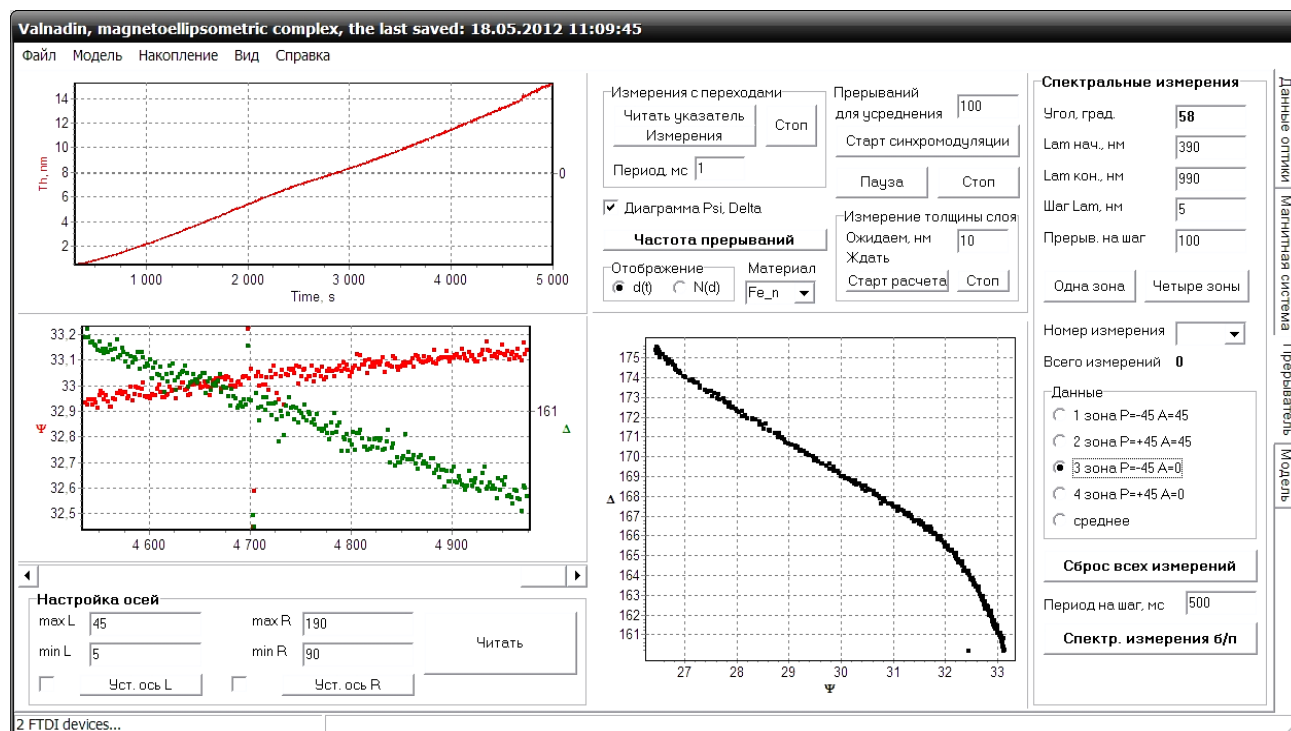


Рис. 2. Вид программного окна раздела «Прерыватель»

Раздел «Модель» является дополнительным модульным элементом программы для решения обратной задачи эллипсометрии, посредством построения и оптимизации дисперсии поляризационных углов.

Оценка основных технических характеристик разработанного аппаратно-программного комплекса была проведена при тестовом напылении тонкой пленки железа на поверхность монокристаллического кремния с буферным слоем диоксида кремния SiO_2 . Подробное описание процесса химической подготовки подложки кремния приведено в работе [15]. Базовый вакуум в технологической камере составлял 10^{-7} Па. Эллипсометрические и магнитоэллипсометрические исследования проводились с частотой вращения лопаток обтюлятора 14 об/с, что обеспечивало оптимальные условия измерений. Усреднение эллипсометрических данных производилось по 20-ти периодам прерывания. Одноволновые измерения выполнялись на длине волны 500 нм, для которой наблюдается максимальная интенсивность излучения в спектре используемого источника света – галогенной лампы.

Тестирование аппаратно-программного комплекса для оптических и магнитооптических измерений проводилось в три этапа. На первом этапе перед напылением пленки железа было проведено спектральное ($\lambda = 360 \dots 900$ нм) *in situ* исследование подложки для определения толщины диоксида кремния. Эллипсометрические измерения проводились в 4-зонном режиме [11]. В результате теоретических расчетов в рамках оптической модели «подложка кремния – пленка SiO_2 » было получено, что толщина двуокиси кремния составила 0,4 нм.

На втором этапе была получена пленка железа с контролем параметров ее роста. Железо испарялось из молекулярного источника с тиглем из нитрида бора. Процесс осаждения металла контролировался разработанным аппаратно-программным комплексом в одноволновом режиме, при длине волны зондирующего пучка 500 нм (рис. 3, а) и одновременно осуществлял-

ся расчет эффективной толщины растущей пленки железа (рис. 3, б) на основе численного метода Ньютона [16]. Результирующая толщина пленки железа, рассчитанная по данным одноволновой эллипсометрии, составила $12,5 \pm 0,1$ нм. Для проверки результатов расчетов толщины пленки железа полученная структура была исследована *ex situ* методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РСФА). Толщина пленки железа, полученная с помощью метода РСФА, составила $12,4 \pm 0,6$ нм. Таким образом, можно говорить о том, что, с учетом погрешностей измерений методами РСФА и эллипсометрии, значения толщин Fe совпадают.

На третьем этапе тестирования созданного программно-аппаратного комплекса были проведены исследования оптических и магнитных свойств полученной структуры. Результаты измерения спектральной зависимости эллипсометрических углов Ψ и Δ с обтюратором после напыления пленки железа сравнивались с результатами спектральных измерений до напыления (рис. 4).

Как и для подложки кремния с буферным слоем диоксида кремния, по полученным данным спектральной зависимости эллипсометрических углов Ψ и Δ была проведена оптимизация параметров оптической модели «подложка кремния – пленка SiO_2 – пленка Fe» и найдены структурные параметры образца после напыления: толщина двуокиси кремния составила 0,4 нм; эффективная толщина пленки железа – $12,4 \pm 0,1$ нм.

Таким образом, созданное программное обеспечение позволяет измерять толщину растущей пленки с помощью двух независимых эллипсометрических экспериментов, таких как одноволновое измерение эллипсометрических параметров ψ и Δ непосредственно во время роста и спектральные измерения после напыления с последующим решением обратной задачи эллипсометрии [12].

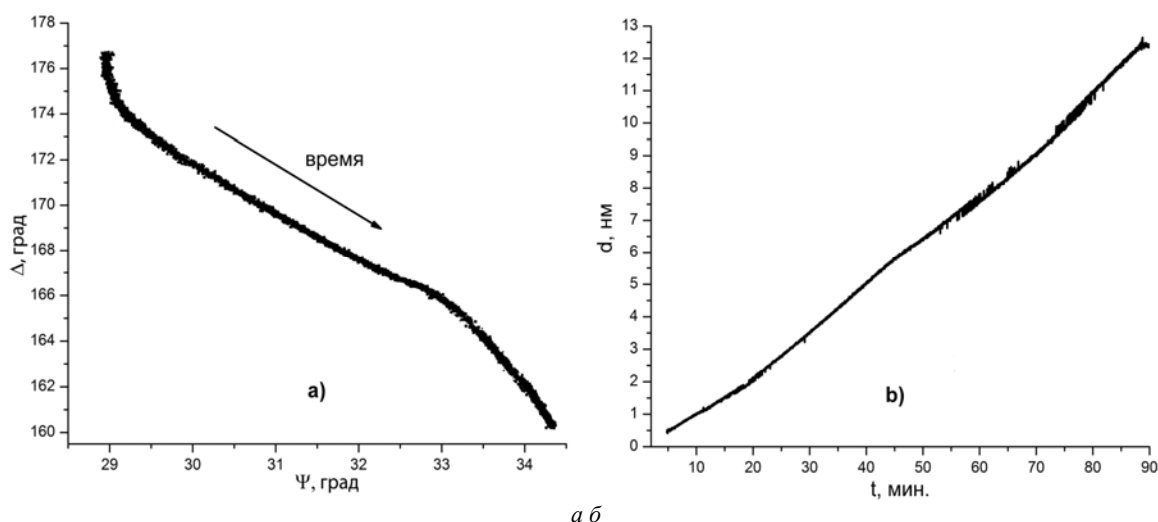


Рис. 3. Изменения значений эллипсометрических углов во время напыления пленки Fe (а) и рассчитанная зависимость толщины пленки Fe от времени напыления (б)

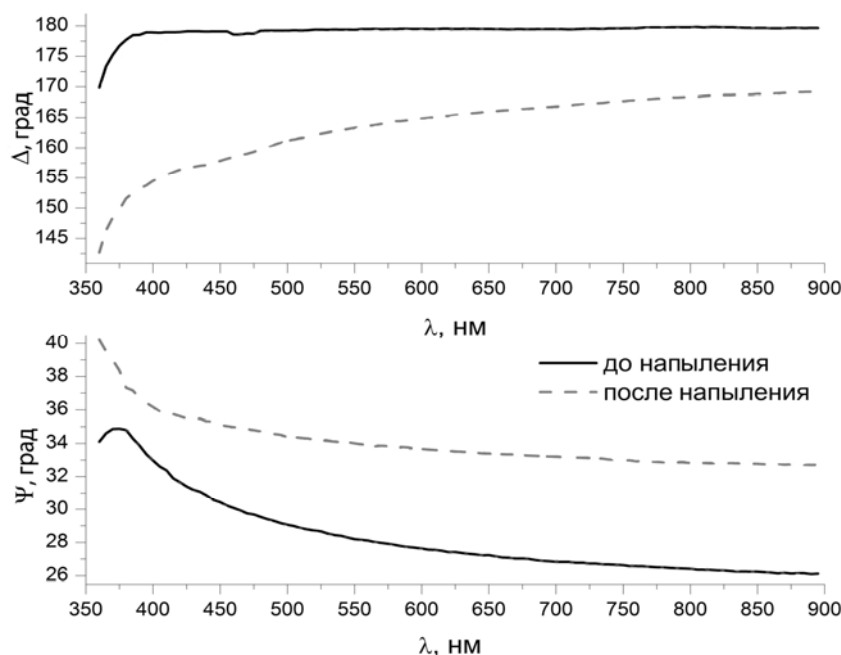


Рис. 4. Спектрограммы измеренных эллипсометрических углов до и после напыления пленки Fe

Результаты измерений магнитооптического эффекта Керра на длине волны $\lambda = 500$ нм представлены на рис. 5. Шаг изменения напряженности магнитного поля составлял 12 Э. Для уменьшения погрешности измерений было проведено три полных цикла изменения поля. Анализ полученных данных позволяет сделать некоторые выводы о магнитных свойствах полученной структуры, в частности, в нашей геометрии эксперимента величина коэрцитивной силы пленки Fe составила 120 ± 6 Э, а поле насыщения ~ 300 Э.

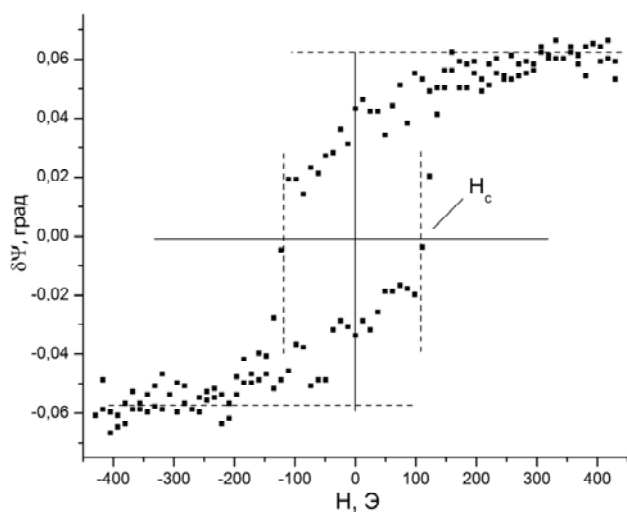


Рис. 5. Зависимость эллипсометрического параметра Ψ от величины магнитного поля для структуры Fe/SiO₂/Si(100)

В завершении тестирования были осуществлены измерения ЭЭК в зависимости от энергии падающего излучения (рис. 6). Величина приложенного магнит-

ного поля при перемагничивании образца до насыщения составляла ± 430 Э (см. рис. 5). С целью увеличения отношения сигнал/шум было сделано три полных цикла измерений по спектру с последующим усреднением данных. Полученная энергетическая зависимость ЭЭК качественно совпадает с результатами исследований, приведенных в работе [14].

На энергетическую зависимость магнитооптического эффекта Керра влияет ряд факторов, в том числе и плотности электронных состояний атомов железа. Из детального анализа полученной кривой, в принципе, можно получить информацию о спектре электронных состояний. Однако в данной работе интерпретация полученной спектральной зависимости ЭЭК не приводится, так как выходит за рамки поставленной задачи.

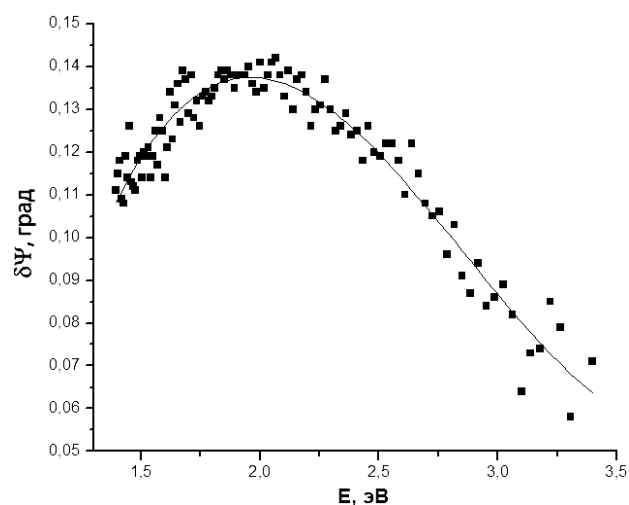


Рис. 6. Дисперсия магнитооптического эффекта Керра, измеренная для структуры Fe/SiO₂/Si(100)

Таким образом, модернизированный магнитоэллипсометрический комплекс обладает следующими преимуществами перед аналогами:

- легкостью доработки стандартной конструкции магнитоэллипсометра, так как все дополнительные элементы монтируются вне вакуумной камеры;
- возможностью проведения эллипсометрических *in situ* измерений в условиях меняющейся засветки рабочей камеры;
- универсальностью магнитооптической схемы с точки зрения режимов измерений благодаря одновременному управлению эллипсометром и блоком питания электромагнита.

Библиографические ссылки

1. Fujiwara H. Spectroscopic Ellipsometry: Principles and Application. N. Y. : John Wiley & Sons Inc., 2007.
2. Growth of Hg_{1-x}Cd_xTe Nanostructures by Molecular Beam Epitaxy with Ellipsometric Control / N. N. Mikhailov, R. N. Smirnov, S. A. Dvoretzky et al. // Intern. J. of Nanotechnology. 2006. Т. 3. № 1. P. 120–130.
3. Измерение намагниченности мультислойных наноструктур Fe/Si в процессе синтеза и постростового нагрева / С. Н. Варнаков и др. // Физика металлов и металловедение. 2008. Т. 106, № 1. С. 54–58.
4. Автоматизация технологического оборудования для получения многослойных структур в сверхвысоком вакууме / С. Н. Варнаков, А. А. Лепешев, С. Г. Овчинников и др. // Приборы и техника эксперимента. 2004. № 6. С. 125–129.
5. High-Speed Spectral Ellipsometry for *in situ* Diagnostics and Process Control / W. M. Duncan, S. A. Henck, J. W. Kuehne et al. // J. of Vacuum Sci. and Technology. B. 1994. Vol. 12, № 4. P. 27–79.
6. Aspnes D. E. New Developments in Spectroellipsometry: the Challenge of Surface // Thin Solid Films. 1993. Vol. 233. P. 1–8.
7. Косырев Н. Н., Овчинников С. Г. Ферромагнетизм при комнатной температуре в двухслойной структуре Dy_{1-x}Ni_x/Ni: магнитооптические измерения *in situ* // Письма в ЖЭТФ. 2008. Т. 88, № 2. С. 152–154.
8. Измерительно-ростовой комплекс для синтеза и исследования *in situ* материалов спинтроники / С. В. Рыхлицкий, В. А. Шве́ц, Е. В. Спесивцев и др. // Приборы и техника эксперимента. 2012. № 2. С. 165–166.
9. Александров Е. Б., Запасский В. С. Лазерная магнитная спектроскопия. М. : Наука, 1986.
10. Сравнение силицидов железа, полученных методами молекулярно-лучевой и твердофазной эпитаксии / С. Н. Варнаков, И. А. Яковлев, С. А. Лященко и др. // Вестник СибГАУ. 2010. № 4 (30). С. 45–51.
11. Шве́ц В. А., Спесивцев Е. В., Рыхлицкий С. В. Анализ статической схемы эллипсометрических измерений // Оптика и спектроскопия. 2004. Т. 97, № 3. С. 514–525.
12. Azzam R. M. A., Bashara N. M. Ellipsometry and Polarized Light / North Holland Publ. Co. N. Y., 1977.
13. Эллипсометр : пат. РФ № 2302623 / Спесивцев Е. В., Рыхлицкий С. В., Шве́ц В. А. Опубл. 10.07.2007, Бюл. № 19.
14. Ebert H. Magneto-Optical Effects in Transition Metal Systems // Reports on Progress in Physics. 1996. Vol. 59. P. 1665–1735.
15. Magnetic-field- and Bias-Sensitive Conductivity of a Hybrid Fe/SiO₂/p-Si Structure in Planar Geometry / N. V. Volkov, A. S. Tarasov, E. V. Eremin et al. // J. of Appl. Physics. 2011. Vol. 109. P. 123924.
16. Mathews J. H., Fink K. D. Numerical Methods. Using MATLAB. Jersey : Prentice Hall, 2001.

S. A. Lyaschenko, S. N. Varnakov, I. A. Tarasov, D. V. Shevtsov, S. G. Ovchinnikov

AUTOMATION OF MAGNETOELLIPSOMETRIC *IN SITU* MEASUREMENTS ON THE ULTRAHIGH-VACUUM COMPLEX FOR SYNTHESIS AND RESEARCH OF MATERIALS OF SPINTRONICS

*The article is a presentation of results of modernization of magnetic-ellipsometric complex created by group of authors. Automation of processes of hardware component control is carried out and algorithms of processing of signals of magnetic ellipsometer are realized. Possibilities of the created system were shown on the example of technological cycle of production and *in situ* of research of structural, optical and magnetic properties of nanostructure of Fe/SiO₂/Si(100).*

Keywords: Ultrahigh-vacuum technology of multilayered nano-structures, spectral ellipsometry, Kerr effect.

© Лященко С. А., Варнаков С. Н., Тарасов И. А., Шевцов Д. В., Овчинников С. Г., 2012

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ

Проведены исследования по определению элементного состава микродугового оксидирования покрытий из алюминиевых и титановых сплавов. Установлена зависимость химического состава покрытия от технологических режимов и различных составов электролитов.

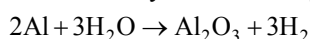
Ключевые слова: микродуговое оксидирование, титановые сплавы, алюминиевые сплавы, элементный анализ.

Алюминиевые и титановые сплавы широко применяются в аэрокосмической и других областях промышленности, что связано с их высокими удельными характеристиками. Однако существуют области, где применение этих сплавов ограничено их невысокой твердостью и износостойкостью. В связи с этим актуальной является задача поверхностного упрочнения алюминиевых и титановых сплавов. Перспективным методом поверхностного упрочнения является микродуговое оксидирование (МДО) [1–5]. Упрочнение металлов при МДО происходит за счет образования на поверхности металла покрытия, которое состоит из оксида металла подложки и оксидов химических элементов, входящих в состав электролита [3].

Важной задачей, особенно при получении покрытий различной цветовой гаммы и покрытий с высокой излучающей способностью, является качественное и количественное определение их химического состава.

В процессе формирования МДО-покрытия большую роль играют плазмохимические и термические процессы, в результате которых на поверхности образуются сложные химические соединения.

Так в растворе силиката натрия при микродуговом оксидировании алюминиевых сплавов химическая реакция протекает по следующей схеме [2]:

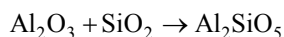


Установлено что полученные покрытия состоят в большинстве случаев из аморфного Al_2O_3 , хотя при определенных условиях наблюдается образование $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

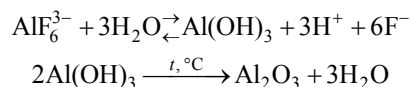
Термическое воздействие может оказывать влияние и на другие компоненты электролита, вызывая их гидролиз (например, солей, образованных слабой кислотой и сильным основанием). Степень такого воздействия увеличивается с ростом температуры и концентрации электролита, которая сильно повышается в приэлектродном слое из-за выкипания воды:



Далее, претерпевая термическую дегидратацию, кремниевая кислота H_2SiO_3 дает диоксид кремния SiO_2 в виде α -кристоболлита и/или α -кварца, что и наблюдается при микродуговом оксидировании в растворах, содержащих силикаты. При МДО на алюминиевом электроде возможно образование силлиманита:



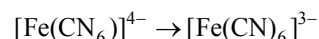
Введение в состав электролитов солей переходных металлов, например, для окрашивания, повышения твердости и других физико-механических свойств, приводит к повышенному содержанию этих металлов в МДО-покрытии и образованию большого количества оксидов различных металлов. Так, по данным работы [6], при обработке алюминия в электролите, содержащем гексафторалюминат натрия, тартрат калия, фторид натрия и гидроксид калия, входящий в состав гексафторалюминат-ион гидролизует, в результате чего образуется гидроксид алюминия, термолит которого в условиях микроплазменных разрядов приводит к образованию в составе покрытий на алюминии оксида Al_2O_3 , который в ходе микродугового оксидирования модифицируется фтором:



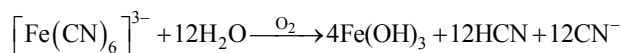
Согласно данным элементного анализа, в покрытии образуется оксид алюминия, модифицированный фтором, формула которого может быть представлена в виде $\text{Al}_2\text{O}_{3-x}\text{F}_x$, характерном для стеклофазы [6].

При обработке алюминиевых и титановых сплавов [7] в электролите, содержащем дигидрофосфат натрия, ферроцианид калия, вольфрамат натрия или молибден натрия, методом рентгенофазового анализа установлено наличие в покрытии шпинелей FeAl_2O_4 , $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{WO}_3$ или $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{MoO}_3$, Al_2O_3 и AlPO_4 на алюминии и его сплавах и $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ – на титане и его сплавах. Кроме того, на сплавах алюминия и титана установлено наличие соединения K_3FeO_4 . Шпинель состава FeAl_2O_4 , синтез которой осуществляется на алюминиевом аноде, обеспечивает покрытие черный цвет.

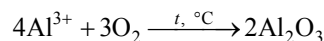
При анодной поляризации ферроцианидов происходит анодное окисление последних:



Далее, при наличии кислорода идет распад комплексного аниона:



В результате плазмохимической реакции на аноде имеем





Кроме того, черный цвет покрытиям придает соединение K_3FeO_4 , который получается на аноде сплавлением K_2O с Fe_2O_3 в атмосфере кислорода. Аналогичные реакции проходят на титане и его сплавах [7].

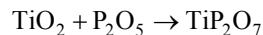
При получении на поверхности изделий, выполненных из алюминиевых и титановых сплавов, черных покрытий в электролите, в состав которого входят гексаметафосфат натрия и метаванадат натрия или аммония, результаты рентгенофазового анализа показали, что в них содержатся оксиды ванадия V_4O_9 и V_2O_4 . На основании количественных анализов следует, что внешний слой покрытия преимущественно состоит из V_4O_9 и V_2O_4 с включением оксидов фосфора и незначительным включением оксидов алюминия. Слой покрытия, прилегающий к металлу, состоит из собственного оксида обрабатываемого металла.

Механизм образования черных пленок со слоистой структурой схематически можно представить следующим образом. Первоначально в доискровой области обработки идет окисление металла с образованием собственного оксида. При достижении определенной толщины пленки появляются искровые разряды. Далее, при достижении определенного напряжения на аноде, механизм образования покрытия претерпевает изменение. Внешне это проявляется в изменении характера искрения на аноде и появлении на серо-белой первичной пленке черных точек зародышей фаз оксидов ванадия. При дальнейшем ведении процесса оксидирования черные участки разрастаются, покрывая всю поверхность пленки. При этом напряжение на аноде остается примерно постоянным. В этот период возникают условия для преимущественного роста пленки за счет оксидов ванадия, что можно объяснить возникновением трудностей в диффузии ионов металла подложки во внешнюю часть растущей пленки за счет формирования объемных зарядов в пленке и образованием микроплазменных разрядов в пространстве между областью объемных зарядов и электролитом, т. е. в поверхностной части растущей пленки, что приводит к ее дальнейшему росту за счет элементов электролита, причем преимущественно за счет оксидов ванадия [8].

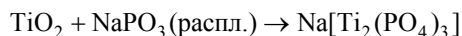
При обработке титана [9] в электролите, содержащем алюминат, сульфат, тетраборат натрия и борат алюминия, образуется эмалевидная пленка, плотная, белого цвета, состоящая из рутила TiO_2 , шпинелли Al_2TiO_5 и корунда $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

При нанесении покрытия на титановые сплавы [10] в электролите, содержащем фосфат натрия и иодат калия, локальное повышение температуры (до 2800–3000 °С) в момент искрения, приводит к переплавке продуктов оксидирования. Адсорбированные в начальный период анодирования (до 100 В) ионы под воздействием высокого напряжения (400–500 В) и

температуры образуют соединения с двуокисью титана типа фосфидов или P_2O_5 , о чем свидетельствует наличие на всех рентгенограммах обширной аморфной фазы, которую на основании данных ОЖЕ-спектроскопии необходимо отнести к соединениям типа фосфидов или P_2O_5 . Фосфорный ангидрид образует с двуокисью титана дифосфат титана по реакции

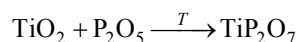
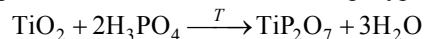


Кроме того, при сплавлении TiO_2 с фосфатом натрия происходит образование комплексного соединения триортофосфатодититаната натрия:



Эти соединения улучшают электрофизические свойства оксидных пленок [3].

В работе [3] авторы, исследуя фазовый состав покрытий, формируемых на титане в фосфатном электролите, пришли к выводу, что появление рутильной фазы связано с возникновением интенсивных микродуг на поверхности анода при высоких потенциалах формирования. Это подтверждает тот факт, что температурный фактор является одним из основных при формировании соответствующих структур при МДО-процессе; при более низких потенциалах формирования в составе покрытий обнаружены TiO_2 (анатаз), TiP_2O_7 , $\text{NaTi}_2(\text{PO}_4)_3$ и аморфная фаза. Образование TiP_2O_7 на аноднополяризованном электроде из титана возможно в результате взаимодействия оксида титана с ортофосфорной кислотой или с фосфорным ангидридом при воздействии высоких температур:



На аноде температурный режим для протекания указанных реакций реализуется в зонах пробоя. Синтез триортофосфатодититаната натрия $\text{NaTi}_2(\text{PO}_4)_3$ характерен для гидротермальных процессов с системе $\text{TiO}_2\text{--NaHPO}_4\text{--H}_2\text{O}$. Обнаруженные рентгеноаморфные фазы в покрытии, по предположениям авторов, состоят из стеклофаз, формируемых в системе $\text{Na}_2\text{O--P}_2\text{O}_5\text{--TiO}_2$.

Таким образом, несмотря на большое количество исследований элементного состава МДО-покрытий, количественное соотношение соединений, входящих в покрытие, исследовано недостаточно. Поэтому в работе проведены экспериментальные исследования по определению количественного соотношения химических соединений, входящих в МДО-покрытие, при различных технологических режимах обработки на алюминиевых и титановых сплавах.

Обработке подвергались образцы алюминиевого сплава АМг6. Формирование покрытий проводили в двух электролитах:

– 4 г/л КОН, 10 г/л Na_2SiO_3 (№ 1);

– 2 г/л КОН, 14 г/л алюминат натрия NaAlO_2 (№ 2).

Обрабатывали образцы в следующих режимах: плотность тока $I = 5 \dots 40 \text{ А/дм}^2$; продолжительность оксидирования – 60 мин; соотношение анодной и катодной составляющей силы тока $I_{\text{к}}/I_{\text{а}} = 0, -1, 2$, температура электролита – 15...40 °С.

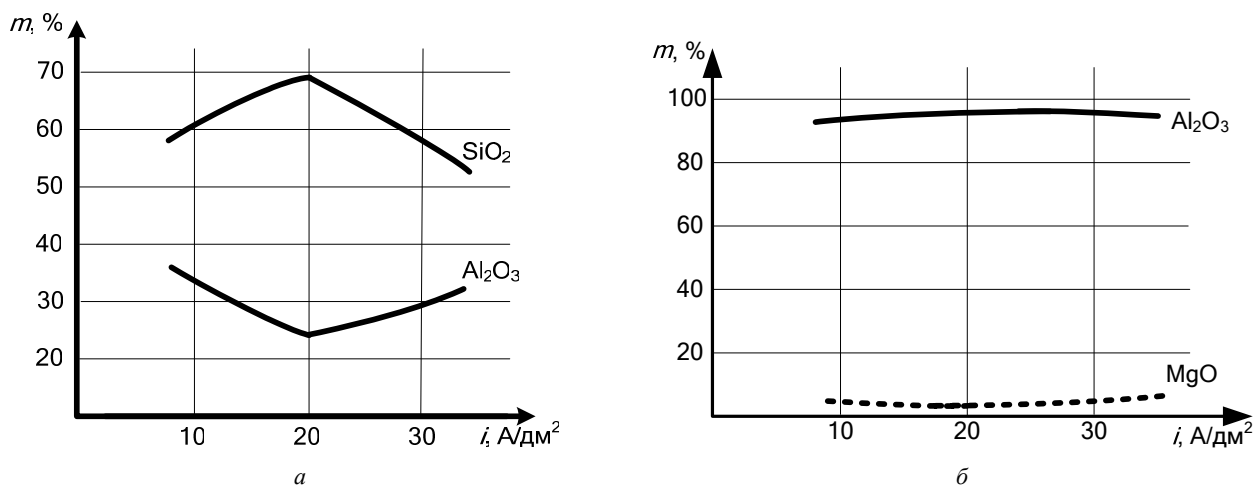


Рис. 1. Изменение содержания оксидов в МДО-покрытии в зависимости от плотности тока:
а – электролит 1; б – электролит 2

Таблица 1

Составы электролитов и оптимальные параметры технологических режимов

№ образца	Состав электролита	Режимы обработки
1	Na_2HPO_4 – 60 г/л	$t = 20$ мин, $I = 16$ А/дм ² , $U = 360$ – 380 В
2	$\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{12}$ – 30 г/л $\text{NaVO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 20 г/л	$t = 10$ мин, $I = 32$ А/дм ² , $U = 300$ – 380 В
3	NaH_2PO_4 – 20 г/л $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 25 г/л $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 5 г/л	$t = 30$ мин, $I = 16$ А/дм ² , $U = 210$ – 300 В
4	Na_2SiO_3 – 50 г/л KOH – 30 г/л	$t = 10$ мин, $I = 32$ А/дм ² , $U = 250$ – 300 В

Таблица 2

Результаты химического анализа покрытий

№ образца	Содержание оксидов в покрытии, %						
	TiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	SiO ₂	V ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O
1	70,96	24,76	2,78	–	–	0,0749	–
2	47,19	33,08	–	–	17,37	0,184	–
3	38,77	27,85	–	–	–	22,78	2,01
4	39,95	–	1,61	57,00	–	0,0652	–

При помощи рентгенофлуоресцентного спектрометра ARL Quant'x исследовался химический состав полученных покрытий (рис. 1). По результатам элементного анализа на образцах алюминиевых сплавов, оксидируемых в электролите 1 было выявлено значительное содержание таких оксидных элементарных форм, как SiO₂ и Al₂O₃ (рис. 1, а). При обработке в электролите 2 в покрытии выявлен оксид Al₂O₃ и незначительное количество MgO, образующегося за счет магния, входящего в состав сплава (рис. 1, б).

В результате исследований выявлено, что наибольшее содержание твердой фазы Al₂O₃ увеличивается при увеличении катодной составляющей по току (рис. 2).

Также исследовался элементный состав покрытий на титановых образцах, выполненных из сплава ВТ14.

Составы электролитов и параметры технологических режимов приведены в табл. 1.

Результаты исследования элементного состава полученных покрытий приведены в табл. 2.

Поскольку наиболее твердым из соединений в покрытии является TiO₂, то для получения износостойких покрытий на титановых сплавах обработку необходимо проводить в электролите 1. Далее исследовалось влияние технологических режимов обработки на содержание TiO₂ в покрытии. Покрытия формировали при соотношениях анодной и катодной составляющих I_к/I_а от 0,6 до 1,2, плотностях тока в диапазоне от 10 до 40 А/дм², в течении 5–30 мин. Полученные результаты представлены на рис. 3.

Химический анализ показывает, что больше всего оксида титана в покрытии, полученном при соотно-

шении анодной и катодной составляющих тока $I_k = 1$, плотности тока $i = 40 \text{ А/дм}^2$ и времени обработки $t = 10 \text{ мин}$.

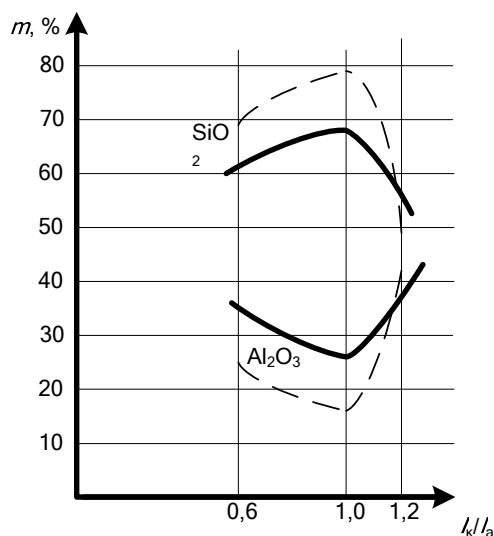


Рис. 2. Изменение химического состава МДО-покрытия в зависимости от I_k/I_a в электролите 1:
— $i = 10 \text{ А/дм}^2$; --- $i = 20 \text{ А/дм}^2$

Таким образом, в работе установлена связь между технологическими параметрами МДО обработки и количественным и качественным содержанием химических соединений в покрытии. Выявлены пути повышения содержания химических соединений, обеспечивающих покрытию повышенную износостойкость.

Библиографические ссылки

1. Николаев А. В., Марков Г. А., Пищевичный Б. Н. Новое явление в электролизе // Изв. СО АН СССР. Серия «Химические науки». 1977. Вып. 5. С. 32–33.

2. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И. В. Суминов и др. М.: ЭКОМЕТ, 2005.

3. Гордиенко П. С., Гнеденков С. В. Микродуговое оксидирования титана и его сплавов. Владивосток: Дальнаука, 1997.

4. Формирование наноструктурных неметаллических неорганических покрытий путем локализации высокоэнергетических потоков на границе раздела фаз / А. И. Мамаев, В. А. Мамаева, В. Н. Борилов, Т. И. Дорофеева. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2010.

5. Бутягин П. И., Хохряков Е. В., Мамаев А. И. Влияние состава электролита на износостойкость МДО-покрытий // Технология металлов. 2005. № 1. С. 36–40.

6. Способ получения защитных покрытий на алюминии и его сплавах: пат. РФ №2112087 / Гнеденков С. В., Хрисанфова О. А., Ковряков А. Н. и др. Оpubл. 23.09.1996. C25D11/06.

7. Способ получения оптически черных защитных покрытий на вентильных металлах: пат. РФ № 2096534 / Яровая Т. П., Гордиенко П. С., Руднев В. С., Недозоров П. М.. Оpubл. 15.03.1998. C25D11/02, C25D11/14.

8. Способ микродугового получения защитных пленок на поверхности металлов и их сплавов: пат. РФ № 2061107 / Руднев В. С., Гордиенко П. С., Курносова А. Г., Орлова Т. И.. Оpubл. 27.05.1996. C25D11/06.

9. Электролит для формирования покрытий на вентильных металлах: пат. РФ № 2046156 / Гордиенко П. С., Гнеденко С. В., Хрисанфова О. А. и др. Оpubл. 20.10.1995. C25D11/04.

10. Электролит для анодирования титана и его сплавов: пат. РФ № 1156409 / Гордиенко П. С., Хрисанфова О. А., Нуждаев В. А., Звачайный В. П. Оpubл. 10.06.1996. C25D11/26.

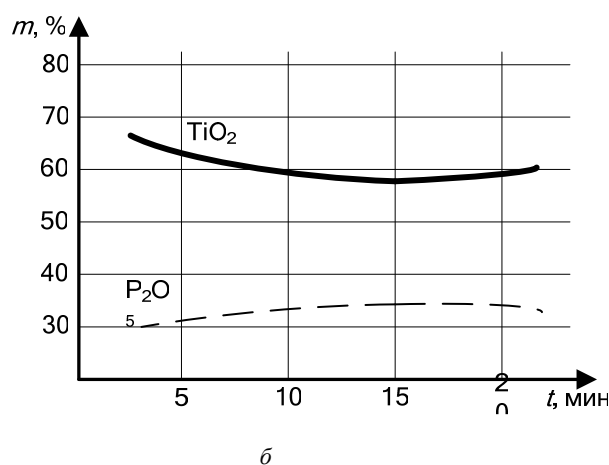
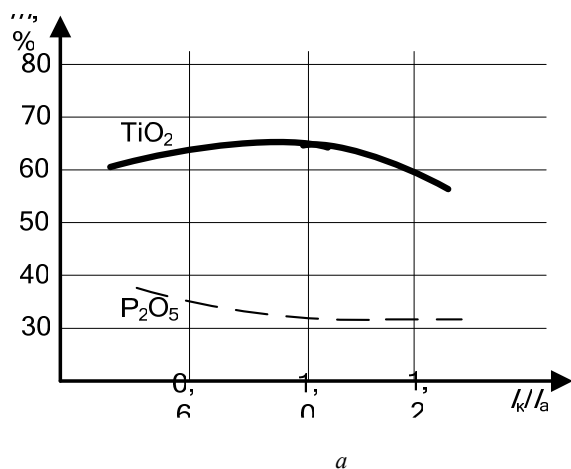


Рис. 3. Изменение химического состава МДО-покрытия в зависимости:
а — от соотношения анодной и катодной составляющих тока ($i = 40 \text{ А/дм}^2$, $t = 10 \text{ мин}$);
б — времени обработки ($i = 40 \text{ А/дм}^2$, $I_k/I_a = 1$)

A. E. Mikheyev, A. V. Girn, D. V. Orlova, E. V. Vakhteev, T. V. Trushkina

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON ELEMENT STRUCTURE OF MDO COVERINGS OF ALUMINIUM AND TITANIC ALLOYS

Researches on definition of element structure of MDO of coverings of aluminum and titanic alloys are performed. Dependence of chemical composition of covering on technological modes and various compositions of electrolytes is traced back.

Keywords: micro-arc oxygenating, titanic alloys, aluminum alloys, element analysis.

© Михеев А. Е., Гирн А. В., Орлова Д. В., Вахтеев Е. В., Трушкина Т. В., 2012

УДК 621.74.04.01

Л. А. Оборин, В. А. Колмыков, В. П. Назаров

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ГАЗОСТАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЛИТЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Рассмотрены особенности технологии высокотемпературной газостатической обработки литых корпусных деталей, изготовленных из жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов. Приведены результаты исследований и оптимальные режимы обработки.

Ключевые слова: температура, газ, давление, время.

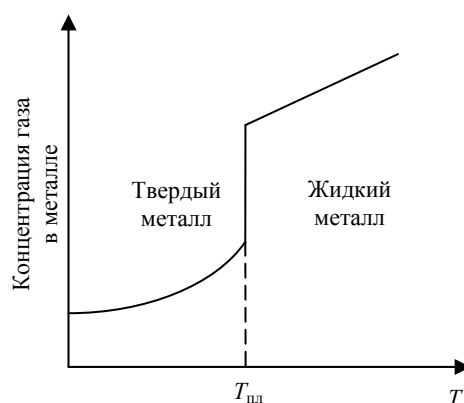
Корпусные детали турбокомпрессорных агрегатов многих современных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) изготавливаются из жаростойких сталей ВНЛ-1, ВНЛ-6 и жаропрочного сплава ВЖЛ-14 методом точного литья по выплавляемым моделям. В связи с напряженными температурными и динамическими параметрами рабочей среды к отливкам предъявляются высокие требования не только по прочности и тепловой стойкости, но и герметичности (газонепроницаемости) конструкции. Для тонкостенных деталей газового тракта это требование особенно трудно выполнимо, поскольку в материале отливки имеются раковины, рыхлоты, пустоты и другие микронеплотности, нарушающие герметичность стенок корпуса в процессе испытаний и эксплуатации двигателя.

Уменьшить или исключить раковины изделия в процессе литья не всегда удается. Поэтому применяют различные методы обработки отливок с целью удаления или уменьшения размеров и количества раковин в отлитом изделии. К наиболее эффективным из них следует отнести:

- высокотемпературную газостатическую обработку (ВГО);
- покрытие поверхности отливки специальными герметиками.

Исследовали влияние ВГО на газонепроницаемость изделия. Металлографический анализ показал, что раковины в отливке имеют размер ~ 1 мм. Как известно, металлы в расплавленном и твердом состояниях заметно растворяют газы. Основными растворяемыми газами являются водород H_2 , кислород O_2 и, в малой степени, азот N_2 . Например, растворимость водорода в никеле достигает $3\text{--}15 \text{ см}^3$ на 100 г

[1]. Это часто наблюдается в сплавах металлов на основе железа Fe и никеля Ni (элементы 8-й группы периодической системы Д. И. Менделеева) [1]. Растворимость водорода в расплаве металлов выше, чем в твердом металле, при этом растворимость скачкообразно уменьшается при затвердевании расплавленного металла, как показано на рисунке.



Растворимость газов в металлах в зависимости от температуры

Поэтому при затвердевании расплавленного металла пузырьки выделившегося газа иногда не успевают удалиться в расплав и захватываются затвердевшим металлом, образуя раковины, заполненные газом.

При больших скоростях кристаллизации пустоты, как правило, сферические, а при медленных они имеют вытянутую форму вдоль направления кристалли-

зации, что и наблюдалось в наших экспериментах. Особенности этих пустот заключаются в том, что газ в них находится под большим избыточным давлением как в молекулярном состоянии H_2 , O_2 , так и абсорбируется жидким или твердым слоем на стенках раковины.

Поскольку давление газа в раковине намного больше, чем в атмосфере, окружающей отливку, то газ постоянно проникает из раковины через твердый металл наружу отливки.

Проникает газ за счет диффузии в стенках отливки. Масса m продиффундировавшего газа описывается законом Фика:

$$m = D \frac{dc}{dx} S \cdot \tau, \quad (1)$$

где m – масса продиффундировавшего вещества, г; D – коэффициент диффузии компонента (атома или молекулы), $см^2/с$; dc/dx – градиент концентрации компонента на расстоянии диффузии (иногда применяют градиент активности da/dx вместо dc/dx); S – площадь, через которую происходит диффузия, $см^2$; τ – время диффузии, с.

Из всех известных газов только водород находится в металле в виде протона – ионизированного атома водорода, т. е. имеет очень малый размер. Благодаря этому протон диффундирует по междоузлиям металла, и водород имеет самый большой коэффициент диффузии из всех известных газов, т. е. он в первую очередь удаляется из раковины твердого металла.

Коэффициент диффузии D зависит только от температуры T (К) процесса и теплоты активации Q диффузии [2]:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right), \quad (2)$$

где D_0 – предэкспоненциальный множитель; R – универсальная газовая постоянная.

Коэффициент D по степенной (экспоненциальной) зависимости существенно увеличивается с ростом температуры, так как показатель экспоненты имеет отрицательный знак. Поэтому диффузия заметно происходит только при повышенных температурах. Исследования проводились при температурах около 1300 К, что ниже температуры плавления сплава. Благодаря этому нами обнаружен эффект уже через несколько часов (более 3 600 с) после ВГО. При комнатной температуре этого эффекта пришлось бы ждать годы, что не приемлемо для исследования.

Для определения расстояния l и времени τ диффузии иногда применяют формулу Эйнштейна

$$l^2 = D\tau. \quad (3)$$

Для многих расплавов коэффициент D имеет величину порядка $10^{-5} см^2/с$, а в твердом теле намного меньше. В справочных материалах D для газов в металлах приводится очень редко. Попробуем хотя бы очень приблизительно оценить D в наших экспериментах. Толщина стенки $l \sim 0,7 см$, время процесса

$\tau = 3 ч = 3 \cdot 3600 = 10800 с$. Тогда из формулы (3) получим

$$D = l^2/\tau = 0,49 см^2/10800 с = 4,5 \cdot 10^{-5} см^2/с. \quad (4)$$

Как видим, получается большое значение D , сравнимое с аналогичным коэффициентом диффузии с D в жидкостях. Не исключено, что эта большая скорость диффузии только протона в молекулярной решетке. Естественно, что скорости диффузии молекулярных H_2 , O_2 и N_2 на несколько порядков меньше 10^{-7} – 10^{-8} . Рассчитанный нами D несопоставим с $D = 2 \cdot 10^{-4} см^2/с$ при 1350 К водорода, приведенном в [1]. Полученный D водорода может использоваться при планировании следующих экспериментов при более высоких и низких температурах. В нашем опыте температура была около 1300 К. Например, при 800 К время процесса достигало 10 ч (36000 с).

Следует обратить внимание на еще один возможный механизм зарастания раковин. При высокой температуре (около 1300 К) происходит не только диффузия газа, но и диффузия атомов металла по стенкам и через газовую раковину. Это также ускоряет процесс зарастания раковин.

Для ВГО отливки необходимо создать на поверхности отливки минимальное давление H_2 , O_2 и N_2 , чтобы ускорить выведение этих газов из раковин отливки. В связи с этим рассмотрели и отработали два способа создания атмосферы над отливкой:

- создание высокого вакуума;
- применение высокочистого аргона или гелия.

Оба процесса равноценны по созданию малого парциального давления водорода и кислорода над поверхностью отливки и ускорения зарастания раковин в отливке. Однако при использовании аргона, находящегося под давлением, исключается подсос воздуха (кислорода) в камеру термообработки. Величина давления аргона до 200 МПа ограничена прочностью стенок емкости для ВГО изделия. Кроме того, требуемая в данном случае толщина стенки емкости меньше, чем для создания вакуума. Поэтому применение аргона более технологично и легче контролируется, по сравнению с вакуумным методом. Результаты исследования показали, что после ВГО микроструктура и химический состав образцов не изменились, а плотность материала, механическая прочность и герметичность изделия повысилась.

Сжатие отливки давлением аргона можно оценить по формуле коэффициента сжатия β :

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right), \quad (5)$$

где V – объем отливки; P – давление.

Из уравнения (5) можно найти относительное изменение объема $\Delta V/V$ отливки в зависимости от внешнего давления P . Для никеля $\beta = 0,538 \cdot 10^{-11} н/м^2$ является исключительно малой величиной [3]. Чтобы получить ощутимое сжатие отливки $\Delta V/V \sim 0,001$ (1 %) [4], необходимо применить давление около $10^8 кг/см^2$, что невозможно достичь на имеющемся оборудо-

вании. Поэтому ограничились давлением около 200 кг/см^2 и получили ощутимый эффект от ВГО.

В процессе экспериментов исследовано влияние высокотемпературной газостатической обработки на газоплотность (герметичность) и механическую прочность литых корпусных деталей турбонасосных агрегатов ракетных двигателей.

По результатам металлографического анализа, рентгенографического контроля, испытаний деталей на прочность и герметичность установлено, что устранение микронеплотностей (рыхлот, пор) в отливках, выполненных из сталей ВНЛ-1 и ВНЛ-2, после высокотемпературной газостатической обработки составляет более 50 %, а в отливках, изготовленных из сплава ВЖА-14, – более 80 %, что способствует повышению механической прочности и герметичности конструкции и обеспечивает высокое качество кор-

пусных деталей и сборочных единиц ТНА ЖРД. Разработанная технология высокотемпературной газостатической обработки отливок может найти применение также при использовании других сталей и сплавов в ракетно-космической промышленности и общем турбостроении.

Библиографические ссылки

1. Галактионова Н. А. Водород в молекулах. М. : Металлургия, 1967.
2. Стильбанс Л. С. Диффузия в полупроводниках. М. ; Л. : Сов. радио, 1980.
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М. : Наука, 1978.
4. Мелвин-Хьюз Э. А. Физическая химия. М. : Иностран. лит., 1962.

L. A. Oborin, V. A. Kolmykov, V. P. Nazarov

HIGH-TEMPERATURE GAS-STATIC PROCESSING OF CAST CASE DETAILS OF TURBOPUMP SYSTEMS

The article considers features of technology of high-temperature gas-static processing of the cast case details made from heat-resistant and heatproof metals and alloys. Results of researches and optimum modes of processing are presented

Keywords: temperature, gas, pressure, time.

© Оборин Л. А., Колмыков В. А., Назаров В. П., 2012

УДК 661.632:669

Г. Л. Пашков, В. И. Кузьмин, Ю. С. Кононов, Ю. Т. Филатов, С. Г. Богданов

УТИЛИЗАЦИЯ НЕКОНДИЦИОННЫХ ОКИСЛИТЕЛЕЙ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА*

Рассматривается проблема экологически чистой технологии утилизации некондиционных окислителей (меланжей) жидкого ракетного топлива. Предложена технологическая схема получения азотной кислоты в абсорбционной насадочной колонне в результате отдувки оксидов азота из меланжа кислородом. При последующем смешении с кубовым остатком образуется товарная азотная кислота 60–65 % (масс.). Приведены основные параметры процесса.

Ключевые слова: утилизация отходов, азотная кислота, оксиды азота, меланж, абсорбция.

Сложившаяся в мире ситуация в области промышленных отходов ведет к опасному загрязнению окружающей среды, определяет нерациональное использование природных ресурсов и приносит значительный экономический ущерб. В то же время, по химико-технологической оценке отходы, например, химических и горно-металлургических производств (шлаки, шламы, кеки и др.), могут являться достаточно ценным вторичным сырьем для получения неорганических веществ и металлов. В этом случае для процес-

сов вскрытия и выщелачивания вторичного сырья требуются растворы минеральных кислот, в том числе азотной. Предложен способ утилизации некондиционных окислителей жидкого ракетного топлива с получением азотной кислоты (60–65 %), которую можно использовать, например, при переработке нефелиновых шламов Ачинского глиноземного комбината для производства комплексной кальций-нитратной добавки к растворам бурения нефтегазовых скважин и бетонным смесям стройиндустрии.

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (дополнительное соглашение № 01/12 от 13 июля 2012 г.) в ИХХТ СО РАН при участии научного сотрудника, кандидата химических наук Д. В. Кузьмина, ведущих технологов У. Ф. Куклиной и А. Н. Кокориной.

Примерный состав азотнокислотных окислителей

Наименование	Массовое содержание, %				
	HNO ₃	N ₂ O ₄	H ₂ O	HF, I ₂ , H ₃ PO ₄	Сухой остаток
Белая дымящая азотная кислота	96–98	< 0,5	< 2,0	–	< 0,1
Красная дымящая азотная кислота	70–80	13–30	4,0	3,0	0,1

В ракетной технике используют два типа азотно-кислотных окислителей: белую и красную дымящие азотные кислоты. Первая представляет собой техническую азотную кислоту с концентрацией HNO₃ не менее 97 %, а вторая – смесь азотной кислоты с тетраоксидом диазота. Состав этих окислителей, согласно спецификации MIL-N-7254E (USA), представлен в таблице.

Введение в азотную кислоту тетраоксида диазота улучшает ее свойства как окислителя ракетного топлива. Так, смеси азотной кислоты и тетраоксида диазота (меланжи), содержащие до 30 % N₂O₄, имеют, по сравнению с азотной кислотой, более высокую плотность (до 1 600 кг/м³), более низкую температуру замерзания (до –70 °С) и содержат несколько больше активного кислорода для окисления горючего; кроме того, они менее агрессивны, чем сама азотная кислота.

Разработаны ингибирующие добавки к меланжам: фосфорная кислота и йод. Фосфорную кислоту применяют как индивидуально (окислитель марки АК-20Ф), так и в сочетании с фтористым водородом (окислители марок АК-20К и АК-27П) ([URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Red_fuming_nitric_acid](http://en.wikipedia.org/wiki/Red_fuming_nitric_acid)). Йод используют при изготовлении окислителей АК-20И и АК-27И. В зависимости от марки окислителя массовое содержание ингибиторов коррозии составляет, % (масс.): HF 0,40–0,75; H₃PO₄ 0,10–1,30; I₂ 0,12–0,25.

Кислотные меланжи типа АК, содержащие ингибиторы коррозии, стали непригодными (некондиционными) для эксплуатации и требуют срочной утилизации. Ингибиторы коррозии (HF, H₃PO₄, I₂), которые в концентрированной кислоте понижают скорость коррозии конструкционных материалов, используемых для изготовления технологического оборудования, средств транспортировки и хранения, но уже в слабой азотной кислоте или при повышенных температурах сами являются высоко агрессивными веществами.

В ряде стран были разработаны и реализованы различные способы обезвреживания или утилизации некондиционного меланжевого окислителя. Методы ликвидации запасов некондиционных меланжей зависят как от количества складированного меланжа, так и от возможности создания специальных установок по их переработке или возможности транспортировки их на соответствующие предприятия военно-промышленного комплекса для регенерации. Некоторые технические решения по ликвидации меланжей реализованы в Молдове, Армении, Грузии, Азербайджане при поддержке НАТО или ОБСЕ.

Технология переработки состоит из следующих этапов:

- управляемое разбавление меланжа водой (до соотношения 1:10);
- обработка сжатым воздухом и переработка остатков N₂O₄ в HNO₃;
- производство водной суспензии гидроксида кальция (известковое молоко);
- нейтрализация меланжа путем смешивания с известковым молоком и получение водного раствора «норвежской селитры» Ca(NO₃)₂, (минеральная подкормка).

Другое решение (термический метод) по утилизации заключается в расщеплении химических связей при высоких температурах (1 200–1 400 °С) и выбросе продуктов горения в атмосферу. В некоторых случаях проводят чрезвычайно быстрое охлаждение газов для предотвращения рекомбинации продуктов горения (диоксиновое окно). Расщепление меланжа осуществляется при температуре 1 200 °С. После очистки в комбинированных фильтрах в атмосферу выбрасываются безвредные N₂ и O₂.

Температура достигается сжиганием топлива с использованием меланжа в его первоначальной функции окислителя. По сравнению с промышленными объектами, мобильное оборудование имеет технологические ограничения по производительности и эффективности.

В Украине был разработан и на пилотной установке испытан способ утилизации меланжа путем его переработки в азотсодержащее удобрение, который не предусматривает вывоз окислителя за пределы складских территорий [2–4]. Отличительным преимуществом данной технологии является малое аппаратное и ресурсное обеспечение при ее реализации, что позволяет создать установку мобильного типа. Технология реализуется в две стадии. На первой стадии меланж разбавляется обратным раствором, содержащим карбамид, нитрат аммония и воду. При этом наряду со снижением концентрации азотной кислоты реализуется процесс обезвреживания оксидов азота, растворенных в меланже. Выводимая с первой стадии технологическая среда представляла смесь азотной кислоты (42–46 %) и нитрата аммония. Смесь на второй стадии нейтрализуется аммиачной водой и разбавляется карбамидом. Эта смесь по своему составу удовлетворяет требованиям для жидких азотсодержащих удобрений.

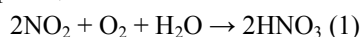
Как показывают результаты работ по утилизации окислителей ракетного топлива, выполненных в странах СНГ, основными проблемами переработки являются: повышение безопасности технологии, снижение

выбросов оксидов азота в атмосферу и упрощение технологических установок.

Проблемы безопасности возникают на всех основных операциях переработки. Это транспортировка окислителя, разбавление смесей водой (выбросы оксидов азота, обусловленные большим экзотермическим эффектом при гидратации компонентов, выделение NO на стадии взаимодействия NO₂ с водой), получение азотной кислоты из диоксида азота. Ранее было отмечено, что специалисты Украины предлагают на первой стадии разлагать NO₂ мочевиной. Несмотря на простоту, очевидно, что этот процесс исключительно дорог из-за расхода мочевины и существенного снижения выхода нитратной продукции. Получается, что при получении нитратного удобрения разрушается другое весьма ценное удобрение – мочевина.

Другой проблемой является очистка газообразных отходов от окиси азота. Проблема имеет две стороны – объем этих отходов и концентрация в них окиси азота. Весьма перспективным, на наш взгляд, является получение азотной кислоты из меланжа и окислителя АТ с использованием чистого кислорода в технологическом процессе. В этом случае существенно снижается объем газообразных отходов. В принципе эти отходы могут быть сведены к нулю.

При двухкратном избытке кислорода от стехиометрии по реакции



объем газовых выбросов, по сравнению с традиционным процессом, уменьшается почти в 5 раз. Внедрению этого процесса благоприятствует появление в настоящее время мембранных кислородных установок большой производительности, в которых расход электроэнергии на получение 1 м³ кислорода составляет лишь 0,4 кВт · ч. Другим аргументом за использование кислорода при получении азотной кислоты является возможность упрощения самой установки за счет существенного повышения парциального давления кислорода в колоннах по сравнению с установками, работающими на воздухе. Это позволяет снизить общее давление в аппаратах. Использование кислорода позволяет также существенно уменьшить размер абсорбционной колонны и снизить объем газовых выбросов.

Доведение содержания окиси азота до нормы является весьма сложной технической задачей. Проблема обусловлена достаточной химической инертностью NO. Так, если NO₂ очень быстро реагирует с водой с образованием кислот, то NO лишь физически растворяется в ней и не реагирует с дешевыми щелочными реагентами.

Переход же NO в NO₂ при взаимодействии с кислородом осуществляется медленно, а скорость реакции падает в квадратичной зависимости от парциального давления NO. Для окисления NO могут быть использованы сильные окислители, такие как перманганат калия, перекись водорода. Однако их на практике применяют крайне редко и в ограниченных случаях

вследствие дороговизны реагентов и невысокой эффективности.

Проблемы очистки азотной кислоты от примесей определяются характером этих примесей. При получении нитрата кальция примеси фосфорной, серной и плавиковой кислот автоматически удаляются в виде нерастворимых кальциевых солей. При этом основным условием, определяющим степень очистки, является pH раствора. В нейтральных растворах при достаточно высокой концентрации кальция (1–3 М) содержание фосфатов, фторидов и сульфатов будет очень мало. Йод при этом останется в растворе в молекулярной форме.

В ходе исследований была оценена возможность проведения процесса переработки окислителей с отдувкой NO₂ из меланжа кислородом с поглощением их водой в колонке при атмосферном давлении. Использование кислорода, по его парциальному давлению, равноценно применению колонки, работающей при 0,5 МПа воздуха.

Абсорбер (рис. 1, поз. 1) представлял собой кварцевую колонку высотой 2 м и диаметром 25 мм (в промышленности для абсорбции нитрозных газов применяют насадочные колонны высотой 30 м и диаметром 8 м). При подаче газовой смеси в нижнюю часть колонки в режиме орошения и заполненной колонки получены растворы азотной кислоты с содержанием от 2 до 6 М.

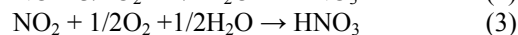
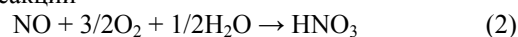
Колонка заполнялась кольцами Рашига из кварца по всему объему (поз. 2). Вода подавалась в верхнюю часть колонны через штуцер (поз. 3) перистальтическим насосом (поз. 4). Оксиды азота поступали из емкости, выполненной из нержавеющей стали (поз. 5), совместно с кислородом, подаваемым из баллона (поз. 6), регулировка подачи осуществлялась вентилем (поз. 7) и контролировалась по показаниям ротаметра (поз. 8). Газовая смесь подавалась в центральную часть колонны (поз. 9) или нижнюю ее часть (поз. 12). Для отдувки оксидов азота навстречу потоку получаемой азотной кислоты направлялся дополнительный поток кислорода, через вентиль (поз. 10), ротаметр (поз. 11) и штуцер в нижней части колонки (поз. 12).

Кислота отбиралась из нижней части колонки через штуцер (поз. 13) с гидрозатвором (поз. 14). Абгазы с выхода из колонки проходили через стеклянную емкость объемом 10 л (поз. 15) для определения содержания NO и пропускались через склянку Дрекселя, заполненную насыщенным раствором перманганата калия (поз. 16) (для полной очистки от оксидов азота) и сбрасывались в атмосферу. Для регулировки процесса выделения оксидов азота емкость с окислителями охлаждали или нагревали с использованием термостата (поз. 17).

Были отработаны режимы работы лабораторной установки для трех вариантов подачи смеси диоксида азота с кислородом в колонку: а) нижнюю часть; б) среднюю часть (колонка заполнена водой); в) среднюю часть колонки в режиме орошения насадки водой.

Анализ получаемой кислоты осуществлялся титрованием продукта раствором гидроксида натрия в присутствии метилоранжа после предварительной отдувки из аликвоты остатков оксидов азота путем перемешивания раствора в открытом стаканчике на магнитной мешалке в течение 30 мин. Концентрация азотистой кислоты в растворе и оксидов азота определялись добавлением к разбавленной аликвоте пробы иодида калия и титрованием выделившегося молекулярного йода фиксаналом тиосульфата с добавлением крахмала. Для оценки содержания смеси оксидов азота в абгазе емкость (поз. 15) после установления стационарного режима выводили из системы, затем в нее добавляли 100 мл воды, закрывали и выдерживали 24 ч. Концентрацию смеси оксидов азота в газовой фазе определяли титрованием щелочью водного раствора, образовавшейся азотной кислоты. Расчет

суммы концентрации ($\text{NO} + \text{NO}_2$) выполнялся исходя из реакций



В режиме получения кислоты по варианту (а) кислота на выходе из колонки имеет синий цвет, что обусловлено наличием оксидов азота – NO и NO_2 (N_2O_3). При контакте с воздухом синий цвет продукта постепенно изменяется на бурый из-за окисления NO до NO_2 . По данным титрования продукта с иодидом калия в растворе обнаруживается до 0,2 М азотистой кислоты.

В режиме (б) получена чистая азотная кислота с концентрацией 2–3 М. Содержание в ней азотистой кислоты не превышает 0,02 М. В газовых отходах при избытке подачи кислорода в 2 раза обнаружено около 20 мг/м³ оксида азота.

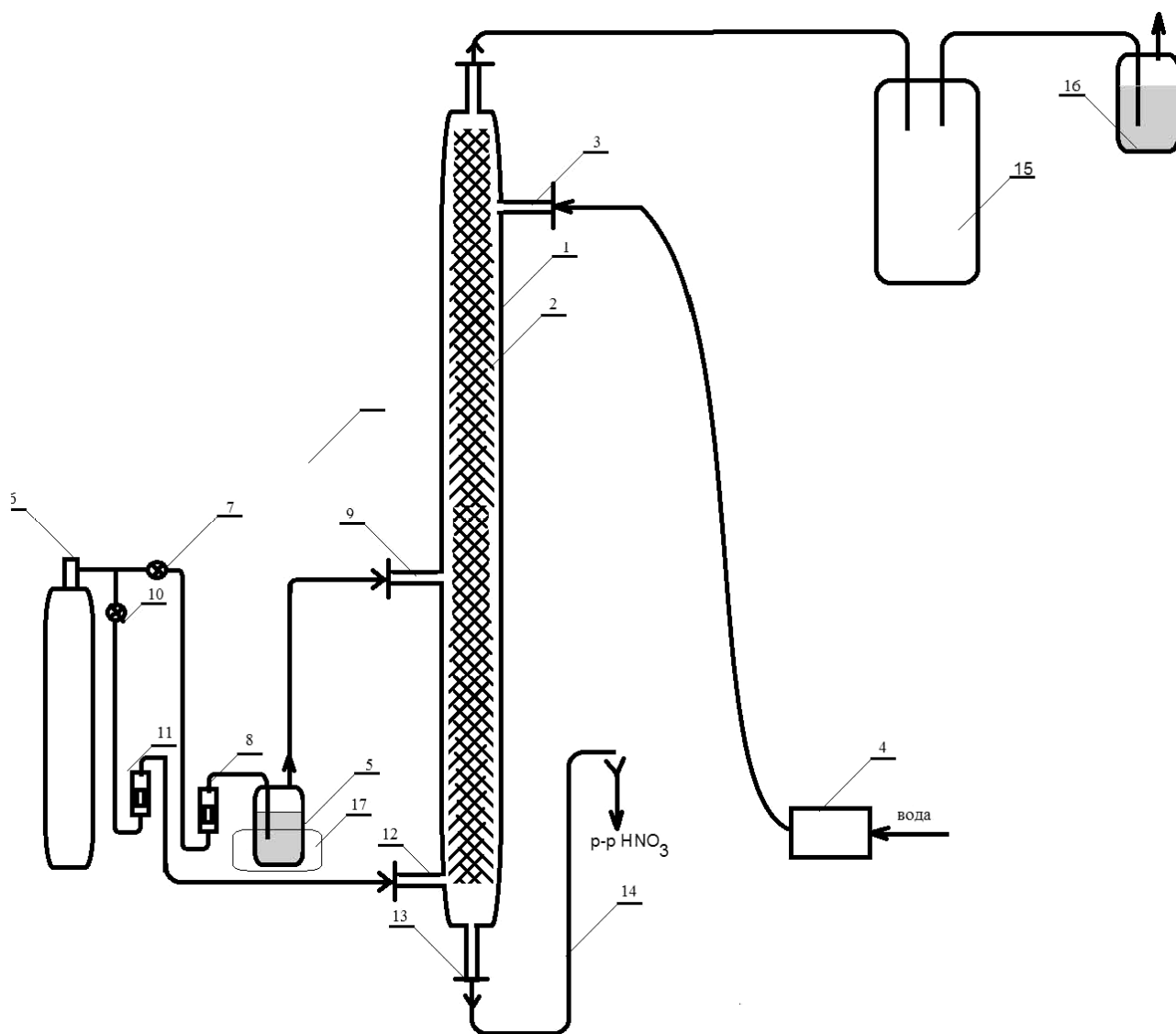


Рис. 1. Лабораторная установка получения азотной кислоты из некондиционных окислителей:

- 1 – кварцевая колонка; 2 – кольца Рашига; 3 – штуцер для подачи воды; 4 – перистальтический насос; 5 – емкость с окислителем; 6 – кислородный баллон; 7 – вентиль; 8 – ротаметр; 9 – штуцер для подачи NO_2 ; 10 – вентиль; 11 – ротаметр; 12 – штуцер для подачи кислорода; 13 – штуцер для вывода кислоты; 14 – гидрозатвор; 15 – емкость для сбора газовой смеси; 16 – склянка Дрекселя с перманганатом калия; 17 – термостат

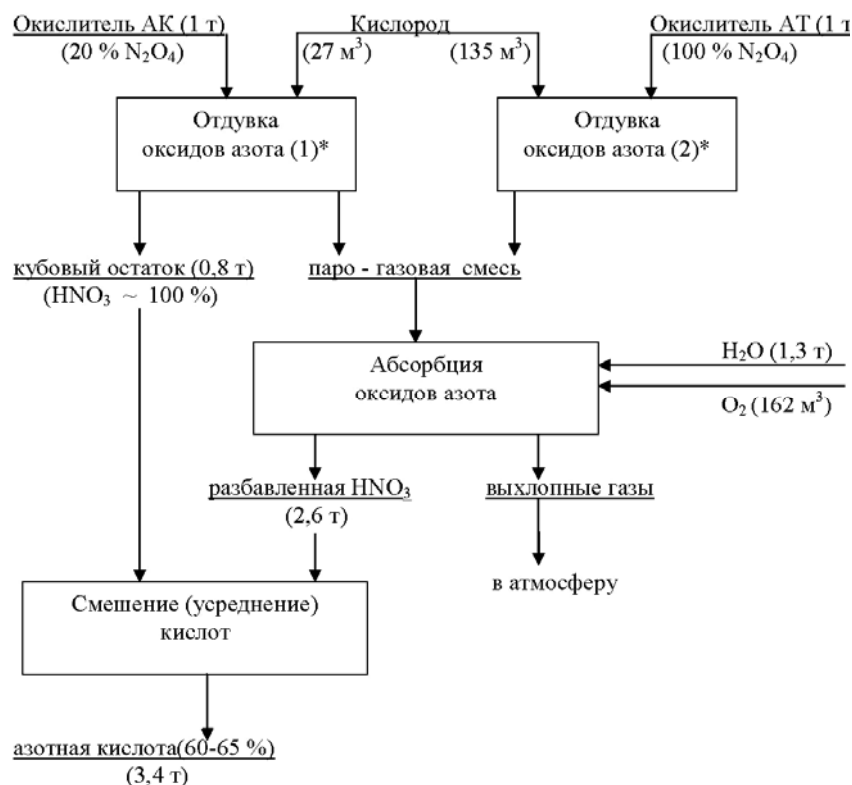


Рис. 2. Технологическая схема утилизации некондиционных окислителей ракетного топлива

Наиболее благоприятен для получения кислоты режим (в). В аналогичных условиях, что и в предыдущем случае, концентрация HNO_3 в продукте повышается до 6 М при содержании азотистой кислоты менее 0,02 М. В газовой фазе содержание оксида азота снижается до 10 мг/м³. Изменения обусловлены увеличением объема газовой фазы в колонне и увеличением времени нахождения окислов азота в аппарате. Поскольку лимитирующей стадией процесса является скорость окисления NO до NO_2 , то рост времени реакции обуславливает увеличение выхода азотной кислоты и снижение концентрации оксидов в сбросной газовой фазе.

Результат является вполне прогнозируемым. В целом на колонке не удастся получить высокие показатели превращения оксидов азота в азотную кислоту. Максимальная степень превращения была достигнута на уровне 90 %. Необходимо рассмотреть вариант перехода абсорбции на более высокое давление с переходом на колонны тарельчатого типа. Для промышленных систем, работающих под атмосферным давлением, степень поглощения оксидов составляет 93–97 %, а при давлении 0,75 МПа – до 99 %.

Температуру отдувки поддерживали в пределах 20–40 °С. Дальнейшее понижение температуры хотя и благоприятно сказывается на процесс, но в то же время требует использования холодильных устройств, что усложняет технологию.

После отдувки оксидов из АК была получена концентрированная (близкая к 100 %) азотная кислота с объемной концентрацией HNO_3 около 24 М. Обе ки-

слоты смешивали, добавляли воды до содержания азотной кислоты 14,5 М (около 65 % масс.).

Для разработки технологического регламента предложена схема получения технической азотной кислоты из меланжа (рис. 2). В настоящее время на лабораторной установке получают кислоту для выщелачивания нефелиновых шламов Ачинского глиноземного комбината при разработке технологии производства активных добавок к бетонным смесям.

Для исследования процессов переработки окислителей АТ и АК-27И была разработана и изготовлена лабораторная установка. Режимы технологии отработывали на колонке, высотой 2 м и диаметром 25 мм из кварцевого стекла, заполненной кварцевыми кольцами Рашига. Отдувку оксидов азота из расходной емкости с окислителем проводили кислородом, с подачей его в среднюю и нижнюю часть колонки. Использование кислорода в процессе получения кислоты открывает возможности по снижению общего давления в реакционных аппаратах и повышению парциального давления кислорода, уменьшению габаритов абсорбционных колонн и снижению объема газовых выбросов.

По результатам отработки процесса получения азотной кислоты 14,5 М (масс. 65 %) из АТ и АК установлены технологические параметры:

- температура отгонки оксидов азота 20–25 °С для АТ и 45–50 °С для АК-27;
- подача смеси оксидов азота и кислорода в среднюю часть колонны с орошением ее водой (колонна заполнена газовой смесью);

– удельный расход технического кислорода (суммарно на отгонку и окисление) на 1 т АТ – 270 м³ и АК – 27 54 м³; вода, соответственно, на каждый по 0,8 м³.

Библиографические ссылки

1. Жидкое ракетное топливо в регионе ОБСЕ: обзор аспектов утилизации. FSC.DEL/443/07/Rev. 2. Russian 23.10. 2008.
2. Спосіб переробкі меланід-окисників ракетного палива : пат. України №67466. Заявл. 03.10.2003 ; опубл. 15.09.2005, Бюл. №9.

3. Создание опытной установки утилизации некондиционного окислителя ракетного топлива / Э. А. Карпович, С. В. Вакал, А. Е. Золотарев, А. Г. Дробат // Экология и здоровье человека. Охрана воздушного бассейна. Утилизация отходов : материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. Харьков : Энергосталь, 2008. Т. II. С. 230–233.

4. Разработка исходных данных на проектирование установки по утилизации окислителя ракетного топлива (меланжа) путем переработки на минеральное удобрение, производительностью 1 тонна меланжа в час : отчет ГосНИИ МИНДИП. Сумы, 2009.

G. L. Pashkov, V. I. Kuzmin, Yu. S. Kononov, Yu. T. Filatov, S. G. Bogdanov

RECYCLING OF OFF-GRADE PROPELLANT OXIDIZERS

The problem of environmentally friendly technology for the recycling of off-grade propellant oxidizers (mélange) is considered. The process scheme for production of nitric acid in a packed absorber as consequence of blowing off nitrogen oxides from mélange with oxygen. Commercial nitric acid (60-65% wt.) is formed as a result of mixture with stillage residue. The basic parameters of the process are presented.

Keywords: waste recycling, nitric acid, nitrogen oxides, mélange, absorption.

© Пашков Г. Л., Кузьмин В. И., Кононов Ю. С., Филатов Ю. Т., Богданов С. Г., 2012

УДК 621.002.3-419

В. Н. Саунин, С. В. Телегин

ПЛАЗМОНАПЫЛЕННЫЕ МАГНИТОДИЭЛЕКТРИКИ

Приводятся результаты исследований по формированию покрытий на основе механической смеси порошков аморфного сплава $Co_{58}Ni_{10}Fe_5B_{16}Si_{11}$ и электрокорунда Al_2O_3 . Изучена морфология, проведен рентгенофазовый анализ покрытий, рассмотрены электрические и магнитные свойства напыленных магнитодиэлектриков с различной степенью ферромагнитного заполнения и разной пористостью.

Ключевые слова: магнитодиэлектрик, плазма, напыление.

Применение в современной радиоэлектронике магнитодиэлектрических материалов обусловлено выгодным сочетанием и особенностями их электрических, магнитных и механических характеристик. Так, по сравнению с массивными ферромагнитными сплавами, магнитодиэлектрики имеют более высокое удельное электросопротивление, низкие потери на вихревые токи, повышенные механические свойства (твердость, износостойкость) [1].

Существующие способы изготовления магнитодиэлектриков сводятся к получению исходного порошка заданной формы и дисперсности, его последующей обработке, приготовлению смеси с каким-либо связующим компонентом (эпоксидные и формальдегидные смолы, полистирол, резина) и формованию. Свойства полученных таким образом изделий определяются не только выбором исходного ферромагнитного сплава, но и микроструктурой материала,

наличием пор, трещин, окисных пленок на поверхности частиц и их анизотропией.

В настоящее время особое внимание уделяется исследованию технологии изготовления и свойствам магнитодиэлектриков, изготовленных из порошков и лент аморфных сплавов. В сравнении с традиционными промышленными образцами магнитодиэлектрики на основе аморфных сплавов обладают более высокими магнитными характеристиками (M_s , μ_0 , H_c), меньшими потерями на перемагничивание, повышенной рабочей частотой и лучшей коррозионной стойкостью. Однако присутствие в магнитодиэлектриках органической связки и ее старение в процессе эксплуатации, особенно при вибрациях, повышенных температурах и радиационном воздействии, приводит к ухудшению их эксплуатационных характеристик, снижению надежности и ограничению области применения.

Устранить указанные недостатки и более полно использовать свойства исходных аморфных сплавов можно путем применения технологии плазменного напыления. Так, напыление магнитодиэлектриков с последовательным чередованием магнитных и диэлектрических слоев либо напыление из композиций магнитных и диэлектрических (например, керамики Al_2O_3) материалов должно обеспечить необходимое сочетание магнитных и электрических характеристик при высокой механической прочности.

Для повышения плотности и однородности плазмонапыленного покрытия авторами разработан способ плазменного напыления [2; 3], схема которого представлена на рис. 1.

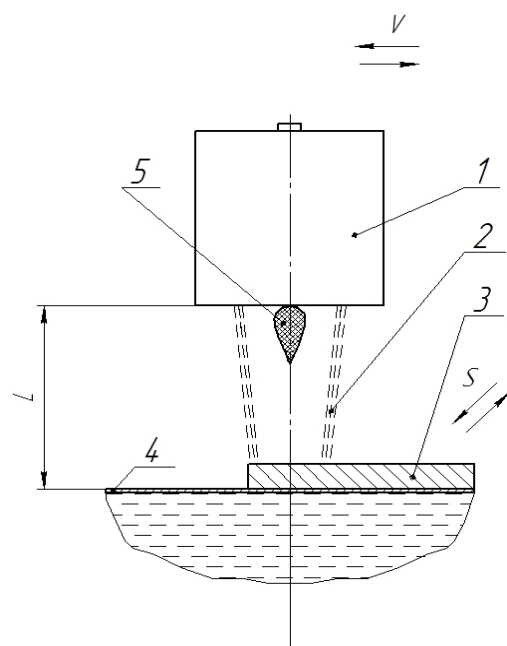


Рис. 1. Схема процесса формирования слоя магнитодиэлектрика

Основой способа является специально разработанная оригинальная конструкция плазматрона 1 [4] с газодинамическим соплом, сформированным кольцевым каналом у среза сопла-анода. При подаче технологического газа – водорода – в кольцевой канал формируется высокотемпературный цилиндрический поток 2, охватывающий плазменную струю. В результате их взаимодействия температура и скорость расплавляемых частиц выравнивается по сечению плазменной струи.

Напыление покрытия 3 осуществлялось на плоскую подложку 4, выполненную из алюминиевого сплава АМг6 толщиной 2 мм, охлаждаемую снизу водой, установленную на дистанции L от среза сопла плазматрона. Порошок транспортирующим газом гелием подавался в плазматрон, нагревался в плазменной струе 5 до температуры плавления и со скоростью, близкой к скорости плазменной струи (~ 300 м/с), переносился к поверхности подложки. При этом расходы плазмообразующего и транспортирующих

газов выбирались из условия стабильной работы плазматрона и максимального коэффициента использования порошка.

Напыление осуществляется сканированием плазменной струей по поверхности напыляемой детали за счет возвратно-поступательного движения плазматрона со скоростью V и смещением подложки на шаг сканирования S .

Рассмотрим электрические и магнитные свойства магнитодиэлектриков с различной степенью ферромагнитного заполнения и разной пористостью [5].

Исследуемые образцы вырезались из отделенных от охлаждаемой основы покрытий.

Компонентами композиции магнитодиэлектрика являлись порошки аморфного сплава $\text{Co}_{58}\text{Ni}_{10}\text{Fe}_5\text{B}_{16}\text{Si}_{11}$ и электрокорунда Al_2O_3 . Выбор соединения Al_2O_3 в качестве диэлектрика определялся тем, что, с одной стороны, этот материал имеет высокие диэлектрические параметры, а с другой – характеризуется известной картиной рентгеновской дифракции, что облегчает анализ структурного и фазового состояния синтезированных образцов.

Величина удельного электросопротивления образцов определялась по данным измерений, проведенных с использованием четырехзондовой методики [6]. Конечные результаты электрических измерений записывались в сравнении с удельным электросопротивлением исходной аморфной ленты, величина которого составила $\rho_0 = 1,4 \cdot 10^{-6}$ Ом·м.

Рентгеноструктурные исследования полученных образцов показали, что они являются многофазными наряду с характерным для аморфного сплава гало с $2\Theta_{\max 1} \sim 45^\circ$ и $2\Theta_{\max 2} \sim 80^\circ$.

Зависимость относительного электросопротивления ρ/ρ_0 от пористости синтезированных аморфных покрытий приведена на рис. 2. Видно, что величина удельного электросопротивления ρ с увеличением пористости покрытий возрастает и превышает аналогичное значение ρ_0 для ленты при $P = 17\%$ более чем в 50 раз.

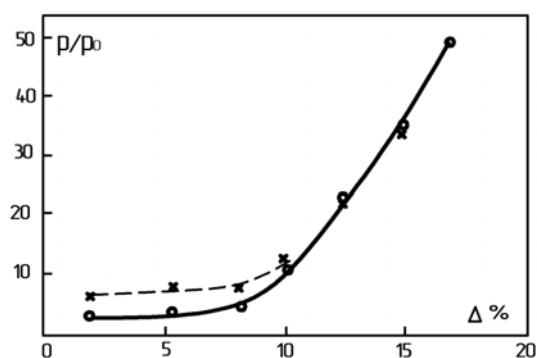


Рис. 2. Относительное изменение удельного электросопротивления ρ/ρ_0 образцов с различной пористостью: $\times$ – с дисперсностью порошка 60...100 мкм; $\circ$ – с дисперсностью менее 40 мкм



а



б

Рис. 3. Микрошлиф покрытия:
а – 8 % Al_2O_3 , увеличение $\times 650$; б – 40 % Al_2O_3 , увеличение $\times 650$

Поскольку напыленное покрытие представляет собой слоистую систему с деформированными частицами аморфного сплава, порами и межчастичными прослойками (рис. 3), то естественно связать наблюдаемое повышение удельного электросопротивления исследуемых образцов с их микроструктурой. Очевидно, что основное влияние на электрические характеристики, особенно при малой пористости P , оказывают узкие щелевые поры между поверхностями частиц и окисные межчастичные границы. С возрастанием роли этих факторов можно связать и наблюдаемое повышение удельного электросопротивления покрытий при уменьшении дисперсности напыляемых порошков.

Характерной особенностью исследуемых образцов являлась анизотропия их электрических свойств. Удельные электросопротивления образцов вдоль плоскости напыления и нормально к ней отличаются в среднем в 2–2,5 раза. С увеличением пористости эта разница уменьшается и при $P > 10\%$ практически полностью исчезает. Анизотропию электрических свойств можно объяснить наличием в напыленных образцах текстуры.

Влияние диэлектрических добавок Al_2O_3 на величину удельного электросопротивления композиций «аморфный ферромагнетик – диэлектрик» показано на рис. 4.

Видно, что эта зависимость является нелинейной и характеризуется резким возрастанием отношения ρ/ρ_0 при содержании Al_2O_3 больше 20–25 %. Дальнейшее повышение весовой доли Al_2O_3 до 50 % приводит к увеличению удельного электросопротивления магнитодиэлектрика почти на пять порядков.

При одинаковом ферромагнитном заполнении удельная электропроводимость пористых образцов оказалась выше, чем у композиционных (рис. 2, 4). Кроме того, диэлектрические добавки Al_2O_3 , вплоть до 10 %, оказывают слабое влияние на величину ρ/ρ_0 . Это можно связать с особенностями микроструктуры

напыленных магнитодиэлектриков, в которых диэлектрические добавки присутствуют в виде частиц и не рассредоточены по межчастичным границам (см. рис. 3).

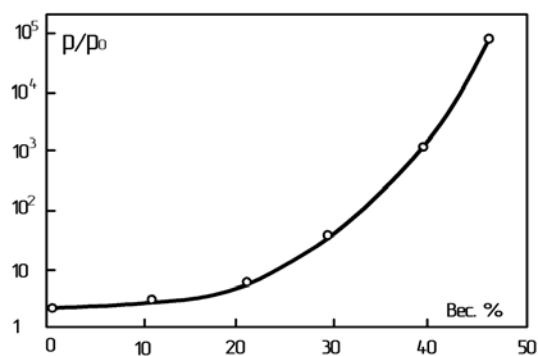


Рис. 4. Относительное изменение удельного электросопротивления магнитодиэлектрика в зависимости от весовой доли Al_2O_3

В работе [7] обсуждалось влияние ферромагнитного заполнения на некоторые магнитные свойства магнитодиэлектриков, в частности, на величину магнитной проницаемости и коэрцитивной силы. Рассмотрим характер изменения основных магнитных параметров материала, таких как намагниченность насыщения M_s , постоянная обменного взаимодействия α , температура Кюри T_c . Зависимости указанных величин от содержания в исследуемых образцах диэлектрической фазы Al_2O_3 приведены на рис. 5. Как и следовало ожидать, намагниченность насыщения M_s с увеличением доли диэлектрика уменьшалась практически линейно и составила 238 Гс при 50 % Al_2O_3 . В то же время намагниченность, отнесенная к единице массы аморфного ферромагнетика, оставалась постоянной (кривая D), что указывает на неизменность его химического состава при плазменном напылении.

Что касается постоянной обменного взаимодействия α и температуры Кюри T_c , то влияния на их значения добавок Al_2O_3 в рассматриваемой области концентраций обнаружено не было. Это свидетельствует о том, что в процессе изготовления магнитодиэлектрика изменений ближнего порядка ферромагнитной фазы не происходит.

Ход кривых удельного электросопротивления ρ и намагниченности насыщения M_s напыленных магнитодиэлектриков в зависимости от содержания Al_2O_3 совершенно различен (см. рис. 4, 5). Это дает возможность определить такие концентрации диэлектрика, при которых достигается необходимое сочетание магнитных и электрических характеристик. Так, например, при концентрации Al_2O_3 , равной 40 %, намагниченность насыщения уменьшается в 1,5 раза, в то время как удельное электросопротивление магнитодиэлектрика возрастает более чем на три порядка.

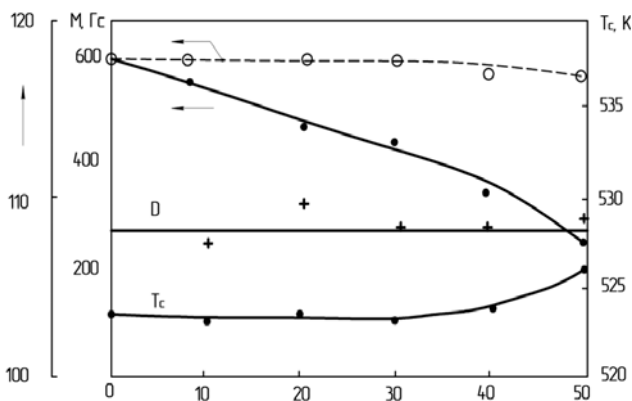


Рис. 5. Зависимости намагниченности (—•), удельной намагниченности (—°), температуры Кюри T_c и спин-волновой жесткости D от весовой доли Al_2O_3

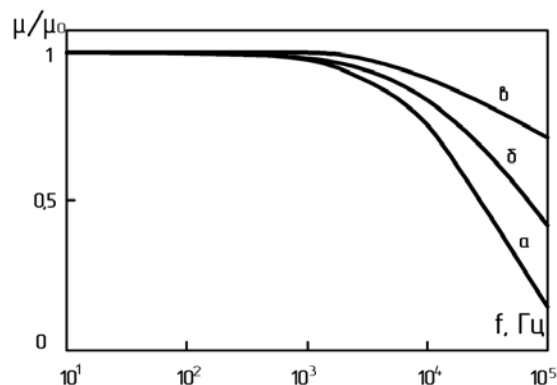


Рис. 6. Частотная зависимость относительной магнитной проницаемости ($H \sim 1$ А/м): α — исходная лента; δ — напыленное покрытие; δ — магнитодиэлектрик

Значительный интерес для практического применения представляют магнитные спектры магнитодиэлектриков. Частотные зависимости магнитной про-

ницаемости ленты, напыленного покрытия (пористостью 8 %) и магнитодиэлектрика (30 % Al_2O_3), изготовленных из сплава $Co_{58}Ni_{10}Fe_5B_{16}Si_{11}$, приведены на рис. 6.

По сравнению с исходной лентой, частотный спад магнитной проницаемости напыленных материалов существенно меньше. Это подтверждает принципиальную возможность изготовления методом плазменного напыления магнитодиэлектриков с повышенным диапазоном рабочих частот.

На основании полученных результатов исследований выявлены морфология плазмонапыленных покрытий магнитодиэлектриков, структура, магнитные и электрические свойства в зависимости от степени ферромагнитного заполнения и пористости.

Установлено следующее:

- напыленное покрытие представляет собой слоистую систему с деформированными частицами аморфного сплава, порами и межчастичными прослойками;

- величина удельного электросопротивления ρ с увеличением пористости покрытий возрастает и превышает аналогичное значение ρ_0 для ленты при $P = 17$ % более чем в 50 раз; удельные электросопротивления образцов вдоль плоскости напыления и нормально к ней отличаются в среднем в 2–2,5 раза;

- зависимость удельного электросопротивления композиций «аморфный ферромагнетик — диэлектрик» является нелинейной и характеризуется резким возрастанием отношения ρ/ρ_0 при содержании Al_2O_3 больше 20–25 %, повышение весовой доли Al_2O_3 до 50 % приводит к увеличению удельного электросопротивления магнитодиэлектрика почти на пять порядков;

- при одинаковом ферромагнитном заполнении удельная электропроводимость пористых образцов выше, чем у композиционных;

- намагниченность насыщения M_s с увеличением доли диэлектрика уменьшается практически линейно и составляет 238 Гс при 50 % Al_2O_3

- зависимости намагниченности насыщения и удельного электросопротивления при различной концентрации диэлектрика позволяют определить необходимое сочетание магнитных и электрических характеристик;

- частотный спад магнитной проницаемости напыленных материалов существенно меньше, чем у исходной ленты.

Данным методом можно изготавливать покрытия высокочастотных магнитных экранов на поверхностях сложной геометрической формы, а также сердечники и магнитопроводы.

Библиографические ссылки

1. Андриевский Р. А., Нуждин А. А. Аморфные и ультрадисперсные порошки и материалы на их основе // Итоги науки и техники / ВШТИ. Серия «Порошковая металлургия». Т. 2. М., 1986. С. 3–64.
2. Пат. 2338004 Российская Федерация, МПК⁸ C23C 4/12. Способ получения массивного аморфного

материала / Саунин В. Н. № 2007106283/02 ; заявл. 19.02.2007 ; опубл. 10.11.2008, Бюл. № 31.

3. Формирование объемных магнитомягких материалов с нано- и аморфной структурой методом плазменного напыления / В. Н. Саунин, С. В. Телегин, В. И. Калита и др. // ФХОМ. 2011. № 1. С. 22–31.

4. Пат. 2276840 Российская Федерация, МПК⁷ НО5Н 1/26, С23С 4/00. Электродуговой плазмотрон Саунина / Саунин В. Н. ; патентообладатель СибГАУ им. М. Ф. Решетнева. № 2004120804/06 ; заявл. 07.07.2004 ; опубл. 20.05.2006, Бюл. № 14.

5. Саунин В. Н., Телегин С. В. Магнитные и электрические свойства магнитодиэлектриков // Теория и практика газотермического нанесения покрытий. Т. 1. Дмитров, 1992. С. 133–135. сосланных

6. Павлов Л. П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов : учебник для вузов. М. : Высш. шк., 1987.

7. Саунин В. Н., Лепешев А. А., Денисова Е. А. Магнитные свойства и структура массивных покрытий на основе Со, полученных плазменным напылением : препринт № 746 Ф. Красноярск : Ин-т физики СО РАН, 1993.

V. N. Saunin S. V. Telegin

PLASMA-SPRAYED MAGNETIC DIELECTRIC

The paper presents the results of studies of formation of coatings on the basis of mechanical mixture of amorphous alloy powders $\text{Co}_{58}\text{Ni}_{10}\text{Fe}_5\text{B}_{16}\text{Si}_{11}$ and fused corundum Al_2O_3 . Morphology is studied, X-ray analysis of coatings is made, electrical and magnetic properties of sputtered magnetic dielectrics with various degrees of ferromagnetic filling and different porosity are considered.

Keywords: magnetic dielectric, plasma, dusting.

© Саунин В. Н., Телегин С. В., 2012

РАЗДЕЛ
4



ЭКОНОМИКА



MAKING INFORMATION TECHNOLOGY STRATEGIC OUTSOURCING DECISIONS

The strategic decision, providing for creation of the information technology (IT), is presented in the article, strategic model of outsourcing and preconditions for taking the strategic decisions are considered.

Keywords: strategic model of outsourcing, strategy, matrix, adoption of effective solutions of outsourcing, key actions, appearing actions, primary activities.

Willcocks et al. article provides a strategic view of outsourcing decisions for Information Technology (IT). While its publication predated the publication of the Strategic Outsourcing Model (SOM) [1], the authors' recommendations conform quite well to that model, as this paper will demonstrate. For reference, the Strategic Outsourcing Model is shown (fig. 1) [1] and Making Effective Sourcing Decisions from the Willcocks et al. paper is shown (fig. 2) [2, p. 61].

As this paper will demonstrate, both models are based on the premise that the important factors in making strategic decisions for an activity are (1) the contribution of that activity to competitive advantage and (2) the strength of the organization's capabilities to perform the activity.

SOM states these factors more explicitly than Willcocks et al. and provides a clearer rationale for decisions based on the activity's location on a competitive-advantage-versus-organizational-strength matrix (fig. 1). Willcocks et al. utilize case studies to discern the proper decision for individual circumstances, but provide only a crude generalized model to explicate their findings (fig. 2).

In this paper, Willcocks et al.'s strategic perspectives and case histories will be related to the Strategic Outsourcing Model.

Comparison of Categories. The Willcocks et al. article gives two categories for an activity by stating:

An IT activity/service can be defined as a *Differentiator* or as a *Commodity*.

Activities which are differentiators provide a potential basis for competitive advantage; executing them particularly well is important to the firm.

An activity is a commodity if its execution does not distinguish the firm from a competitor in business offering and performance terms. This type of activity needs to be done competently, but no more [2, p. 62].

In comparison, SOM posits four categories: (1) Key, (2) Emerging, (3) Basic, and (4) Commodity. The Willcocks et al. article's Commodity category encompasses the SOM's Commodity and Basic categories. Their Differentiator category encompasses the SOM's Key and Emerging categories.

To demonstrate this, we consider Willcocks et al.'s statement:

In practice differentiators can quickly become commodities as competitors catch up or the basis of competition changes [2, p. 62].

Thus, differentiators are closely related to SOM's Emerging and perhaps Key categories. In SOM, it is stated that an activity in the Emerging category can become Basic or even Commodity, depending on developments in the industry regarding the ability for that activity to become a source of competitive advantage. The same might be true for a Key activity, though it is less likely to fall into those lower categories except perhaps for the passage of time and changes in the competitive framework.

The positing of the SOM Emerging category for some of Willcocks et al.'s differentiator IT activities becomes clearer when one considers their statements:

Looking at technical factors, a particularly critical issue is that of technological maturity. The concept of technological maturity derives from research by Feeny, Earl and Edwards. An organization is low on technology maturity when any of the following conditions apply:

- the technology is new and unstable in functions, specification, and performance;
- a well-established technology is being used in a radically new application;
- the organization has little in-house experience in implementing this technology in this application.

New technology/low maturity implies high uncertainty about future IT needs [2, p. 63].

As for Willcocks et al.'s commodity activities, those need to be performed, but are not sources of competitive advantage. In SOM, such activities can be true Commodities, wherein there is no strategic advantage (and perhaps strategic disadvantage) to performing the activity in-house, or the activity can be Basic meaning that it might or might not be performed in-house depending, among other reasons, on the capabilities of the firm in conducting that activity.

Furthermore, similar to SOM, Willcocks et al. discuss the firm's capabilities to perform an activity as an important consideration in determining the strategic approach for the firm to take. Consider their following statement:

A final factor relates to in-house technical capability. This factor is distinguishable from 'technological maturity' on two counts.

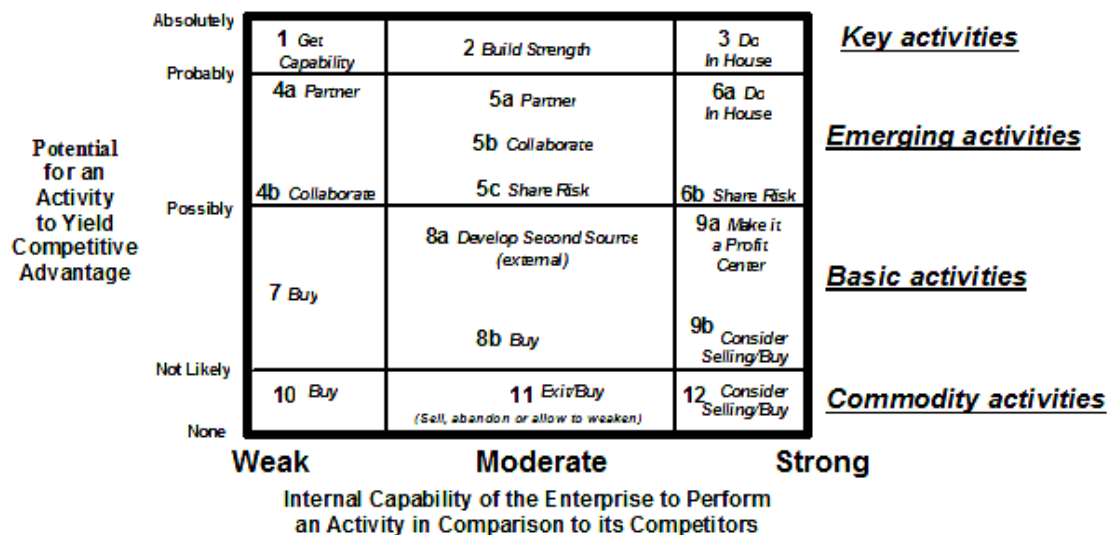


Figure 1

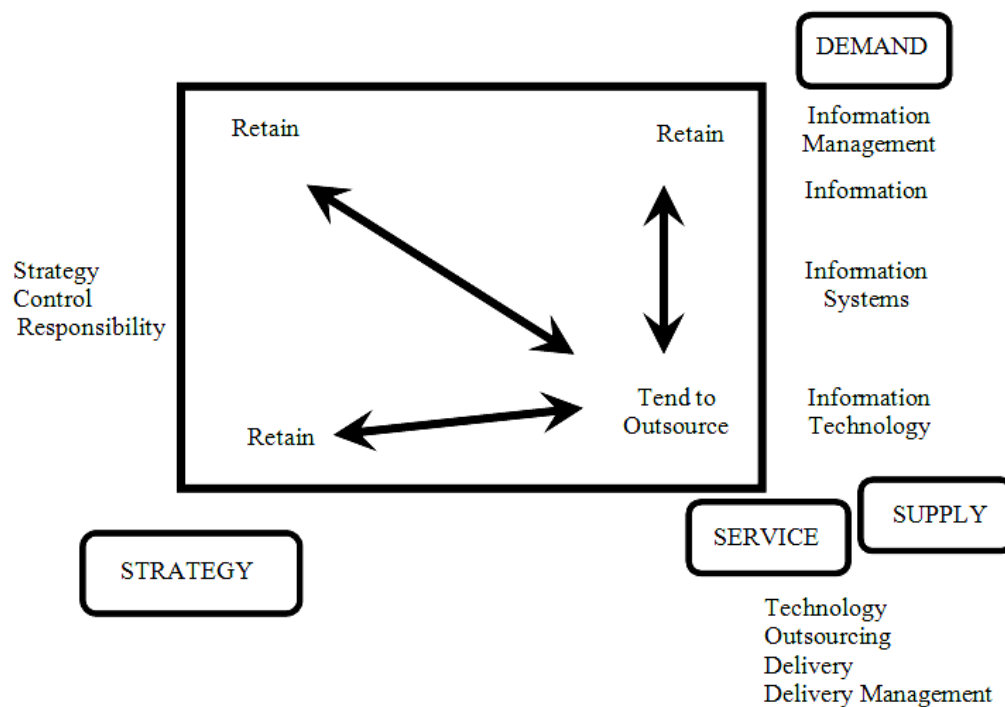


Figure 2

Firstly, it is the in-house capability relative to that available on the IT service market that is important, not just the level of in-house technical capability itself. Secondly, the cost of utilizing in-house capability, including opportunity costs, as compared to the price of using equivalent capacity from the external market is also an important factor [2, p. 64].

As with Willcocks et al., the second dimension that SOM considers, in addition to competitive advantage, is the strength of the in-house capability.

Finally, it should be stated clearly that SOM does not “force” organizations to make the recommended strategic choices that are identified in the SOM matrix. The purpose of the matrix is to make suggestions that must be evaluated and tested against reality. Similarly, Willcocks et al. state:

In this section we advance the decision-making process further by examining the trade-offs that organizations need to make on the critical variables in order achieve effective decisions. The decisions arrived at

then need to be tested against the 'Reality Check' outlined in the next section.

Our research helps us to identify what makes effective outsourcing decisions in 30 case histories [2, p. 64].

SOM also speaks of a "reality check" for its suggested strategic approaches and is an important step in the outsourcing decision process.

Discussion of the Case Histories. This paper will discuss a number of the case histories from the Willcocks et al. article and will relate their findings and recommendations to those that are found when applying the SOM matrix.

P. and O. European Ferries. The first case we consider is P. and O. European Ferries.

In P and O European Ferries the central reservation system processes up to 12,000 customer reservations a day. The system is not only integral to most of the company's operations. It also gives it a distinct, and possibly sustainable, competitive advantage over other ferry companies operating on the same routes. In this case the system is run in-house [2, p. 62].

Based on this information, we would place the central reservation system in the Key and Strong position of the SOM matrix (Position 3), and the recommendation is to Do In-house, the same as Willcocks et al.

BP Exploration and the Civil Aviation Authority. The second case is BP Exploration and the Civil Aviation Authority.

An activity is a commodity if its execution does not distinguish the firm from a competitor in business offering and performance terms. This type of activity needs to be done competently, but no more. At BP Exploration and Civil Aviation Authority, for example, the computerized financial accounting systems have been outsourced to Arthur Andersen, the accountancy firm and IT consultancy. In BP Exploration's case the 1991 £55 million four-year contract covers accounting services and transfer of 250 staff, as well as related computer systems [2, p. 62].

Civil Aviation Authority outsourced their accounting systems to Arthur Andersen in the early 1990s on a contract to 1995. The difference was that, in the market testing phase, the vendor was chosen primarily for its greater expertise rather than on cost saving criteria as well [2, p. 65].

The information on BP's computerized financial accounting system is sketchy, but it might be reasonable to assume that it is of high quality, considering that BP is quite a strong firm. If that is the case, then the system would be placed in the Basic and Strong position of the SOM matrix (Position 9b) with the recommendation being to Consider Selling/Buying. That is what BP did.

As for the Civil Aviation Authority, the fact that the vendor was chosen for its greater expertise may place the Authority's capability rating in the Moderate category and thereby place it in the Basic and Moderate position of the SOM matrix (Position 8b) with the recommendation being to Consider Selling/Buying. By the way, "Selling" means selling the capability (or spinning it off) and then

"Buying" it from the marketplace. In BP's case, they sold and then bought. In the Civil Aviation Authority's case, they bought and then redeployed in-house resources to higher value projects.

Willcocks et al. provide examples when outsourcing makes sense, even when in-house capabilities are strong.

High relative in-house capability will suggest keeping IT services in-house. However, one major UK retailer, for example, tends to redeploy in-house expertise on to developmental work and outsource what has been identified as 'low value' IT tasks, for example data processing. As at 1994, United Biscuits and ICI ran highly efficient data centres in-house, but constantly evaluated their costs against what is available from third party suppliers [2, p. 64].

Whether one classifies the data processing activities described for the "major UK retailer" or United Biscuits or ICI as Basic or Commodity in the SOM matrix, the recommended approach is to Consider Selling/Buying (Positions 9b or 12) when in-house capability is Strong.

W. H. Smith. Willcocks et al. next discuss the outsourcing of a commodity activity.

An illustrative case here is the outsourcing (to DEC) of telecommunications networks at W H Smith, the UK retail and distribution chain. A discrete technology and service identified as non-core was outsourced because a vendor could provide a similar or better service at lower cost. Future business uncertainty was adjudged low in this case as long as the contract was for three years, with an option to renew for a further two. Cost savings of between 20–30 % per annum have been achieved on this contract [2, p. 65].

In SOM, telecommunications networks (for a retailer) would be a Commodity service and from the information provided, W H Smith appeared to be Weak in this area based on the statement that a vendor could provide better service at lower cost. As a result, this activity for W H Smith would be placed in the Commodity and Weak position of the SOM matrix (Position 10) where the recommendation is to Buy, which is what W H Smith did.

North West Thames Regional Health Authority. Willcocks et al. move on to deal with what they call "Mixed Case" Scenarios.

Organizations that are successful in applying an 'incremental' approach to outsourcing invariably are found to have applied the criteria detailed above to their early contracts. However, when looking across the portfolio of IT/IS applications, activities and services that an organization has, it is unlikely that circumstances for many of the items will be so clear cut in their pointers for decision-making as those outlined in our first two scenarios. In practice we have found most organizations taking a selective approach to outsourcing. North West Thames Regional Health Authority has been a successful practitioner of selective outsourcing. Here mainframes and data centres were outsourced, together with IT staff, to Sema Group in April 1991. The staff had high experience with the relevant technology, a fairly short term (5 year) contract was signed to minimize risk but

also because the systems had limited usefulness beyond 1995, and the outsourced assets, including staff, were considered 'non-core'. Outsourcing also offered prospective cost savings. Essentially NW Thames were not outsourcing a problem here, and this is a typical pattern amongst the more successful contracts we have studied [2, p. 65–66].

In SOM, the activities that NW Thames outsourced were considered by the firm to be Basic, and the staff had high experience, which would imply a Strong capability. In this case, the activity would be placed in Position 9b of the SOM matrix, and the recommendation would be to consider Selling/Buying, which is what they did.

The North West Thames Regional Health Authority case had some other aspects. Certain other items were outsourced separately on *ad hoc* contracts. One of these was applications development. Here, though in-house technology maturity was low, it was felt that no great specialist skills or NHS knowledge was required by the vendor because the policy was to move to packages already available rather than commission new development work.... The development of a Wide Area Network for the RHA, however, was seen as a strategic project involving highly interconnected systems and potentially touching many users within the Health Authority. It was retained in-house, the aim being to build up in-house skills on this technology. A 'Buy-In' (or 'insourcing') strategy was pursued here. To balance the outsourcing, further elements identified as 'core' were retained in-house. These included IT/IS planning, liaison, training and consultancy and ability to manage the outsourcing contracts. Where these were inadequately resourced a strategy of 'insourcing' IT capability, basically recruiting experienced staff, was adopted [2, p. 66].

There are three separate activities discussed in the preceding paragraph. The first is the outsourcing of applications development, the second is the development of a wide area network, and the third involves the management functions needed to work in an outsourcing/in-sourcing environment. For the applications development described, it appears that the applications were already available in the marketplace, so most likely this activity would be categorized as a Commodity in the SOM. Since it is stated that in-house technology maturity was low, it appears that NW Thames was Weak in this area. According to SOM, this activity would be placed in Position 10 of the matrix, and the recommendation would be to Buy, which is what NW Thames did.

As for the second activity – the development of a wide area network for the RHA – the Authority viewed this activity to be a provider of competitive advantage i. e., what they called a "strategic project"). That would place it in the Key category. Furthermore, we learn that the in-house capabilities needed to be built up in order to perform this activity, so the initial capabilities were Moderate or Weak. The SOM matrix would place this activity in Position 1 or 2, and the recommendations would be to Get Capability or Build Strength, respectively. That appears to be what NW Thames did, as

it is stated that they recruited experienced staff for this activity.

Finally, the third activity – the management functions needed to work in an outsourcing/in-sourcing environment, which they describe as including IT/IS planning, liaison, training and consultancy, and ability to manage the outsourcing contracts – the most likely position is Key according to SOM, since the Authority was highly dependent on IT/IS and, since some of the IT/IS would be outsourced and some in-sourced, its management would be highly important to the organization. From the brief description, it appears that the capability would be classified as Moderate, and NW Thames hired personnel to fill in gaps in their capability. Placing this activity in the Key and Moderate position on the SOM matrix (Position 2), the recommendation is to Build Capability, which they did.

Pilkington. Willcocks et al. discuss the Pilkington case next.

Pilkington, the UK-based glass manufacturer, provide an illustration of selective outsourcing within Pilkington as a whole (manufacturing systems were left largely under in-house IT staff) but almost total outsourcing at Pilkington Head Office. The situation in 1991/2 was one of considerable business and organizational change, devolution of the business, and the head office being slimmed down. Head Office IT was outsourced to EDS. The items outsourced consisted firstly of the ageing data centre mainframes and most of the IT staff, including the IT manager, who became the vendor's account manager. This was seen as a positive move, guaranteeing continuity and minimizing the risk. Pilkington knew who they were dealing with and also had guarantees that transferred staff would stay working on this contract.

More unusually, as part of the deal, Pilkington also outsourced applications development of new office and network systems. Pilkington were low on skills here. We have found that generally the more effective arrangement in these circumstances for development work is to use a 'Buy-In' approach. This is certainly the case in Quest International, for example, where in several 1990s contracts vendors were seen as team members who help to build up in-house development capability. Pilkington looked to the vendor to provide additional skill/expertise through training transferred staff, and bringing new staff on to the contract... This outsourcing approach has proved successful because of action taken to minimize its risks. Pilkington knew the vendor staff and account manager-the relationship side was fairly secure and guaranteed some flexibility. Secondly there was a short term contract. Thirdly, Pilkington made sure it would own the assets being developed. Fourthly, Pilkington retained in-house capability to manage the contract. More broadly, Pilkington identified as 'core', and retained, their ability to manage strategy, contracts and business knowledge, together with a pool of technical skill needed to control the overall architecture of the company [2, p. 66].

The comment about keeping manufacturing systems largely in-house reflects the view that these are Key

activities, which the SOM matrix recommends should be done in-house. As for outsourcing Pilkington's Head Office IT, we can conclude that the IT activities at the Head Office were mainly basic and, from the description provided, the IT capabilities of the Head Office were Weak, most notably in the data center mainframes, or Moderate when speaking about the IT staff. By transferring the IT manager and staff to EDS, Pilkington enabled them to be in a stronger environment. Considering SOM, the Head Office IT activity would be placed in the Basic and Weak or Moderate categories (Positions 7, 8a or 8b), and the recommendation would be to Buy the activity (Positions 7 or 8b), or to Develop a Second Source (Position 8a), which is what Pilkington did.

In terms of application developed, it created a second source by transferring most of its IT people to EDS and then buying back their services. But note that Pilkington kept a pool of technical talent to manage and control the overall architecture and also Pilkington made sure that it would own the assets being developed, indicating that some of these assets, at least, were perceived to be Possibly Sources of Competitive Advantage (referring to the SOM matrix), which is why Position 8a seems more appropriate to this situation.

NV Philips. The next case involves NV Philips. Willcocks et al. state that this case demonstrates the concept of a "Total Outsourcing" decision and discuss the true manifestation of such a concept.

When talking about effective decisions, in several ways the phrase 'total outsourcing' must be a misnomer. Generally speaking in effective 'total' outsourcing contracts 'strategic differentiators' would not be outsourced; 'strategic commodities' might well be. Of course there can be mistakes in definition, but generally speaking companies will recognize most of IT/IS as 'non-core' before they decide on the 'total outsourcing' route. However, case study evidence from Huberg and Lacity and Hirschheim support our own findings that where all IT/IS is deemed 'noncore' and outsourced, there always have to be certain IT/IS capabilities left in-house.

This was recognized at NV Philips, the electronics manufacturer. From the mid-1980s the company consolidated and rationalized its IT capability. Business exigencies required shedding of labour and non-core activities. As a prelude to total outsourcing Philips pulled out of its in-house IT department some 100 business systems analysts and put them back into the businesses that made up the company. This meant that each business had its own IT capability on the demand side. Philips then outsourced all its software and systems development, including 180 related staff, through forming a separate partly owned company in a joint venture with a Dutch software house. Philips also outsourced all its communications and processing capability, including some 140 staff, through setting up another partly-owned company that could sell its service on the open market.

...Philips have outsourced IT supply but have retained in-house capability to define business demand. Also there

is a central management capability to define strategy, identify and coordinate IT/IS needs across the Group, provide internal consultancy and manage contracts. The risks of total outsourcing are also ameliorated by the 'vendors' being partly owned and highly dependent on business from Philips. Also there are strong pre-existing mutual relationships and business knowledge held by client and vendors [2, p. 66–67].

The NV Philips case gives a clear example of the situation where a company has Strong capability in a Basic area. This situation is classified as Basic on the assumption that the activities were business processes rather than technical activities. According to the SOM matrix, those activities could be placed in Positions 9a (Make it a Profit Center) or 9b (Consider Selling/Buying). In setting up one company in a joint venture with a Dutch software house for all its software and systems development, NV Philips was Selling / Buying in accordance with Position 9b. In setting up a second, partly-owned company for all of its communications and processing capability that could sell its service on the open market, it was Making a Profit Center in accordance with Position 9a. Once again, we find that the company retained internal expertise in order to effectively manage its internal needs (Key) within an outsourcing environment.

The concepts and case studies of the Willcocks et al. article provide further support for the Strategic Outsourcing Model. The difference between the model put forward by Willcocks et al. and the SOM is that the Willcocks et al. model is very situational, i.e., if this situation, then that action.

The SOM provides a clearer theoretical basis for making outsourcing decisions by focusing the decision maker's attention on two factors – contribution to competitive advantage and strength of the organization's capabilities. Using those two factors, the decision maker can locate a position on a matrix where a suggested strategic approach is found. Those suggested approaches can bring to mind some areas for consideration, but always require a "reality check" prior to taking actions.

The Strategic Outsourcing Model was developed by and validated on the experiences of management decision makers, so it comes as no surprise that the decisions demonstrated in the Willcocks et al. article are consistent with the model. However, as with all theories and models, there is a need to continually test them against real-world data. As such, the Willcocks et al. article is a valuable resource.

References

1. Insinga Richard C., Werle, Michael J. Linking Outsourcing to Business Strategy // The Academy of Management Executive. November. 2000.
2. Willcocks L., Fitzgerald G., Feeny D. Outsourcing IT: The Strategic Implications // Long Range Planning. Vol. 28. № 5. Elsevier Science Ltd., 1995.

Р. К. Инсинга

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В статье приводится стратегическое решение, обеспечивающее создание информационной технологии (ИТ), рассматривается стратегическая модель аутсорсинга и предпосылки для принятия стратегических решений.

Ключевые слова: стратегическая модель аутсорсинга, стратегия, матрица, принятие эффективных решений сорсинга, ключевые действия, появляющиеся действия, основные виды деятельности.

© Insinga R. C., 2012

УДК 330.322.3

Е. Ю. Алексеева

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Рассматриваются принципы формирования стратегии социальной инфраструктуры. Вводятся дополнительные принципы, учитывающие особенности социальных инвестиций. Конкретизировано содержание предложенных принципов с учетом выявленных особенностей развития социальных отраслей на современном этапе, а также форм их проявления.

Ключевые слова: принципы инвестирования, социальная инфраструктура, оценка эффективности инвестиций, критерий оценки эффективности, инвестирование в социальную инфраструктуру, распределение ограниченных бюджетных средств.

В начале 90-х гг. XX в. произошли события, полностью изменившие существующую ранее систему, как политическую, так и экономическую. Рыночная система хозяйствования, зародившаяся в России в результате происходящих перемен, создала абсолютно новые условия для жизни людей: государственная собственность сменилась частной, государственное планирование экономики сменил рынок, тотальный государственный контроль был заменен предпринимательской способностью. Новая экономическая система задала свой вектор дальнейшего развития страны, определив свои правила и принципы, регламентирующие хозяйственную деятельность субъектов и формирующие определенные нормы к экономическим сферам жизнедеятельности людей. Сложившаяся экономическая формация, современное состояние социальной сферы, обусловленное переходом к рыночным отношениям, и связанные с этим закономерности и тенденции развития социальной инфраструктуры требуют пересмотра принципов оценки эффективности социальных инвестиций.

Изучение принципов формирования стратегии социальной инфраструктуры проводилось на основе анализа современных научных представлений об оценке эффективности инвестиций. Изучение их содержания, безусловно, представляет теоретический и практический интерес, однако не может быть исчерпывающим с точки зрения формирования принципов выбора стратегии развития социальной инфраструктуры в современных условиях.

Сформулированные различными авторами принципы формирования стратегии социального развития учитываются при принятии управленческих решений в отношении эффективного распределения ограниченных бюджетных средств. Однако современные условия требуют их детализации и уточнения с учетом существующих особенностей и закономерностей развития социальной инфраструктуры.

Анализ существующей литературы позволил выделить основные принципы формирования стратегии социальных отраслей. Рассмотрим состав предложенных принципов, а также их содержание.

1. Равенство субъектов региона в определении потребности населения муниципальных образований в объектах социальной сферы – заключается в необходимости равноправного распределения объектов социальной сферы между населением различных территорий.

2. Эффективность использования средств краевого бюджета, предусматривающая достижение нормативной обеспеченности объектами социальной сферы при минимальных объемах вложений бюджетных средств, – заключается в оптимальном распределении выделяемых средств регионального бюджета для решения задач выравнивания и/или доведения до нормативного уровня обеспеченности объектов социальной сферы.

3. Достоверность исходных данных и прозрачности процедуры определения потребности и объемов капитальных вложений в объекты социальной сферы

– прозрачность процедуры предполагает использование единых методов и критериев оценки эффективности социальных инвестиций при решении задач распределения капитальных вложений, а также открытость информации о результатах такого распределения.

5. Системность оценки, предполагающей учет всего комплекса показателей, оказывающих существенное влияние как на величину потребности, так и на объем капитальных вложений, – заключается в комплексном учете всей совокупности факторов, оказывающих влияние на эффективность осуществляемых капитальных вложений в объекты социальной сферы.

6. Адаптация используемой входной информации к возможностям существующей статистической отчетности – заключается в возможности использования имеющейся информации для решения задачи оценки эффективности инвестиций в социальную сферу на основе предполагаемых критериев и методов.

Рассмотренные принципы не учитывают особенностей социальных инвестиций с точки зрения источников их формирования, закрепления за соответствующим уровнем бюджета, территориального размещения объектов социальной инфраструктуры. В связи с этим возникла необходимость введения дополнительных принципов.

Содержание предложенных в работе принципов конкретизировано с учетом выявленных особенностей развития социальных отраслей на современном этапе, а также форм их проявления. Особенности, предопределившие принципы формирования стратегии социальной инфраструктуры, а также их содержание, представлены в табл. 1.

Определение объемов и источников инвестирования в социальную сферу во многом зависит от состояния объектов, территориального размещения, а также их профильной направленности. В связи с этим решение задачи оценки эффективности и распределения ограниченных бюджетных ресурсов в значительной степени обусловливается принятой классификацией объектов социальной инфраструктуры [1].

Существенный разрыв между уровнем обеспеченности и источниками финансирования не позволяет говорить о возможности доведения уровня обеспеченности объектов социальной инфраструктуры до

нормативного уровня обеспеченности в планируемый период. Поэтому возникает необходимость поэтапного доведения объектов социальной отрасли до уровня государственных нормативов обеспеченности и решения данной задачи на стратегическом уровне. Этим обусловлена необходимость введения такого принципа, как учет стратегического характера развития объектов социальной инфраструктуры.

Накопление финансовых возможностей, обеспеченных ростом объемов ВВП, создает условия для развития социальной сферы. Однако ограниченность финансовых ресурсов, направляемых на эти цели, а также альтернативность вариантов инвестирования в отрасли социальной инфраструктуры, делает актуальным решение задачи разработки методического инструментария выбора стратегии развития социальной инфраструктуры, обеспечивающего оптимальное распределение ограниченных бюджетных средств, направляемых на цели социального развития.

Ограниченность ресурсов актуализирует задачу эффективного распределения ограниченных бюджетных средств, направляемых на цели социального развития.

Существует значительное количество подходов для решения данной задачи как в науке, так и в практике. Вместе с тем сбалансированное решение поставленной задачи, отвечающее определенным критериям эффективности, возможно на основе использования методов стратегического планирования [2]. Однако при любом из подходов, которые могут быть использованы для решения поставленной задачи, возникает проблема выбора стратегии развития социальной инфраструктуры. Как уже отмечалось, использование этого метода предполагает введение обоснованного критерия выбора стратегии социального развития, позволяющего поэтапно решить задачу распределения ограниченных бюджетных средств на цели социального развития [3].

Оценка эффективности распределения средств в социальную сферу должна учитывать природу социальных инвестиций. Представляется, что наиболее приемлемым является подход, основанный на том, что результатом может стать изменение показателя обеспеченности населения объектами социальной инфраструктуры.

Таблица 1

Принципы формирования стратегии социальной инфраструктуры

Особенности развития социальной сферы	Принципы
Многопрофильность отраслей, различный характер инвестирования и территориального размещения объектов социальной сферы	Принцип декомпозиции объектов социальной сферы
Высокий уровень износа и несбалансированность объектов социальной сферы, недостаточность бюджетных ресурсов	Поэтапность доведения объектов социальной сферы до уровня государственных нормативов обеспеченности
Неопределенность и непредсказуемость параметров развития социальной сферы	Учет стратегического характера развития объектов социальной инфраструктуры
Бюджетный дефицит и многовариантность инвестирования социальных инвестиций при наблюдающемся росте объема ВВП	Оптимальность распределения социальных инвестиций

При этом превышение данного показателя над его нормативным значением не следует рассматривать в качестве результата, поскольку нормативный уровень определяет общественно необходимые затраты на обеспечение. Таким образом, в качестве критерия выбора стратегии развития социальной инфраструктуры может быть принят показатель объема социальных услуг, необходимого для достижения им нормативного уровня обеспеченности, приходящийся на единицу вложений в объект социальной сферы.

Формально критерий выбора стратегии развития социальной инфраструктуры может быть определен отношением прироста уровня обеспеченности объектов социальной сферы к объему вложений [4]:

$$K_{\text{соц.эфф.}ij} = \frac{g_{ij}}{S_{ij}}$$

где g_{ij} – прирост уровня обеспеченности j -го объекта i -й социальной сферы; S_{ij} – объем дополнительных вложений в j -й объект i -й социальной сферы.

Критерий предполагает использование нормативов на уровне государственных стандартов. Вместе с тем состояние социальной сферы, объемы инвестирования, направляемые на развитие объектов социальной инфраструктуры, не позволяют решить задачу эффективного распределения ограниченных бюджетных средств. В связи с этим возникает необходимость разработки стратегий развития объектов социальной инфраструктуры. Однако практика использования данного критерия показывает, что сумма средств, выделяемых на социальную сферу в планируемый период, как правило, не позволяет достигнуть установленных нормативов за данный период времени. В связи с этим необходимо решить задачу определения нормативных значений относительно состояния социальной сферы, суммы средств и целей стратегического развития территорий. В работе предложены нормативы обеспеченности объектов социальной сферы, установленные с учетом выбранной стратегии развития этих объектов. Таким образом, решение поставленной задачи сводится к выбору стратегии развития социальной сферы. Использование данного метода позволит определить варианты стратегий для развития объектов социальной инфраструктуры, с помощью которых будет определена соответствующая нормативная база, отвечающая не установленным государственным стандартам, а условиям реализации определенной стратегии.

Стратегия социального развития должна быть разработана с учетом особенностей функционирования социальной инфраструктуры определенного региона. Учитывая специфику данной отрасли, был проведен анализ факторов, определяющих основные закономерности и тенденции развития социальной инфраструктуры. В ходе анализа были выделены следующие факторы, влияющие на развитие социальной инфраструктуры: темп ввода и вывода объектов, уровень износа, динамика спроса на социальные услуги, объем финансирования и другие. Изучение данных факторов позволило систематизировать и определить взаимосвязь между ними. В результате систематизации этих факторов был сделан вывод, что их совокупное влияние в значительной степени может быть учтено двумя показателями: уровень обеспеченности и объем финансирования. Формирование стратегии также должно учитывать основные цели развития территорий, определяемые нормативно – правовыми документами и программами развития. Выявленные факторы и приоритеты развития социальной отрасли были учтены при разработке инструментов стратегического развития социальной инфраструктуры.

Сформулированные принципы подлежат учету, как при решении задачи оценки эффективности социальных инвестиций, так и распределении инвестиций между объектами социальной сферы.

Библиографический список

1. Алексеева Е. Ю., Фирсова Т. В. Классификация объектов социальной инфраструктуры // Решетневские чтения : материалы IX Междунар. науч. конф. Красноярск, 2005.
2. Алексеева Е. Ю. Принципы формирования портфеля социальных инвестиций // Экономика и эффективность организации производства : материалы XVI Междунар. науч.-прак. интернет-конф. ; БГУ. Брянск, 2011.
3. Алексеева Е. Ю., Балабанова Н. В. Критерии и методы выбора вариантов инвестирования в социальную сферу // Известия вузов. Серия «Экономика, финансы и управление производством». 2011. Вып. 4. С. 77–81.
4. Ерыгин Е. Ю., Алексеева Е. Ю. Инструменты стратегического планирования социальных инвестиций // Вестник СибГАУ. 2011. № 3 (36). С. 173–176.

E. U. Alexeeva

PRINCIPLES OF FORMATION OF STRATEGY OF SOCIAL INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT

The author considers principles of formation of strategy of social infrastructure. The additional principles which take into account features of social investments are entered. The content of the offered principles is defined concretely with the account of the revealed features of development of social sectors at the present stage, and forms of their demonstration.

Keywords: investment principles, the social infrastructure, assessment of efficiency of investments, criterion of assessment of efficiency, investment to the social sphere, distribution of the limited budgetary funds.

© Алексеева Е. Ю., 2012

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рассматриваются принципы планирования инновационного воспроизводства основных производственных фондов предприятий ракетно-космической промышленности.

Ключевые слова: принципы планирования, инновационное воспроизводство, основные производственные фонды.

Несмотря на наличие в ракетно-космической промышленности (РКП) целого ряда серьезных проблем, состояние производственной базы предприятий, потеря технологий, высокий моральный и физический износ активной части основных производственных фондов – словом, все то, что называется производственным потенциалом РКП, вызывает наибольшую озабоченность как руководства комплекса, так и представителей основного заказчика – Минобороны России.

В 1990-е гг. произошло качественное изменение характера воспроизводства основных производственных фондов. Процесс старения основных фондов (особенно активной части) стал определяться недопустимо низкими для современной экономики темпами выбытия устаревшего оборудования и такими же низкими темпами ввода нового капитала. Ракетно-космическая промышленность является одним из лидеров по проценту изношенности ОПФ – 60 %, в то время как ежегодный темп обновления основных фондов снизился до уровня менее 1 % (при норме 7–10 %), в целом по предприятиям ракетно-космической промышленности износ основных фондов основного вида деятельности составляет 56–57 %, а машин и оборудования – около 77 %.

В последние годы наблюдается рост бюджетных ассигнований на развитие РКП с усилением их инвестиционной направленности. На таком фоне естественным выглядит желание руководства РКП провести массовое техническое и технологическое перевооружение предприятий. Но обновление основных производственных фондов предприятий ВПК – задача по масштабам финансирования вполне сопоставимая с ГПВ, соответственно, во главу угла неизбежно встает вопрос о минимизации затрат и повышении эффективности использования бюджетных средств.

По оценкам специалистов мир находится на пороге очередной военно-технической революции, которая должна привести к значительному качественному рывку в модернизации действующих ныне образцов ВВТ, появлению принципиально новых видов оружия, которые будут базироваться на новых физических принципах и новых наукоемких технологиях.

Стратегией развития ракетно-космической промышленности до 2015 г. предусмотрен рост объемов производства в 2015 г. – 220 % к уровню 2005 г. Доля инновационной продукции в общем объеме ракетно-

космической промышленности в 2015 г. составит 55 % против 35 % в 2005 г. Доля продукции РКП на мировом рынке производства ракетно-космической техники к 2015 г. должна достигнуть 15 %. Целями стратегии являются создание ракетно-космического комплекса, отвечающего современным требованиям обеспечения военной безопасности, увеличение доли отечественных компаний на мировом рынке ракетно-космической продукции и услуг, сохранение научного потенциала ракетно-космической промышленности.

Одной из целей стратегии является преодоление «существенного технологического отставания от развитых стран», в результате чего к 2015 г. доля нового промышленного оборудования (до десяти лет) на предприятиях отрасли должна возрасти до 33–35 % с нынешних 3 %.

Таким образом, необходимость обеспечения инновационного развития РКП, изменчивость экономической среды ее функционирования и высокий уровень неопределенности принимаемых решений обуславливают необходимость совершенствования инструментов и методов стратегического управления воспроизводством ОПФ предприятий с учетом инновационной составляющей.

Важнейшим составным элементом методологии стратегического планирования инновационного воспроизводства основных производственных фондов (ОПФ) являются методологические принципы, под которыми понимаются исходные положения, основополагающие правила формирования и обоснования планов. Они обеспечивают целенаправленность, целостность, определенную структуру и логику разрабатываемых стратегических планов.

Современное состояние ракетно-космической промышленности, существующие тенденции, выявленные особенности деятельности и цели ее развития позволили сформулировать принципы инновационного воспроизводства ОПФ, реализация которых в первую очередь связана с необходимостью совершенствования методологии и инструментария планирования инновационного воспроизводства. Высокий уровень неопределенности и изменчивости факторов внешней и внутренней среды, характерный для современного этапа развития экономики, устойчивый рост которой может быть обеспечен только путем развития инновационной сферы, приводит к необходимости внедрения и дальнейшего развития инстру-

ментов и методов стратегического планирования в практику планирования инновационного воспроизводства на предприятии. Инновационная стратегия воспроизводства ОПФ становится важным фактором повышения конкурентоспособности и сохранения производственного и инновационного потенциала предприятий РКП.

Методологические принципы планирования инновационного воспроизводства ОПФ должны учитывать существующие особенности и цели развития предприятий РКП, опираться на разработанные теоретические положения и выявленные закономерности, устанавливать общие правила разработки и эффективного функционирования этой подсистемы. Формирование совокупности принципов планирования инновационного воспроизводства ОПФ на предприятии позволяет разработать методику планирования, адекватно отражающую реальные взаимодействия и особенности, характерные для объекта исследования. В связи с этим в ходе проводимого исследования были изучены и проанализированы основные принципы внутрифирменного планирования, предлагаемые различными специалистами. Состав принципов, рассматриваемых различными авторами, неодинаков, что вполне объяснимо, так как он определяется исходя из особенностей объекта исследования, уровня и целей планирования. В ряде случаев эти различия вызваны тем, что содержание определенного принципа одного автора выражено двумя и более принципами другого автора. Так, содержание принципов *единства* и *координации* у М. М. Алексеевой [1] выражено в принципе *комплексности* у М. И. Бухалкова, В. И. Борисевича [2], Г. А. Кандауровой, Н. Н. Кандаурова, А. И. Ильина [3] и некоторых других. В других случаях одинаковые по содержанию принципы имеют различные названия. В частности, тот же принцип *комплексности* у И. В. Сергеева называется принципом *взаимной увязки и координации*, а принцип *достаточности* у В. С. Иозайтиса – принципом *точности* у других авторов. А. П. Завлин, понимая возросшую роль стратегического планирования, вводит дополнительный принцип *доминирования стратегических аспектов*, а Е. А. Черныш по тем же причинам вводит принцип *приоритетности*. А. П. Градов, учитывая неравновесный характер экономических систем, предлагает принцип *эквифинальности*. В. И. Борисевич, принимая во внимание усложнение экономической среды и возросший уровень непредсказуемости поведения экономических систем, вводит принцип *адекватности*, в соответствии с которым предъявляются требования к адекватному отражению экономико-математическими моделями реальных процессов. Содержание принципов планирования может зависеть также от объекта планирования. Например, принцип *участия*, предложенный Р. Л. Акоффом, может быть скорректирован применительно к планированию инновационной деятельности на предприятии. Так, принимая во внимание характеристику четвертого этапа развития инновационного менеджмента, возникает необходимость вовлечения в процесс планирования

не только персонала предприятия, но и потенциальных потребителей нового продукта и других заинтересованных лиц.

Изучение и анализ содержания рассматриваемых различными авторами принципов планирования, безусловно, представляет теоретический и практический интерес, однако вряд ли может быть исчерпывающим с точки зрения формирования принципов планирования инновационного воспроизводства ОПФ предприятий РКП. Вне всяких сомнений, существующие методологические разработки должны быть учтены, но состав принципов и их содержание в первую очередь будут определяться на основе учета существующих особенностей деятельности, предъявляемых требованиях к процессу планирования воспроизводства ОПФ предприятий РКП.

В соответствии с особенностями деятельности и требованиями к планированию были определены основные методологические принципы стратегического планирования инновационного воспроизводства ОПФ предприятий РКП (табл. 1).

Содержание отдельных принципов конкретизировано с учетом выявленных закономерностей воспроизводства ОПФ предприятий РКП, а также форм их проявления. Наряду с этим несколько принципов было внесено дополнительно, содержание каждого из которых было раскрыто. К их числу следует отнести сбалансированность, учет научно-технического прогресса, адаптивность, тождества. Далее рассмотрим содержание сформулированных принципов планирования инновационного воспроизводства ОПФ предприятий РКП.

1. *Научная обоснованность* – базируется на учете существующих законов и тенденций развития воспроизводства ОПФ. Заключается в научно обоснованном использовании инструментов и методов при принятии решений, имеющих существенное значение для разрабатываемых планов инновационного воспроизводства ОПФ.

2. *Учет научно-технического прогресса* – заключается в учете непрерывного изменения, развития и совершенствования средств труда, технологии и организации производства.

3. *Иерархичность* – заключается в построении взаимоувязанных планов по уровням воспроизводства ОПФ и организации управления.

По уровням воспроизводства и организации управления структурирование осуществляется по уровням сложности, то есть результаты планирования на вышележащем уровне планирования накладывают ограничения на результаты планирования нижележащего уровня.

4. *Комплексность* – заключается в увязке планов воспроизводства ОПФ по формам (натуральная и стоимостная), по стадиям процесса воспроизводства (привлечение, использование и восстановление) и по уровням воспроизводства (общественное и индивидуальное).

5. *Непрерывность* – определяет процесс планирования как непрерывный, когда на смену одному вы-

полненному плану приходит другой новый план, а на смену второму – третий и т. д. В процессе воспроизводства ОПФ осуществляют непрерывное движение, последовательно проходя три стадии: превращение денежного капитала в производительный, производительного в товарный и товарного в денежный.

6. *Оптимальность* – заключается в нахождении наилучшего варианта плана воспроизводства ОПФ из всего множества допустимых решений, формирование которых осуществляется, как правило, на основе использования экономико-математических моделей.

Оптимизация может быть условной и безусловной. При условной оптимизации должна приниматься во внимание ограниченность используемых ресурсов,

при этом ограничения могут носить физический и экономический характер.

Этот принцип тесно связан с принципами иерархичности, комплексности и релевантности. Связь с принципами иерархичности и комплексности заключается в том, что при нахождении локальных оптимальных решений по отдельным планам, находящимся в определенной иерархии, должно соблюдаться достижение глобального оптимума по интегральному плану. Связь с принципом релевантности заключается в том, что моделирование экономических процессов с целью поиска оптимального решения должно осуществляться для планов, результаты которых являются наиболее значимыми для достижения поставленной цели.

Особенности деятельности предприятий РКП, требования и методологические принципы стратегического планирования инновационного воспроизводства ОПФ

№ пп.	Особенности деятельности предприятий РКП	Требования к стратегическому планированию инновационного воспроизводства ОПФ предприятий РКП	Методологические принципы стратегического планирования воспроизводства ОПФ предприятий РКП
1	Высокая наукоемкость, высокая технологичность производственных процессов и создаваемых изделий, высокие инновационные возможности	Планирование должно быть направлено на обеспечение инновационного воспроизводства ОПФ	Научная обоснованность, учет научно-технического прогресса, целенаправленность, динамичность, альтернативность, тождество
2	Зависимость деятельности предприятий РКП от государственного заказа	Планирование должно быть ориентировано на обеспечение в первую очередь выпуска продукции ГОЗ	Релевантность, целенаправленность
3	Возрастание роли конверсии в обеспечении устойчивого развития предприятий РКП и финансировании инноваций	Планирование должно быть ориентировано на обеспечение выпуска ГОЗ и продукции гражданского назначения	Оптимальность, комплексность, сбалансированность, гибкость
4	Интеграция предприятий РКП	Планирование должно предусматривать концентрацию инвестиционных ресурсов для решения задач воспроизводства ОПФ	Интегративность, комплексность, декомпозируемость, иерархичность
5	Сложность, уникальность и высокая стоимость изделий	Планирование должно быть направлено на снижение затрат воспроизводства ОПФ	Оптимальность, альтернативность, эффективность, критериальность
6	Длительность производственного цикла	Планирование должно обеспечивать сокращение длительности производственного цикла за счет внедрения более производительного оборудования, обеспечения пропорциональности, параллельности, непрерывности, ритмичности производственного процесса	Эффективность, сбалансированность, адаптивность
7	Непрерывное повышение требований к качеству, надежности, ресурсу изделий, а также к культуре производства	Планирование воспроизводства ОПФ должно обеспечивать повышение качества, надежности изделий	Точность, тождество, адаптивность
8	Малая серийность изделий в производстве	Планирование должно обеспечивать компьютеризацию, гибкость и мобильность производства, обновление технологического парка оборудования	Динамичность, гибкость, адаптивность, тождество
9	Различные организационно-правовые формы предприятий РКП	Планирование должно ориентироваться на расширение форм источников инвестиционных ресурсов воспроизводства ОПФ	Альтернативность, целенаправленность, оптимальность, декомпозируемость, эффективность, гибкость

7. *Релевантность* – реализуется на двух уровнях: *первый* означает необходимость учета наиболее значимых факторов при разработке плана воспроизводства ОПФ; *второй* предполагает большую детализацию и поиск оптимальных решений для тех планов, которые имеют существенное значение для достижения целей и задач планирования.

8. *Гибкость* – придание планам и процессу планирования инновационного воспроизводства ОПФ способности менять свою направленность в связи с возникновением непредвиденных обстоятельств. Она предполагает наличие альтернативных вариантов плана, ориентированных на различные значения параметров внешней и внутренней среды. Принцип диктует наличие механизма изменения плановых величин, т. е. их возможную корректировку для адаптации к изменившимся обстоятельствам бизнеса. Кроме того, гибкость в планировании означает наличие определенных резервов или «надбавок на безопасность», которые должны амортизировать результаты работы при ухудшении условий деятельности.

9. *Альтернативность* – предполагает выбор оптимального решения из всего множества допустимых альтернатив (вариантов воспроизводства ОПФ). В корреспонденции с принципом гибкости альтернативность предполагает наличие оптимальных альтернатив соответствующим возможным отклонениям параметров управляемой системы.

10. *Целенаправленность* – предполагает определение и структурирование целей и задач, соответствующих предмету исследования, учитывающих особенности объекта и обеспечивающих решение выявленных проблем. Следует различать цели развития и функционирования экономической системы. Особенностью инновационного воспроизводства является преобладание цели развития и, соответственно, разработки планов развития.

При формулировании цели функционирования системы индивидуального воспроизводства ОПФ необходимо помнить о двойственности форм кругооборота основных производственных фондов (натуральная и стоимостная), это обуславливает одновременное осуществление двух относительно независимых целей воспроизводства.

Цель для кругооборота в натуральных формах заключается в обеспечении наличия в необходимом месте средств труда с такими потребительскими свойствами, которые соответствуют рыночным потребностям в количественных и качественных параметрах конкретного продукта. Следовательно, цель воспроизводства средств труда в натуральной форме – обеспечение достаточной для производства продукции величины производственной мощности.

Цель для кругооборота основных производственных фондов в стоимостных формах заключается в обеспечении наличия требуемого объема авансируемого основного капитала и обеспечения средств для текущих расходов по стадиям натурального кругооборота основных производственных фондов.

11. *Критериальность* – заключается в разработке критерия или нескольких критериев, отражающих степень достижения как локальных целей и задач инновационного воспроизводства ОПФ, так и глобальных. Таким образом, декомпозиция критерия является следствием декомпозиции целей и задач. Это позволяет получить некоторую совокупность критериев, находящихся в определенной иерархии. Интегральный критерий, полученный на основе учета декомпозиции целей и задач, является следствием реализации принципа интегративности.

12. *Декомпозируемость* – заключается в необходимости структурирования целей и задач планирования воспроизводства ОПФ. Этот принцип может переходить как в принцип динамичности при декомпозиции процесса воспроизводства ОПФ во времени по стадиям кругооборота и формам воспроизводства, так и в принцип иерархичности при декомпозиции процесса по уровням воспроизводства ОПФ.

13. *Динамичность* – заключается в необходимости учета изменения параметров системы во времени (временного фактора), предполагая декомпозицию процесса во времени с целью получения оптимального графика реализации воспроизводства ОПФ.

14. *Интегративность* – заключается в построении интегрального плана, критерий которого согласуется с критериями частных планов, полученных в результате реализации принципа декомпозируемости системы планов.

15. *Точность* – заключается в разработке инструментов, методов и моделей, адекватно отражающих процесс воспроизводства ОПФ с учетом характера информации наиболее релевантных внутренних и внешних факторов. Реализация этого принципа достигается повышением уровня определенности исходной информации (повышение точности прогнозов) и / или использованием более сложных инструментов и методов принятия решений, согласующихся с характером входной информации (имитационные модели, стохастические модели и т. д.).

16. *Адаптивность* – заключается в способности плана воспроизводства ОПФ приспосабливаться к изменениям факторов внешней и внутренней среды, характеризующихся неопределенностью.

17. *Тождество* – заключается в необходимости приведения рассматриваемых альтернатив (вариантов воспроизводства ОПФ) к сопоставимому виду при проведении оценки их сравнительной эффективности.

18. *Эффективность* – необходимость в процессе инновационного воспроизводства ОПФ обеспечить снижение затрат на единицу продукции и повышение производительности труда.

19. *Сбалансированность* – указывает на необходимость обеспечения в процессе воспроизводства сбалансированности пропускной способности взаимосвязанных групп оборудования, участков и цехов, а также сбалансированную загрузку оборудования и рабочих мест.

Предложенные принципы, на наш взгляд, в значительной степени решают методологические проблемы

стратегического планирования инновационного воспроизводства ОПФ предприятий РКП.

Библиографические ссылки

1. Алексеева М. М. Планирование деятельности фирмы : учеб. пособие. М. : Финансы и статистика, 2003.

2. Борисевич И. В., Кандаурова Г. А. Планирование и прогнозирование экономики : учеб. пособие. М. : Интерпрессервис ; Эксперспектива, 2001.

3. Ильин А. И. Планирование на предприятии : учеб. пособ. М. : Новое знание, 2000.

A. A. Boiko

METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF PLANNING OF INNOVATION REPRODUCTION OF BASIC PRODUCTION ASSETS OF THE ROCKET AND SPACE INDUSTRY

The principles of planning of innovative reproduction of fixed assets of rocket and space industry.

Keywords: principles of planning, innovative reproduction, basic foundations of the production.

© Бойко А. А., 2012

УДК 330

А. И. Бородин

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассмотрено понятие «потенциал предприятия» и на этой основе разработана его экономико-математическая модель, позволяющая учесть особенности потенциала предприятия как управляемой подсистемы и количественно оценить его реализованную и нереализованную части. Предложенная модель в перспективе позволяет ввести систему оптимального управления потенциалом предприятия.

Ключевые слова: управление, потенциал, предприятие, стратегия, развитие, сбалансированная система показателей.

Переход к новому механизму хозяйствования значительно повысил актуальность исследования и выявления рыночных возможностей предприятия, которые наиболее полно выражает понятие «потенциал предприятия». От умения правильно использовать располагаемые возможности в решающей мере зависит эффективность функционирования предприятия, темпы и качество развития его бизнеса. В этой связи большое значение приобретают выявление и количественная оценка потенциала предприятия, его реализованной и нереализованной частей. Указанные обстоятельства актуализируют необходимость теоретического решения совокупности задач, как в части методологии, так и в части инструментальной оценки потенциала предприятия, его математического моделирования.

Начиная с 1980 г. опубликовано много работ, раскрывающих различные аспекты понятия «потенциал предприятия». Большинство из них отмечают важность изучения проблемы оценки потенциала и содержат существенные различия в его определении. В определении понятия «потенциал» в основном преобладает ресурсный подход. Например, такой подход принят в работах [1; 2]. Л. В. Давыдов, давая нестрогое и неформализованное определение, также исходит из чисто ресурсного подхода [3]. Авторы достаточно углубленно раскрывают это понятие и рассматривают

графоаналитическую модель потенциала предприятия, не формализуя его определение. Они отмечают, что потенциал предприятия – это сложная, динамическая система и к его элементам можно отнести все, что связано с функционированием и развитием предприятия. С авторами следует полностью согласиться. Но, заметим, на структуру потенциала предприятия они смотрят как на некую агломерацию. Вероятно, в этой связи в работе не дано математического определения понятия «потенциал предприятия». Кроме того, приведенный в работе подход не показывает, как количественно выявить реализованную и нереализованную части потенциала, и не учитывает влияние потребителей продукции и факторов обучения и роста на потенциал предприятия.

Большой интерес представляет работа, где авторы предприняли попытку представить потенциал предприятия в виде функциональной зависимости от совокупности факторов, которая, в принципе, одновременно раскрывает структуру потенциала [4]. При этом они справедливо замечают, что потенциал предприятия нельзя рассматривать как простую сумму компонентов, его составляющих, ибо в любой производственной системе «происходит сложное взаимодействие составляющих потенциала системы». Кроме того, потенциал предприятия ставится в зависимость не только от располагаемых ресурсов, как это делает

подавляющее большинство авторов, но и от организации системы и влияния среды.

Подводя итог кратко проведенному анализу определения понятия «потенциал», отметим следующее: 1) проблема формализованного определения понятия «потенциал предприятия» и его математического моделирования в настоящее время своего окончательного решения не нашла и требует дальнейших исследований и теоретического решения комплекса задач как методологического, так и методического плана; 2) математически потенциал предприятия должен быть выражен функцией, назовем ее *потенциальной*, множества взаимозависимых факторов, которые, в свою очередь, зависят от факторов второго порядка; 3) элементы этого множества должны системно отражать все многообразие влияющих процессов и факторов различной природы, связей и отношений, существующих как внутри предприятия, так и во внешней среде, а также связей и отношений предприятия с внешней средой; 4) каждый элемент рассматриваемого множества факторов должен быть представлен в форме, которая позволяет количественно отражать его влияние на потенциал предприятия; 5) потенциальная функция должна позволять аналитически определять реализованную и нереализованную части потенциала предприятия и его компонентов.

Целью статьи является раскрытие идеи математического моделирования потенциала предприятия на основе: а) обобщенного формализованного определения понятия «потенциал предприятия»; б) использования множества показателей сбалансированной системы показателей (ССП) [5], которые наиболее полно и всесторонне (то есть системно) отражают все многообразие влияющих на потенциал факторов; в) выделения реализованной и нереализованной частей потенциала и составляющих его компонентов.

При этом в силу ограниченности объема вопросы структуризации и классификации потенциала предприятия здесь не рассматриваются.

Определим математически понятие «потенциал предприятия» следующим образом. Потенциал предприятия – это случайная или детерминированная скалярная величина $\varphi_{\text{пп}}$, характеризующая реализованные и нереализованные возможности предприятия при достижении им совокупности поставленных целей в процессе своего функционирования и представляющая собой скалярную или векторную функцию (потенциальную функцию) $f(K, t)$ множества факторов K , характеризующих деятельность предприятия, и времени t , то есть $\varphi_{\text{пп}} = f(K, t)$, где $K = \{k_1, k_2, k_n\}$; k_i – i -й фактор; n – число факторов. В многомерном пространстве факторов потенциал предприятия представляет собой точку, а проекции вектора, проведенного из начала координат в эту точку, на оси координат отражают степень влияния (векторную долю) каждого фактора на положение этой точки в рассматриваемом пространстве и, следовательно, на величину потенциала предприятия. Проекция этого вектора на оси координат являются в определенном смысле компонентами потенциала предприятия (рис. 1).

Множество факторов с их наименованиями и степенью (долей) влияния каждого из них на потенциал предприятия, а также размерность факторного пространства отражают структуру потенциала предприятия.

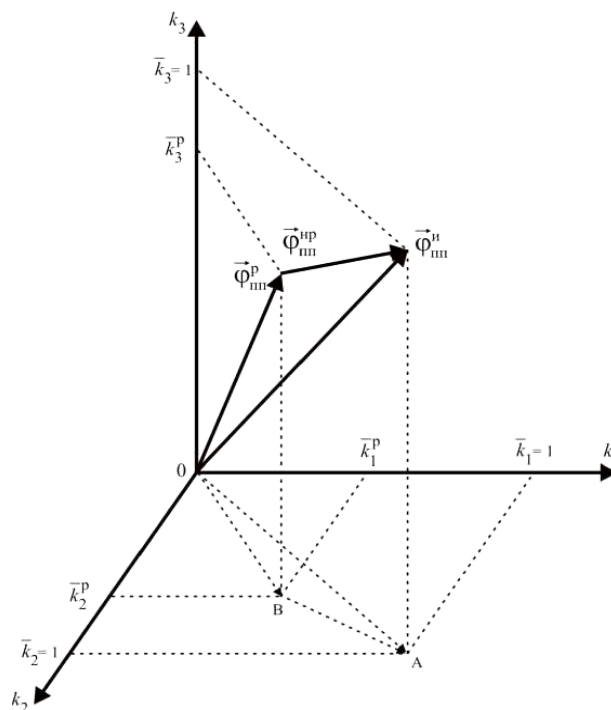


Рис. 1. Иллюстрация определения реализованной и нереализованной частей потенциала предприятия

Рассмотренное определение позволяет раскрыть функциональную взаимосвязь компонентов потенциала предприятия; учесть, опираясь на использование ССП, множество влияющих факторов; выявить реализованную и нереализованную части потенциала и составляющих его компонентов.

Пусть, не теряя общности, некоторый потенциал определяется тремя факторами, влияние которых отражают показатели k_1 , k_2 и k_3 , и пусть известны максимальные (или средние) по отрасли значения этих показателей. Тогда, нормируя текущие значения показателей k_1 , k_2 и k_3 на их максимальные по отрасли значения, получим нормированные значения $\bar{k}_1$, $\bar{k}_2$ и $\bar{k}_3$ этих коэффициентов. Вполне очевидно, что максимальные нормированные значения этих показателей соответствуют идеальному случаю и равны единице, то есть $\bar{k}_1 = 1$, $\bar{k}_2 = 1$ и $\bar{k}_3 = 1$. В реальном случае нормированные значения показателей $\bar{k}_1^{\text{р}}$, $\bar{k}_2^{\text{р}}$ и $\bar{k}_3^{\text{р}}$ меньше единицы. Отложив значения показателей $\bar{k}_1$, $\bar{k}_2$ и $\bar{k}_3$ и $\bar{k}_1^{\text{р}}$, $\bar{k}_2^{\text{р}}$ и $\bar{k}_3^{\text{р}}$ на соответствующих осях, построим векторы $\vec{\varphi}_{\text{пп}}^{\text{н}}$ и $\vec{\varphi}_{\text{пп}}^{\text{р}}$.

Тогда: а) конец вектора $\vec{\varphi}_{\text{пп}}^{\text{н}}$ определяет положение точки, соответствующей максимально возможной в данных условиях величине потенциала, а его модуль – величину потенциала в идеальном случае; б) конец вектора $\vec{\varphi}_{\text{пп}}^{\text{р}}$ определяет положение точки, соответ-

вующей значению реализованного потенциала в тех же условиях, а его модуль – величину реализованного потенциала, определяемого нормированными значениями $\bar{k}_1^p, \bar{k}_2^p$ и $\bar{k}_3^p$ показателей k_1, k_2 и k_3 соответственно.

Величину нереализованного потенциала можно определить как разность векторов:

$$\bar{\varphi}_{пп}^{нр} = \bar{\varphi}_{пп}^{н} - \bar{\varphi}_{пп}^p.$$

Модуль вектора $\bar{\varphi}_{пп}^{н}$ потенциала в n -мерном пространстве в идеальном случае определяется выражением

Модуль вектора $\bar{\varphi}_{пп}^p$ реализованного потенциала в n -мерном пространстве определяется выражением

$$|\bar{\varphi}_{пп}^{н}| = \sqrt{\bar{k}_1^2 + \bar{k}_2^2 + \dots + \bar{k}_n^2} = \sqrt{1^2 + 1^2 + \dots + 1^2} = \sqrt{n}$$

Модуль вектора $\bar{\varphi}_{пп}^p$ реализованного потенциала в n -мерном пространстве определяется выражением

$$|\bar{\varphi}_{пп}^p| = \sqrt{\left(\bar{k}_1^p\right)^2 + \left(\bar{k}_2^p\right)^2 + \dots + \left(\bar{k}_n^p\right)^2} \leq \sqrt{n}$$

Модуль вектора $\bar{\varphi}_{пп}^{нр}$ нереализованного потенциала в n -мерном пространстве определяется выражением

$$\begin{aligned} |\bar{\varphi}_{пп}^{нр}| &= \sqrt{\left(\bar{k}_1 - \bar{k}_1^p\right)^2 + \left(\bar{k}_2 - \bar{k}_2^p\right)^2 + \dots + \left(\bar{k}_n - \bar{k}_n^p\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(1 - \bar{k}_1^p\right)^2 + \left(1 - \bar{k}_2^p\right)^2 + \dots + \left(1 - \bar{k}_n^p\right)^2}. \end{aligned}$$

Таким образом, сформулированное определение потенциала характеризует, с одной стороны, способность предприятия функционировать и практически использовать имеющиеся возможности (вектор $\bar{\varphi}_{пп}^p$), с другой, – отражает возможности развития предприятия (вектор $\bar{\varphi}_{пп}^{нр}$). Это позволяет количественно оценить реализованные и нереализованные возможности.

Как видно из приведенного определения, потенциал предприятия – это сложное образование, динамически развивающееся по определенным законам. В общем случае на потенциал предприятия влияют: а) форма предпринимательства и адекватная ей организация предприятия; б) объем и качество имеющихся в его распоряжении ресурсов и резервов, располагаемого капитала; в) основные фонды; г) способности и качества руководящего состава и работников; д) информационные и инновационные возможности предприятия.

Влияние этих факторов отражается в значениях соответствующих показателей, например, в значениях финансово-экономических коэффициентов. Поэтому в целях эффективной оценки экономического состояния и, следовательно, эффективного управления потенциалом предприятия целесообразно использовать ССП, предложенную Робертом Капланом и Дэвидом Нортон и достаточно подробно рассмотренную в работе [5]. Суть этой системы кратко раскрывается двумя основными положениями: а) одних финансово-

экономических показателей для системного описания состояния предприятия не достаточно, их необходимо дополнить другими показателями; б) данная система показателей может быть использована не просто как комплексный индикатор состояния предприятия, а как база для принятия решений по управлению потенциалом предприятия.

С помощью ССП состояние предприятия полно и всесторонне описывается по четырем направлениям деятельности предприятия: 1) финансовому направлению; 2) потребительскому направлению; 3) направлению внутренних процессов и 4) направлению обучения и роста. Каждое из этих направлений ССП характеризуется соответствующей группой достаточно большого количества показателей. Показатели каждого из четырех направлений по своей сути отражают соответствующий компонент потенциала предприятия. Поэтому, используя ССП, потенциал структурно можно представить четырьмя компонентами: потенциалом финансового направления; потенциалом потребительского направления; потенциалом направления внутренних процессов и потенциалом направления обучения и роста. В свою очередь, каждый показатель каждого направления ССП также отражает соответствующий потенциал. Следовательно, потенциал каждого направления также представим некоторым множеством компонентов. Таким образом, потенциал предприятия при управлении его состоянием с использованием ССП имеет сложную структуру. При этом сложность структуры потенциала может развиваться в зависимости от потребностей решаемой исследователем задачи.

Рассмотрим формирование потенциала предприятия с использованием ССП согласно предложенному определению потенциала (рис. 2). Не теряя общности, будем предполагать, что состояние каждого из направлений можно оценить с помощью 2–3 показателей. Пусть, например, потенциал а) финансового направления (рис. 2, а) определяется значениями показателей ликвидности, платежеспособности и рентабельности; б) потребительского направления (рис. 2, б) – значениями показателей престижности, качества товара и выгодности долгосрочного сотрудничества; в) направления обучения и роста (рис. 2, в) – значениями показателей, характеризующих отношения в коллективе и типичные интересы людей, степень удовлетворенности трудом и производительность труда; г) направление внутренних процессов (рис. 2, г) – значениями показателей, характеризующих инновационный процесс и регулярные бизнес-процессы, а также потенциалом обучения и роста.

Тогда потенциал предприятия $\bar{\varphi}_{пп}$ можно определить как векторную сумму (рис. 2, д) потенциалов финансового направления $\bar{\varphi}_{фп}$, потребительского направления $\bar{\varphi}_{пп}$ и направления внутренних процессов $\bar{\varphi}_{нвп}$, то есть

$$\bar{\varphi}_{пп} = \bar{\varphi}_{фп} + \bar{\varphi}_{пп} + \bar{\varphi}_{нвп}.$$

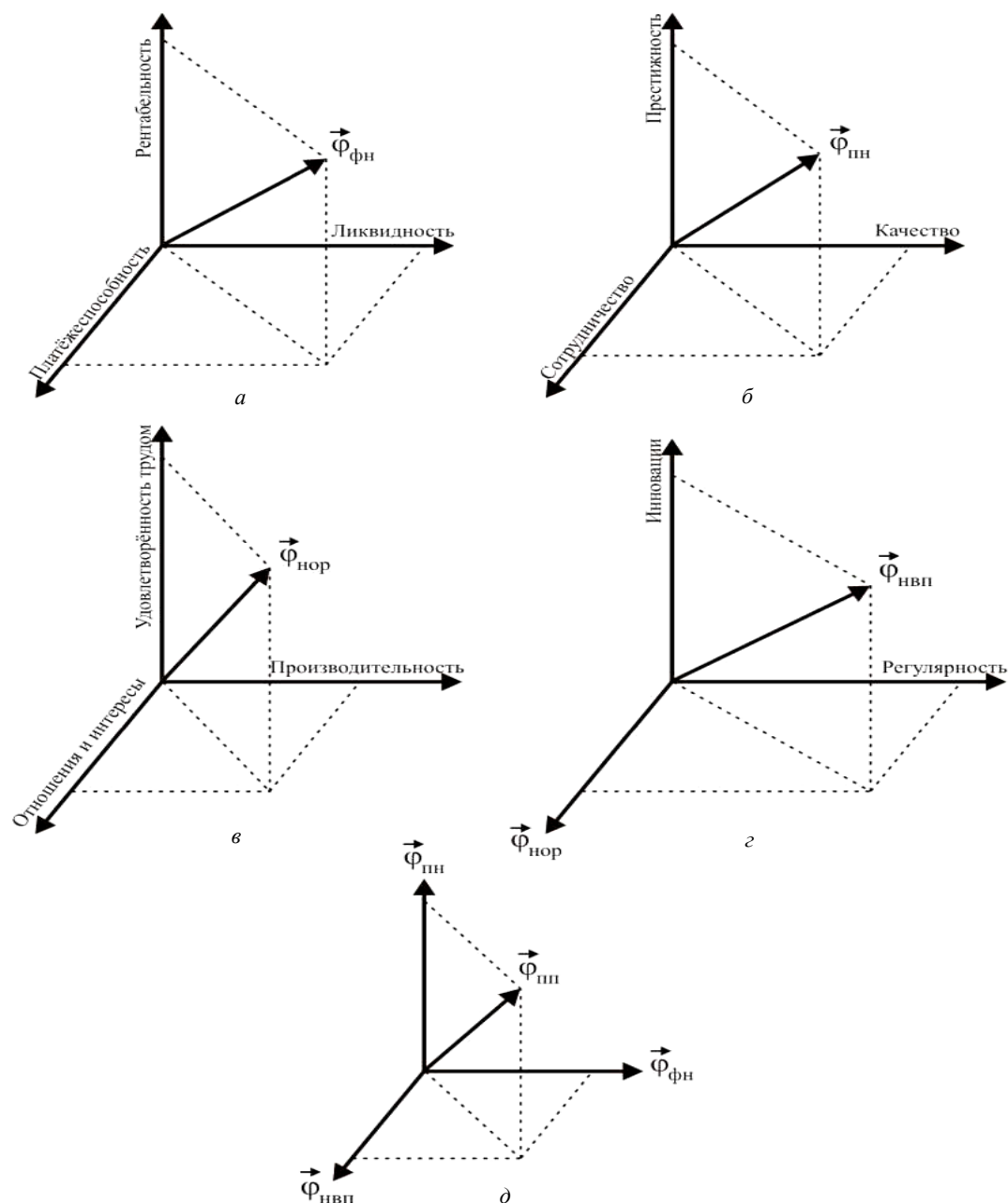


Рис. 2. Формирование потенциала предприятия с использованием сбалансированной системы показателей

Концы векторов $\vec{\Phi}_{\text{пн}}$, $\vec{\Phi}_{\text{фн}}$, $\vec{\Phi}_{\text{пн}}$ и $\vec{\Phi}_{\text{нвп}}$ определяют положение точки в пространстве соответствующих факторов, а их модули – величину соответствующего потенциала. Модуль вектора $\vec{\Phi}_{\text{пн}}$ назовем потенциалом предприятия, векторы $\vec{\Phi}_{\text{фн}}$, $\vec{\Phi}_{\text{пн}}$ и $\vec{\Phi}_{\text{нвп}}$ – компонентами этого потенциала, а их модули – величину соответствующего компонента.

Рассмотренное геометрическое представление модели идеализировано с целью обеспечения наглядности представления и упрощения понимания идеи. Реально математическая модель потенциала и его компонентов имеет большую размерность и должна представляться в векторно-матричном виде. Уменьшить

размерность можно используя методологию теории экономического диагностирования: выделить проблемные области деятельности предприятия; идентифицировать их состояния и разбить на классы; определить для каждого класса диагностические признаки и составить соответствующие словари признаков; выбрать для каждого класса показатели-признаки, обеспечивающие индикацию и распознавание состояний проблемных областей деятельности предприятия.

Предложенное формализованное определение понятия «потенциал предприятия» и его модель позволяют учесть следующие основные особенности потенциала предприятия как управляемой подсистемы: 1) потенциал предприятия – это сложная система потенциалов, между которыми существуют многообраз-

ные связи и отношения различной степени сложности и которые в совокупности могут образовывать производные, сложные по структуре потенциалы; 2) многообразие классификационных признаков и сложность классификации потенциала предприятия приводят к неоднозначному его структурированию как управляемой подсистемы; поэтому система классификации (и, следовательно, система показателей) должна выбираться строго исходя из решаемой задачи; 3) способ структурирования потенциала предприятия также определяется постановкой конкретно решаемой задачи, что позволяет реализовать адаптивное относительно сложившихся условий управление потенциалом; 4) потенциал предприятия и его компоненты могут принимать субъективную форму; 5) потенциал предприятия функционирует в условиях постоянного и интенсивного воздействия внешних возмущающих факторов и в условиях постоянного риска, поэтому к нему предъявляются жесткие требования по своевременному воспроизводству с целью поддержания на уровне, достаточном для устойчивого функционирования и развития предприятия; 6) на состояние и использование потенциала сильное влияние оказывают субъективные факторы, что вызывает необходимость решения социально значимых задач.

Предложенная математическая модель позволяет:

- 1) учитывать различные по природе (экономические, социальные, психологические, политические и др.) взаимозависимые факторы, влияние которых может быть отражено соответствующими показателями;
- 2) использовать отработанную систему показателей для оценки влияния различных факторов на потенциал предприятия;
- 3) относительно просто увеличивать ее точность путем простого учета влияния дополнительно выявленных факторов (свойство открытости);
- 4) отразить структуру потенциала предприятия;
- 5) количественно оценить потенциал предприятия, его реализованную и нереализованную части;
- 6) оценивать потенциалы предприятия, его подразделений, должностных лиц, работников и т. п. (свойство универсальности);
- 7) использовать относительные величины и сравнивать потенциалы различных предприятий, в том числе, принадлежащих различным отраслям.

Таким образом, предложенная математическая модель, в основу которой положено формализованное определение потенциала предприятия, интегрально отражает способность предприятия трансформировать разноплановые возможности, выявленные в определенных рыночных условиях, в экономические блага с целью максимального удовлетворения корпоративных и общественных интересов. Она, с одной стороны, отражает возможность предприятия функционировать и развиваться, с другой – характеризует уровень практического использования имеющихся возможностей. Это позволяет количественно оценивать реализованные и нереализованные возможности предприятия и, как следствие, оптимально управлять его потенциалом в конкретно сложившихся условиях деятельности.

Ближайшей перспективой дальнейших исследований является разработка системы структуризации потенциала предприятия, которая послужит основой последующей разработки его обобщенной аналитической модели, и анализ ее эффективности, а также разработка модели трансформации первичной информации (например, о состоянии предприятия, его деятельности, изменчивости внешней среды и т. п.) в оценку потенциала и его компонентов.

Библиографические ссылки

1. Бородин А. И. Управление стратегическим потенциалом предприятия : монография. Germany : Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011.
2. Бородин А. И. Особенности оценки потенциала управляющей системы // Вестник Мурманского гос. техн. ун-та. 2003. Т. 6. № 2. С. 200–206.
3. Давыдова Л. В., Соколова Н. Н. Финансовая стратегия и подходы к определению потенциала предприятия // Финансы и кредит. М. : Финансы и кредит, 2005. № 36. С. 46–49.
4. Плаксин В. И., Полешук А. С. Теоретические аспекты синергетического потенциала хозяйственной системы // Вестник СевГТУ. 2007. № 81. С. 184–186.
5. Савчук В. П. Практическая энциклопедия: Финансовый менеджмент. Киев : Максимум, 2005.

A. I. Borodin

ECONOMIC-MATHEMATICAL MODEL OF ASSESSMENT OF CAPACITY OF AN ENTERPRISE

In article the concept «capacity of the enterprise» is defined and on this basis its economic-mathematical model, allowing to consider features of capacity of the enterprise as controlled subsystem and quantitatively estimate its realized and unrealized parts, is developed. The offered model in the long term allows to realize system of optimum enterprise capacity control.

Keywords: management, potential, enterprise, strategy, development, balanced system of indicators.

© Бородин А. И., 2012

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрено современное состояние и тенденции развития предприятий оборонно-промышленного комплекса, включая ракетно-космическую отрасль. Приведены основные этапы реформирования и развития предприятий оборонно-промышленного комплекса России, раскрыто их основное содержание. Обозначены ожидаемые результаты модернизации ракетно-космической отрасли.

Ключевые слова: оборонно-промышленный комплекс, инновационное развитие, гражданская продукция.

В экономике России предприятия оборонно-промышленного комплекса (ОПК), в силу специфики реализуемых задач, представляют собой высокотехнологичные производства с развитой научно-технической сферой, позволяющие выпускать конкурентоспособную продукцию.

Устойчивое развитие такого рода предприятий является первостепенной задачей обеспечения обороноспособности страны и развития экономики в целом.

Реформирование российского ОПК началось в первой половине 1990-х годов, так как именно в эти годы произошло резкое падение объемов производства, ухудшение финансового состояния предприятий, нарастание социальных проблем. Относительная стабилизация стала наблюдаться с 1996 г., рост же оборонной промышленности начался лишь в конце 1990-х гг. Основные этапы реформирования и развития предприятий ОПК России представлены в таблице [1; 2].

В последнее время наметилась положительная тенденция развития предприятий ОПК. Это подтверждается следующими статистическими данными [3]:

- объем промышленной продукции, произведенной предприятиями ОПК за январь-апрель 2012 г., возрос на 10,4 % к соответствующему периоду 2011 г.;
- в производстве продукции гражданского назначения в январе-апреле 2012 г. наблюдался прирост объемов в промышленности обычных вооружений, он

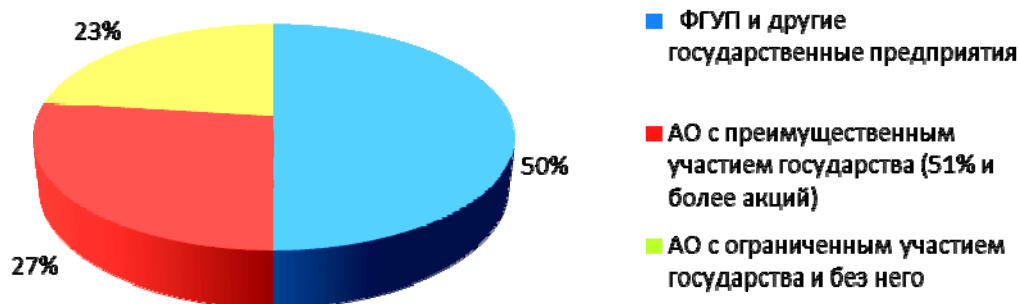
составил 6 %, при этом значительно возросло производство указанной продукции на экспорт (в 2,3 раза), в производстве продукции для внутреннего рынка наблюдается небольшое снижение.

Необходимо отметить, что развитие ракетно-космической отрасли (РКО) оказывает большое влияние на деятельность предприятий ОПК в целом. Следовательно, состояние и тенденции развития предприятий РКО на современном этапе представляют большой интерес.

В состав отрасли РКО входит 91 организация (см. рисунок). Предприятия РКО наиболее высокотехнологичны и наукоемки. Они одни из первых динамично и стабильно развиваются. Согласно «Стратегии развития космической деятельности России до 2030 г.» коренным образом должна измениться роль предприятий РКО в занятии лидирующей позиции России в области космической деятельности.

Для этого на предприятиях РКО создаются условия для внедрения современных технологий, происходит увеличение числа интеграционных процессов в РКО для развития смежных отраслей промышленности, предприятия начинают конкурировать в других рыночных сегментах [4].

Развитие отрасли на современном этапе предполагается осуществлять за счет поддерживающего комплекса структурных, финансовых и внешнеполитических усилий государства с привлечением частных партнеров и инвесторов.



Состав ракетно-космической отрасли

Основные этапы реформирования и развития предприятий ОПК России

Этап экономических реформ	Характеристика этапа	Целевая задача ОПК на данном этапе	Основное содержание этапа
1990-е гг. (1992–1998 гг.)	Кризисное состояние ОПК. Начало конверсии военного производства. Крайне низкое и нерегулярное финансирование государственного оборонного заказа (ГОЗ) и конверсионных программ	Выживание. Вывод из кризисной ситуации	В этот период происходит резкое снижение ГОЗ, а имеющиеся масштабы не обеспечивают рентабельного производства продукции. Кроме того, произошел разрыв сложившихся технологических связей в связи с распадом СССР. Все это послужило началом развития конверсионного производства. На данном этапе под конверсией подразумевается замещение чисто военного производства выпуском гражданской продукции (ГП). В сложившейся обстановке в 1992 г. был принят первый в России Федеральный закон «О конверсии оборонной промышленности в Российской Федерации»
1999–2001 гг.	Посткризисный период. Адаптация предприятий ОПК к внешней среде связана с дальнейшей диверсификацией военного производства к выпуску гражданской продукции. Начало реструктуризации предприятий ОПК	Положительная динамика роста производства. Переход ОПК к экономическому росту	На предприятиях установился, хотя и весьма низкий (20–25 %), уровень ГОЗ. На данном этапе развития происходит полная или частичная приватизация предприятий, широко начинают использоваться технологии двойного назначения при создании гражданской продукции. Однако программы конверсии безуспешны в силу абсолютно не рыночной организации предприятий. В этот период времени развитие производства гражданской продукции начинает дополняться конверсией хозяйственного механизма: в отрасли начинают происходить приватизационные процессы, начинается перестройка менеджмента, широко начинают использоваться технологии двойного назначения при производстве инновационной продукции гражданского назначения. Начинается реструктуризация предприятий ОПК
2002–2006 гг. Реализация ФЦП «Реформирование и развитие ОПК (2002–2006 гг.)».	Создание условий для устойчивого развития ОПК, разработки и производства конкурентоспособной на внешнем и внутреннем рынках инновационной продукции военного и гражданского назначения	Модернизация производственно-технологической базы и создание нового облика ОПК, отвечающего требованиям мирового рынка вооружений	Происходит дальнейшее реформирование и развитие ОПК. В рамках ФЦП «Реформирование и развитие ОПК (2002–2006 гг.)» формируется новый облик ОПК. Происходит интеграция научных и конструкторских организаций, что позволяет обеспечить быструю «диффузию» высокотехнологичных военных технологий в производство гражданской продукции на самых ранних стадиях создания продукта, что сокращает сроки освоения инноваций и производственные издержки. Происходит дальнейшее совершенствование механизма использования технологий двойного назначения. Следует отметить, что на данном этапе развития переход военных технологий и технологий двойного назначения в производство гражданской продукции не получил должного развития и предполагает дальнейшее совершенствование
2007–2015 гг.	Реализация ФЦП «Развитие ОПК на 2007–2010 гг. и на период до 2015 г.». Реализация ФЦП «Развитие ОПК на 2011–2020 гг.»	Сформировать военно-научный комплекс РФ к 2010 г., завершить формирование национальной инновационной системы и целостной структуры научно-технического комплекса, способного эффективно функционировать в условиях рыночной экономики	В рамках реализации ФЦП «Развитие ОПК на 2011–2020 гг.» на технологическую модернизацию оборонно-промышленного комплекса в ближайшую бюджетную трехлетку будет потрачено 329,3 миллиарда рублей. Дальнейшее развитие предприятий ОПК и последовательное преобразование его в высокотехнологичный комплекс страны необходимо обеспечить в первую очередь за счет слияния ОПК с гражданским сектором экономики. В связи с этим необходимо сформировать более эффективные механизмы перелива научно-технических достижений военной отрасли в гражданский сектор. На первое место должно выйти производство наукоемких, высоких технологий и их коммерциализация. Для успешного протекания этих процессов необходимо провести ряд преобразований, касающихся льготного кредитования предприятий ОПК, государственных гарантий и ряда других

Ожидаются следующие результаты модернизации и развития РКО на период с 2009 до 2015 г. [5]:

- ожидаемый рост ракетно-космической техники с характеристиками мирового уровня с 41 до 70 %;
- увеличение загрузки производственных мощностей с 35 до 70 %;
- увеличение доли инновационной продукции в общем объеме производства РКО составит с 35 до 55 %;
- увеличение сегмента мирового рынка производства РКО с 8 до 15%;
- снижение среднего возраста работников отрасли с 47 до 42 лет.

Эффект развития РКО будет заключаться в следующем:

- произойдет повышение обороноспособности страны;
- расширится присутствие предприятий РКО на мировом рынке;
- продолжится формирование и развитие в отрасли современных, эффективных институтов, свойственных инновационной экономике;
- произойдет облегчение доступа отрасли к источникам финансирования;
- будут создаваться новые рабочие места, повысится производительность труда.

При этом важно взаимное использование инновационных технологий в производстве военной и гражданской продукции. Во всех странах с развитой оборонной промышленностью исследования в области обороны всегда являются одним из мощнейших двигателей инновационного роста. Именно научные изыскания для военного сектора, которые получают мощную поддержку от государства в финансовом плане, позволяют реализовать многие прорывные технологии при производстве гражданской продукции.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что для занятия прочных лидирующих позиций на мировом рынке предприятиям РКО необходим:

- сохранение и развитие основных направлений своей деятельности по созданию наукоемкой продукции (космические аппараты военного, научного и социально-экономического назначения; ракеты и другие элементы ракетных комплексов стратегического назначения; системы боевого управления войсками и оружием; космические ракето-носители и разгонные блоки; транспортные космические корабли; аппаратура потребительской системы ГЛОНАСС, совместимая с GPS; элементы пилотируемых орбитальных станций; оборудование стартовых и технических комплексов ракет-носителей; оборудование наземных комплексов управления космическими аппаратами приема и обработки информации; содержание инфраструктуры космодромов научного и социально-экономического назначения; обеспечение подготовки к запуску космических аппаратов, в том числе по коммерческим проектам);

- дальнейшая диверсификация направлений деятельности предприятий РКО, в том числе путем расширения работ по созданию и производству наукоемкой продукции гражданского назначения;

- комплексное развитие и эффективная коммерциализация научно-технического потенциала предприятий РКО, в том числе путем использования инновационных технологий для расширения выпуска высокотехнологичной продукции военного, гражданского и двойного назначения;

- формирование научно-технического и технологического заделов для создания и производства инновационной продукции военного, гражданского и двойного назначения;

- развитие научно-технических и технологических возможностей предприятий РКО;

- формирование условий для эффективного использования интеллектуальной собственности и защиты прав на результаты интеллектуальной деятельности, включая создание корпоративной системы учета и контроля объектов интеллектуальной собственности, их оценки и каталогизации, а также механизмов их вовлечения в хозяйственный оборот.

Обновленное ОПК и РКО станет флагманом российской экономики, который потянет за собой развитие самых разных отраслей: металлургии, машиностроения, химической, радиоэлектронной промышленности, всего спектра информационных технологий и телекоммуникаций. Даст предприятиям этих отраслей и ресурсы для обновления технологической базы, и новые технологические решения. Обеспечит устойчивость множества научных и конструкторских коллективов, а значит, их присутствие на рынке разработок для гражданского сектора.

Библиографический список

1. Проблемы воспроизводства научно-технического потенциала предприятий оборонно-промышленного комплекса : монография / Г. П. Беляков, А. А. Лукьянова, В. И. Лячин и др. ; под общ. ред. Г. П. Белякова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2010.
2. Пименов В. В. Модели преобразования российского ОПК в высокотехнологичный комплекс: механизмы реализации // Экономические стратегии. 2007. № 7. С. 14–21.
3. Официальный сайт Минпромторг России [Электронный ресурс]. URL: <http://www.minpromtorg.gov.ru/stats/industry/04-2012/6>.
4. Оборонно-промышленный комплекс: федеральный справ. М. : Центр стратегических программ, 2011.
5. Путин В. В. Быть сильными: гарантии национальной безопасности для России // Российская газета, 22 февр. 2012 г. [электронный ресурс]. URL: <http://www.rg.ru/2012/02/20/putin-armiya.html>.

PRESENT STATE AND PROGRESS TRENDS OF ENTERPRISES OF DEFENSE INDUSTRY

Present state and progress trends of enterprises of defense industry, including space-rocket sector, are considered in this article. Main stages of reformation and development of Russian defense industry are presented, their main content is revealed. The expected results of modernization of space-rocket sector are specified.

Keywords: defense industry, innovative development, civilian production.

© Гильц Н. Е., 2012

УДК 331.102.312

О. В. Гостева

ОСОБЕННОСТИ МОТИВАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРСОНАЛА, ЗАНЯТОГО В ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рассматриваются проблемы и подходы к мотивации производственного персонала крупного наукоемкого высокотехнологичного предприятия, осуществляющего инновационную деятельность в ракетно-космической промышленности.

Ключевые слова: производственный персонал, инновационная деятельность, мотивация к инновационной деятельности.

Ракетно-космическая промышленность (РКП) при соответствующей государственной поддержке может стать локомотивом инновационного развития страны. Современные вооруженные силы являются «постоянным потребителем» передовых научных, технических, технологических достижений и разработок, позволяющих создавать эффективные системы, комплексы и образцы, в большинстве случаев значительно превосходящих уровень аналогичных разработок конверсионного назначения. Сегодня созданы реальные условия для прямого и обратного «перетекания» новых знаний и технологий из оборонного сектора экономики в гражданский и наоборот.

В условиях рыночной экономики, чтобы выстоять в конкурентной борьбе, предприятия ракетно-космической промышленности должны включиться в процесс интенсивного развития, который заключается в широком использовании инновационного потенциала, активизации инновационной деятельности.

Инновации на промышленных предприятиях РКП можно классифицировать в зависимости от используемых критериев следующим образом:

по видам работ – научные, технические (конструкторские и технологические), опытно-экспериментальные и производственные;

по конкретным результатам процесса нововведений (инноваций) – патенты, изобретения, новые или модифицированные изделия, прогрессивные технологические процессы, услуги, стандарты, новые методы управления и организации производства;

по степени новизны – принципиально новые, новые, модификационные (модифицирующие) и псевдоинновации (псевдонововведения); радикальные или нерадикальные (инкрементные)

по охвату основных сфер деятельности – производственно-технологические, организационно-управленческие, социально-политические и финансово-экономические;

по виду эффекта – научно-технические, экономические, социальные, экологические, информационные и политические;

по предметному (вещественному) содержанию – продуктовые, технологические, социально-экономические, экологические, информационные, организационные и управленческие инновации.

Предмет и сфера приложения инноваций на предприятиях РКП в основном касаются технологий и продуктов.

По назначению инновационной деятельности инновации делятся:

на конверсионные – инновации, полученные в ходе использования или адаптации продукции оборонного назначения в производстве гражданской продукции;

гражданские – инновации, полученные в ходе освоения продукции гражданского назначения;

военные – инновации, полученные в ходе выполнения государственных оборонных заказов.

Чрезвычайно важно в рамках экономической системы создать такой механизм управления инновационной деятельностью, который обеспечит интеграцию отдельных стадий инновационных процессов в единое

целое и приблизительно одинаковую эффективность работ на этих стадиях. Здесь важнейшее значение имеет система мер по мотивации персонала как на стадиях инновационного процесса, так и всей инновационной деятельности в целом.

Организация мотивации зависит от типа инновации (радикальной или нерадикальной (инкрементной)), над которой работают или которую создают работники. Формальные системы вознаграждения (экономические) хорошо подходят для инкрементной инновации, например, для увеличения производительности завода-изготовителя или улучшения качества с помощью кружков качества. Перед проектами инкрементной инновации стоит четкая проблема, которую нужно решить. Решение проблемы может быть переведено в задачи и привязано к вознаграждениям. Экономические поощрения намного сложнее использовать для радикальной и наполовину радикальной инновации, потому что задачи нечетко определены и часто изменяются на протяжении проекта [1].

Слишком большое внимание к материальному вознаграждению за производительность без учета рисков может привести к тому, что менеджеры будут избегать поведения принятия рисков, что не способствует инновационным процессам и может привести к большему количеству инкрементной и меньшему количеству радикальной инновации в организации. Важным моментом является то, что большое количество поощрений, даже правильно спланированных, может привести к меньшей производительности.

Еще одним сложным моментом материального вознаграждения за инновацию является его потенциальное отрицательное воздействие на внутреннюю мотивацию, которая является движущей силой всех инноваций, особенно радикальных. Иногда самым важным вознаграждением за эффективность является сам акт выполнения сложной творческой работы. Социологические исследования в начале 1950-х гг. установили, а современные работы подтвердили, что внешние вознаграждения могут подрывать внутреннюю мотивацию. Однако знание логики процесса мотивации не дает существенных преимуществ в управлении этим процессом в различных компаниях, особенно инновационной направленности.

Важно понимать, что персонал, задействованный в инновационной деятельности, не однороден, и если даже не рассматривать личностные подходы, то основные группы работников, такие как управленческий персонал, инженерно-технический персонал, производственный персонал и т. п., требуют различных подходов мотивации к инновационной деятельности. Таким образом, необходимо рассматривать мотивацию как системный процесс, требующий, с одной стороны, специализации для каждой группы работников, с другой стороны, создающий необходимость не только учитывать, а осознанно создавать синергетические эффекты от деятельности различных групп.

В инновационной деятельности наукоемкого высокотехнологического предприятия наибольшее значение приобретает интеллектуальный потенциал персонала и его развитие.

Развитие интеллектуального потенциала (ИП) персонала – достаточно сложная задача, поскольку предполагает инвестирование. Современным предприятиям РКП постоянно приходится принимать управленческие решения об инвестировании средств в развитие интеллектуального потенциала. При этом они обычно не могут оценить эффективность и целесообразность таких вложений [2].

Прежде чем рассмотреть организационно-экономические аспекты управления развитием ИП, остановимся на ключевых понятиях. Под *интеллектуальным капиталом* (ИК) понимается совокупность интеллектуальных активов компании. Интеллектуальные активы (ИА) представляют совокупность знаний, в значительной степени или частично отчужденных от их создателей и представляющих коммерческую ценность для предприятия и его контрагентов [3]. Эти знания могут быть и защищены и не защищены правовыми отношениями.

Интеллектуальный капитал используется как ресурс при интеллектуальной деятельности; в то же время он аккумулирует созданные сотрудниками интеллектуальные активы и деловую репутацию предприятия.

Под термином *«интеллектуальный потенциал персонала»* предлагается понимать совокупность личных интеллектуальных потенциалов персонала, характеризующихся синергетическими связями. В свою очередь, личный интеллектуальный потенциал сотрудника (ЛИП) – это его знания, способности к воспроизводству знаний и творческие способности. Важно понимать, что ЛИП выделенных выше групп работников предприятия РКП имеет принципиальные различия и, соответственно, для каждой из этих групп необходимо разрабатывать свою систему развития интеллектуального потенциала. Особое внимание необходимо уделить производственному персоналу, так как он имеет свои существенные особенности: во-первых, эти работники имеют в основном среднее специальное образование; во-вторых, они склонны «думать руками» им сложно описать процесс получения результата, им сложно понимать теорию; в-третьих, они многочисленны; в-четвертых, они склонны к коллективному мышлению (что может приводить к асоциальному поведению).

Основным фактором существования и развития интеллектуального капитала является инвестирование в интеллектуальный потенциал персонала. В настоящее время вопросы осуществления вложений в интеллектуальный потенциал персонала и оценки их эффективности актуальны и мало изучены.

Прямыми инвестициями в интеллектуальный потенциал можно считать расходы на получение общего и специального образования, профессиональную подготовку и переподготовку на производстве, планирование и мотивацию карьерного роста, реализацию НИОКР и выполнение творческих задач, приобретение специализированной литературы, привлечение аутсорсеров и консультантов. К косвенным инвестициям относятся расходы на поддержание здоровья

и медицинское обслуживание (медицинское страхование), приобретение и создание информационных технологий и соответствующего оборудования.

Выделяют три основных вида инвестиций в интеллектуальный потенциал:

- расходы на образование, включая профессиональную подготовку кадров, профессиональное совершенствование (повышение квалификации) и профессиональную переподготовку;
- расходы на планирование карьеры персонала.

Общее и специальное образование улучшают качество, повышают уровень и запас знаний человека, тем самым увеличивая объем и качество интеллектуального потенциала. Инвестиции в высшее и дополнительное образование способствуют формированию высококвалифицированных специалистов, труд которых оказывает наибольшее влияние на инновационную деятельность предприятий РКП.

Одним из важнейших компонентов инвестиций в интеллектуальный потенциал являются расходы на обучение в процессе производства [3]. Это связано с тем, что в любом обучающем проекте до 80 % знаний приходится на самостоятельное обучение. Особенно это относится к специалистам наукоемких отраслей, которые вынуждены постоянно пополнять свои знания из-за быстрого развития высоких технологий. К сожалению, производственный персонал обычно мало вовлекается в эти процессы, поэтому для него необходимо создавать специальные программы, включающие серьезные мотивационные аспекты.

Инвестиции в планирование и мотивацию карьеры позволяют достичь баланса между интересами предприятия и работника, поскольку последовательное продвижение сотрудника по ряду должностей способствует реализации конкретных целей предприятия, а также развитию интеллектуального потенциала самого работника и определению им той должности, на которой он мог бы работать с большей творческой отдачей [4]. В отношении производственного персонала это имеет такое же важное значение, как и для остальных категорий работников задействованных в инновационной деятельности предприятия. Но среди производственного персонала относительно не много людей которые могут занимать управленческие должности, поэтому на предприятии необходимо организовать возможность горизонтальной карьеры, с необходимым наделением полномочиями (например, личный знак качества) и статусом (лучший работник) и льготами (например, повышенная ставка оплаты, более свободный график, различия в форме спецодежды и др.).

Вложение средств в проведение НИОКР и решение творческих задач, по нашему мнению, определяют развитие интеллектуального потенциала персонала и организации. Именно формирование и поддержание умственной активности при выполнении творческих задач способствуют целенаправленному развитию потенциала личности и корпорации. В эти процессы также необходимо вовлекать производственный персонал, давать возможность публичного признания их

идей, поощрять рационализаторские предложения, вводить в группы, работающие над определенными инновационными проектами, не только как исполнителей, но и как носителей идеи.

Инвестиции в процесс передачи знаний трактуются как затраты на привлечение аутсорсинговых и консультационных услуг, приобретение объектов интеллектуальной собственности (патентов, ноу-хау). Смысл такой деятельности заключается в приобретении у внешних аудиторий накопленных и систематизированных знаний, а также в дальнейшем творческом развитии полученных знаний, конечной их материализации в новых продуктах (услугах) и наращивании интеллектуального потенциала. Для производственного персонала также необходимо проводить подобные обучающие программы, соответствующие их уровню.

Инвестиции в здравоохранение приводят к сокращению заболеваний и смертности, к продлению трудоспособной жизни человека, а следовательно, и времени использования предприятием интеллектуального капитала. С течением жизни происходит постепенный износ физико-интеллектуального капитала человека, в то время как инвестиции, связанные с охраной здоровья, замедляют этот процесс [2]. В настоящее время зарубежными и отечественными компаниями активно привлекаются услуги страховых компаний по ДМС (добровольному медицинскому страхованию).

Можно выделить следующие особенности инвестиций в интеллектуальный потенциал персонала на предприятиях РКП:

- 1) отдача от инвестиций в интеллектуальный потенциал прямо зависит от срока жизни его носителя, то есть от продолжительности трудоспособного периода;
- 2) вследствие инвестиций интеллектуальный потенциал накапливается и преумножается;
- 3) по мере накопления интеллектуального потенциала его доходность повышается до предела, ограниченного верхней границей активного трудоспособного возраста, а затем снижается;
- 4) по сравнению с инвестициями в иные формы капитала инвестиции в интеллектуальный потенциал приносят большую социально-экономическую выгоду;
- 5) определение отдачи вложенных средств весьма затруднительно;
- 6) период окупаемости вложений долог;
- 7) инвестиции в интеллектуальный потенциал организации значительный разнообразный эффект.

Проблемы совершенствования мотивации к инновационной деятельности были рассмотрены на базе предприятия РКП ООО «Красмаш». Предприятие создавалось и продолжает работать на основе сложных наукоемких технологий, но современные условия заставляют повышать эффективность как производства, так и работы персонала, что в свою очередь, приводит к необходимости изменять систему мотивации не только инженерного и управленческого состава, но и производственных работников.

Применительно к решению проблемы стимулирования и активизации инновационной деятельности производственного персонала в концепцию организационно-структурной мотивации деятельности работников ООО «Красмаш» следует заложить следующее:

1) в рамках организационной структуры управления предприятием создаются группы качества, представляющие собой специфические общественные организационно-структурные формирования производственных работников одного или нескольких подразделений;

2) главной целью создания групп качества на предприятиях РКП является активизация работ по поиску и реализации путей повышения и обеспечения качества производственного процесса;

3) к участию в группах качества привлекается максимально возможное число производственного персонала предприятия;

4) группы качества и конкурентоспособности создаются и функционируют на принципах:

- добровольности, когда объединяются для решения конкретных задач, как правило, 3–12 человек производственного персонала для коллективного участия в выборе задач по активизации инновационной деятельности;

- реальной поддержки со стороны топ-менеджмента предприятия;

- само- и взаиморазвития систематического воспитания, обучения и повышения профессионального уровня каждого члена групп с привлечением специалистов;

- учета результатов работы всех членов групп при установлении им ставок, надбавок и оплаты труда, а также при должностном продвижении и др.;

5) общее организационное и методическое руководство группами качества осуществляют менеджеры предприятия и научно-технический совет предприятия.

В конечном итоге мотивационный успех деятельности групп качества во многом зависит от массовости участия производственного персонала, которая может быть обеспечена планомерной кропотливой работой всего менеджерского корпуса предприятия. При этом важно стимулировать работу групп «сверху», ненавязчиво направляя их творческий потенциал на решение наиболее важных задач для достижения целей инновационной деятельности предприятий РКП.

Для создания единой среды взаимодействия, объединяющей инновационную деятельность в динамическую, управляемую систему, повышение инновационной активности и отдачи от научно-исследовательской деятельности, а также мотивации инновационной деятельности производственного персонала, активистами групп качества была предложена следующая система мероприятий:

1) для молодых сотрудников ввести систему учета инновационной активности с соответствующими льготами при распределении социальных благ, преимуществами должностного роста, проведение конкурсов на звание лучшего новатора с разнообразными

формами поощрения победителей и освещением их результатов, широкое ознакомление с результатами работы по активному развитию, проведение специальных совещаний и семинаров;

2) организовать на предприятии систему взаимодействия новаторов с профессиональными консультантами, осуществляющими необходимую поддержку в первую очередь начинающим новаторам. Это будет способствовать передаче практического опыта участникам инновационной деятельности;

3) организовать на предприятии курсы по обучению производственного персонала изобретательской и рационализаторской деятельности.

4) разрабатывать и проводить анкетирование с целью выявления методов мотивации персонала задействованного в инновационной деятельности;

5) наладить постоянные отношения ОАО «Красмаш» с банками для упрощения системы кредитования работников. Молодой работник заинтересован в получении разного рода кредитов, но если у него нет продолжительного стажа работы, это может быть причиной отказа банка в предоставлении денежных средств. В таком случае предприятие может выступать поручителем своего работника, что, в свою очередь, будет мотивировать его к повышению эффективности деятельности, ощущению важности работы, ответственности за результаты;

6) Ежегодно проводить конкурс на звание «Лучший новатор года» с награждением и освещением в прессе.

Решением вышеперечисленных задач могут заниматься уже существующие отделы (отдел управления персоналом, бюро общих вопросов, отдел патентно-информационного обеспечения и новой техники и др.) в тесном сотрудничестве с советом молодых ученых и специалистов.

Развитие интеллектуального потенциала производственного персонала является многоплановой задачей и требует от руководства применения адекватных инструментов и методов управления. Использование предложенного в статье организационно-экономического инструментария позволяет повысить обоснованность и эффективность управления мотивацией производственного персонала предприятий РКП, что особенно важно для предприятий наукоемкой сферы.

Библиографические ссылки

1. Лукичева Л. И., Егорычев Д. Н. Внутрифирменное управление интеллектуальными активами. М. : Омега-Л, 2011.
2. Литун О. Н., Моисеенко С. С. Интеллектуально-креативные ресурсы как основа наукоемкой экономики [Электронный ресурс] // Интернет приложение «Оборонный заказ». URL: <http://www.ozakaz.ru/index.php>.
3. Лукичева Л. И., Салихов М. Р. Подходы к оценке стоимости интеллектуального капитала организаций // Менеджмент в России и за рубежом. 2011. № 4.
4. Селезнев Е. Н. Интеллектуальный капитал как объект управления // Справочник экономиста. 2010. № 2.

FEATURES OF MOTIVATION OF OPERATIONAL PERSONNEL ENGAGED IN INNOVATIVE ACTIVITY AT ENTERPRISES OF SPACE-ROCKET INDUSTRY

In the article the problems and approaches to motivation of operational personnel of a large knowledge-intensive hi-tech enterprise, carrying out to practice innovation activity at rocket-space industry, are considered.

Keywords: operational personnel, innovative activity, motivation to innovative activity.

© Гостева О. В., 2012

УДК 338.2

Д. В. Еремеев, И. Н. Новикова

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ И УСЛОВИЯ ИННОВАЦИОННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ОСНОВНЫХ ФОНДОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Проводится анализ основных факторов, влияющих на процесс воспроизводства активной части основных фондов предприятия. Предложен алгоритм выбора метода прогнозирования и его основные параметры.

Ключевые слова: инновации, инновационное развитие, воспроизводство основных фондов, предприятия ракетно-космической отрасли.

В современном мире, в условиях резкого изменения окружающей бизнес-среды предприятия и жесточайшей конкурентной борьбы, единственным условием выживания предприятия становится его инновационное развитие. Руководство промышленных предприятий осознало необходимость инновационного развития управляемых ими бизнес-систем. В связи с этим на повестку дня встала проблема инновационного воспроизводства технической и технологической базы промышленных организаций.

Ракетно-космическая отрасль (РКО) занимает одно из ключевых мест в промышленной и государственной инновационной политике России. В настоящее время сложилась уникальная ситуация: в силу своей специфики отрасль пока еще сохраняет и научно-технические разработки мирового уровня, и имеющиеся мощности, которые поддерживают внутреннюю организацию и сложившиеся тенденции ее развития. На современном этапе развитие и повышение эффективности управления инновационной деятельностью предприятий ракетно-космической отрасли (РКО), в условиях неопределенности и риска, не только дает шансы на конкурентное преимущество, но и позволяет повысить эффективность работы производственной, финансовой, научно-исследовательской, а также увеличить результаты комплексной работы бизнес-систем предприятия. Высокий темп роста технического прогресса, переход к рынку потребителей требуют совместных усилий от производителей и ученых в разработке инновационно-инвестиционной стратегии развития предприятий РКО на основе имеющегося опыта и знаний в области инноватики, комплекса фундаментальных и прикладных научных

подходов и методологий развития сложных технических систем.

Одной из важнейших задач при управлении инновационным развитием предприятий РКО является повышение его конкурентоспособности и увеличение производительности труда. Данный процесс тесно связан с изменением используемых технологий и улучшением активной части основных фондов. Вопросы оценки и улучшения состояния активной части основных фондов (ОФ) предприятия зависят от ряда условий, которые сформировались на практике. С точки зрения авторов на выбор стратегии воспроизводства основных фондов оказывают существенное влияние тип применяемой инновации, а также ее направление и способ внедрения. Процесс воспроизводства активной части основных фондов на промышленном предприятии может быть проведен с помощью модернизации, техперевооружения, техпереоснащения.

Рассматривая данные процессы в совокупности, необходимо поднять вопрос об экономической эффективности инновационных вложений в основные фонды предприятия. Сумма затрат зависит от типа инноваций и рыночного положения предприятия ракетно-космического комплекса. Например, если не требуется существенных капитальных вложений, т. е. есть необходимые ОФ, то четко можно просчитать требуемые ресурсы, а если таковых нет, то сумма будет неопределенной и зависимой от типа инноваций и условий внедрения. Если осуществляются инкрементные или поддерживающие инновации, то возможна модернизация, которая требует относительно невысокий объем привлекаемых ресурсов, а вот если

инновации подрывные, то тогда возможно только техперевооружение. Для получения экономической оценки необходимо понять каким образом будет происходить процесс воспроизводства активной части основных фондов. При расчете финансовых показателей и сроков данного процесса встает вопрос, каким методом прогнозирования необходимо воспользоваться. Алгоритм выбора метода прогнозирования типа процесса воспроизводства ОФ, а также параметры необходимые для этого, представлен на рис. 1.

При анализе данного вопроса возникает необходимость решения дополнительной задачи – взаимосвязка между методами прогнозирования и типами инноваций. С помощью такого представления ситуации можно получить, с определенной долей вероятности, количественную оценку необходимой суммы капитальных вложений, а также рассмотреть этот процесс во времени. В качестве результатов выступают суммы требуемых денежных средств, даты их вложения и величины дополнительных необходимых ресурсов.

Для оценки величины необходимых ресурсов авторы в своих исследованиях предлагают следующий подход – разделить инновацию по стадиям жизненного цикла. При таком подходе можно осуществлять дифференциацию методов прогнозирования в разрезе следующих направлений:

- 1) в зависимости от стадии инновационного процесса;
- 2) в зависимости от стадии жизненного цикла продукта (ЖЦП);
- 3) в зависимости от стадии жизненного цикла технологии (ЖЦТ);
- 4) в зависимости от сферы объекта приложения (производство, НИОКР, рыночные методы, опытный образец и т. д.).

На данном этапе определяется потребность в необходимых капитальных вложениях и учитываются связанные с этим риски, дается оценка уровня неопределенности вложений. Выходом данного процесса будет величина необходимых ресурсов в денежном эквиваленте и сроки капитальных вложений. Однако данный процесс серьезно усложняется в связи с особенностью функционирования предприятий РКО:

- 1) наличием конверсионных продуктов;
- 2) при изменении технологии производства требуется новое испытание изделия основного производства предприятий РКО, что влечет за собой дополнительное использование ресурсов;
- 3) предприятия РКО имеют избыточные производственные мощности, так как обязаны сохранять оборудование, пока идет производство продукции основного производства.

В ходе дальнейшего исследования авторами были систематизированы факторы и условия, влияющие на процесс инновационного воспроизводства основных фондов. Необходимо уточнить, что под фактором авторы предлагают понимать причину, движущую силу какого-либо процесса, определяющую его харак-

тер или отдельные его черты. Под условиями авторы понимают внешнее окружение предприятия, которое способствует осуществлению события [1; 2; 3].

Анализ теоретических и практических аспектов инновационного воспроизводства основных фондов позволил сформулировать основные условия происхождения данного события. Полученные результаты можно условно объединить в следующие группы [4; 5; 6; 7; 8; 9]:

- 1) технологический уклад (появление новых технологий);
- 2) экологические условия;
- 3) технологическое и техническое регулирование (технологические платформы);
- 4) условия государственной поддержки.

Для осуществления последующей оценки влияния условий и выбора возможных альтернатив авторами была представлена схема главных условий, оказывающих воздействие на принятие решений об инновационном воспроизводстве активной части основных фондов ракетно-космического предприятия (рис. 2).

Существенными группами факторов, определяющих динамику инновационного воспроизводства основных фондов предприятия РКО, с учетом мнения предыдущих исследователей, авторы предлагают считать следующие [4; 5; 6]:

- 1) уровень инновационного развития предприятия;
- 2) научно-технический задел, созданный на предприятии;
- 3) факторы, характеризующие производство и технологии;
- 4) организационно-управленческая группа факторов.

Основные факторы, влияющие на процесс воспроизводства основных фондов на предприятии ракетно-космической отрасли, представлены на рис. 3.

Рассматривая в совокупности выделенные факторы и условия инновационного воспроизводства основных фондов предприятия РКО, необходимо отметить, что в обоих случаях существенную роль играет доступность новых технологий.

Наличие разработанных технологий с высоким уровнем новизны диктует состав и структуру необходимого оборудования, которое, в свою очередь, дает возможности реализации инноваций силами предприятия с целью дальнейшей их коммерциализации на потребительских рынках.

Сочетание существующего уровня развития технологий и возможности реализуемости инноваций показывает возможные направления эффективного освоения и коммерциализации инноваций с учетом условий развития конкретного предприятия. Для осуществления выбора альтернатив стратегического развития по данным критериям предлагается использовать матрицу «Наличие оборудования – уровень технологии» (рис. 4).

В качестве квадрантов в матрицы авторы подразумевают следующее:

I квадрант: модернизация технологии – простое воспроизводство оборудования;

II квадрант: оборудование старое – технология новая;

III квадрант: технология старая – модификация оборудования;

IV квадрант: отсутствие действующих образцов оборудования под новую технологию.

Данная матрица содержит дальнейшее направление развития в отношении создания и поддержки инноваций, на основе оценки основных факторов и условий, необходимых для развития предприятия РКП, как при выпуске продукции военного назначения, так и гражданской (конверсионной продукции):

1) наличие и соответствие оборудования;

2) соответствие технологии поставленным задачам инновационного развития предприятия.

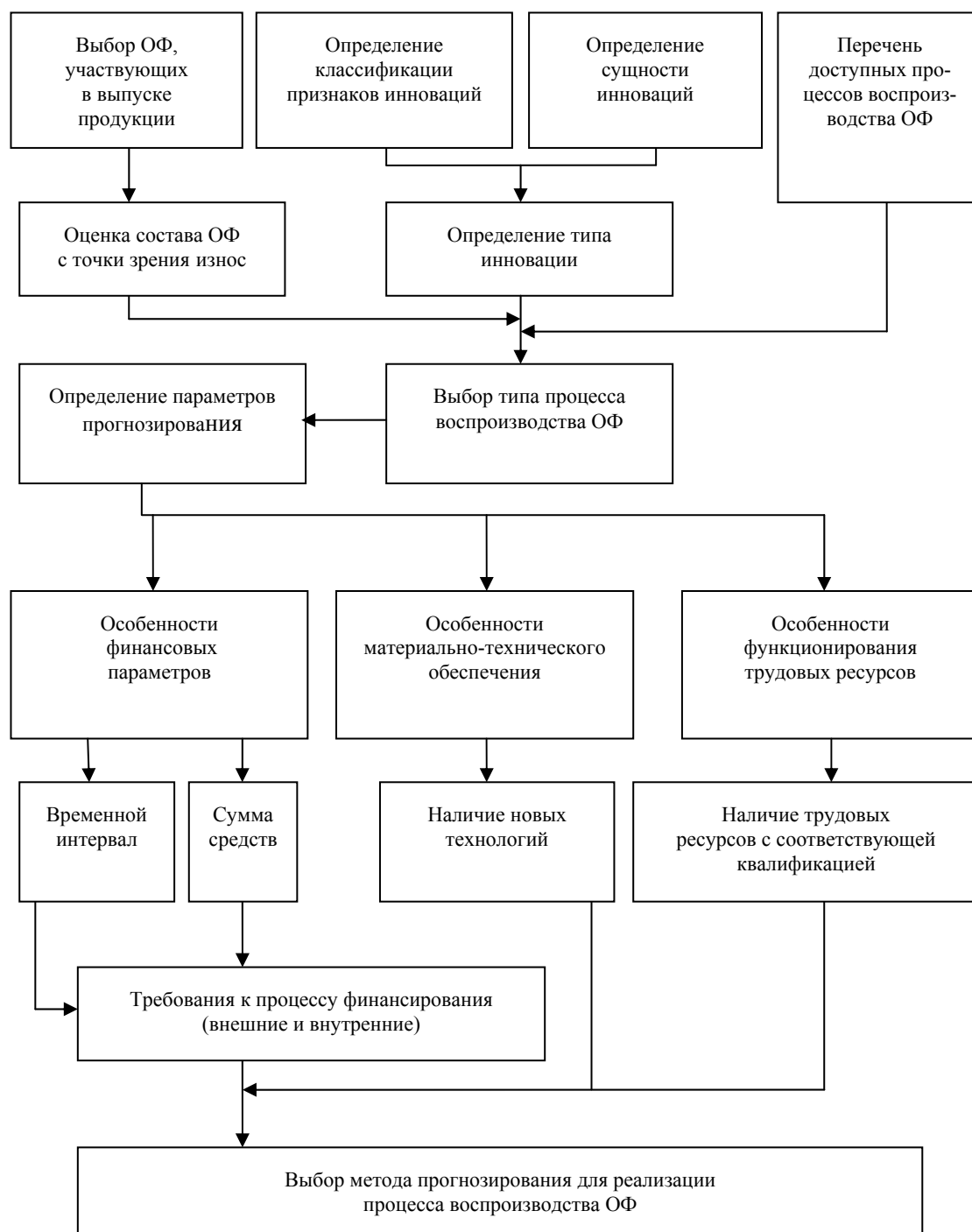


Рис. 1. Алгоритм выбора метода прогнозирования типа процесса воспроизводства активной части основных фондов

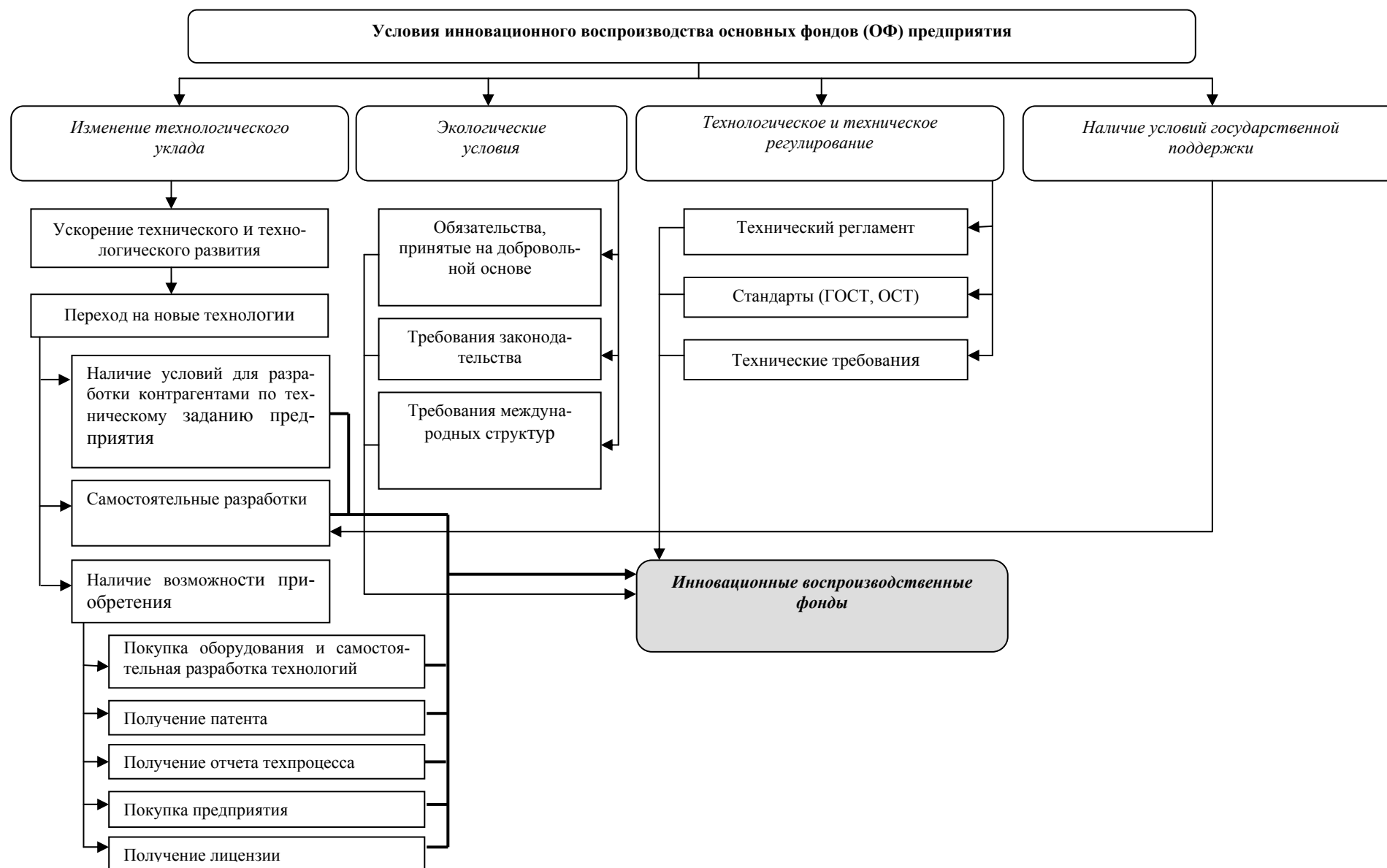


Рис. 2. Условия инновационного воспроизводства основных фондов предприятия РКО

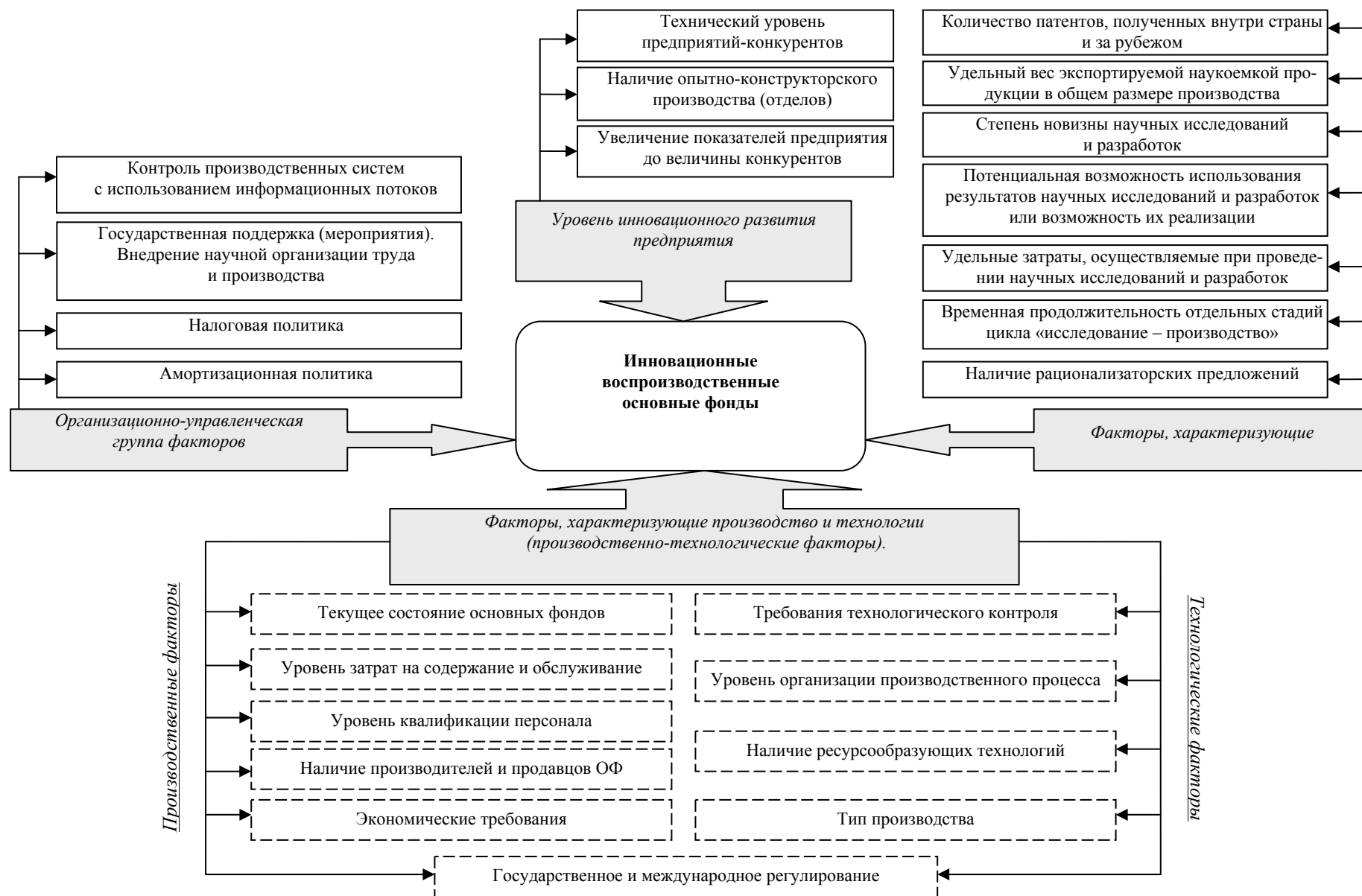


Рис. 3. Факторы, влияющие на воспроизводство основных фондов на предприятиях РКП

Уровень технологии	Высокий	II	III
	Низкий	I	IV
		Старое	Новое
Наличие оборудования			

Рис. 4. Матрица «наличие оборудования – уровень технологии»

Таким образом, опираясь на полученные результаты при анализе основных факторов и условий можно в дальнейшем разработать комплексную модель воспроизводства основных фондов предприятия РКО, учитывая особенности освоения инноваций, состояние инновационного потенциала и возможности их реализации с целью повышения конкурентоспособности предприятий ракетно-космической промышленности.

Библиографические ссылки

1. Экономика и право : словарь-справочник / авт.-сост. : К. Ф. Амиров, Л. П. Кураков. М. : Вуз и школа, 2002.
2. Большой экономический словарь / под ред. А. Н. Азрилияна. 5-е изд. доп. и перераб. М. : Институт новой экономики, 2002.
3. Райзенберг Б. А. Современный экономический словарь. М. : Инфра-М, 2006.
4. Трефилова А. А. Управление инновационным развитием предприятия. М. : Финансы и статистика, 2003.
5. Жиц Г. И. Методология управления формированием и эффективным использованием инновационного потенциала экономических систем : дис. ... д-ра экон. наук : 08.00.05. Саратов, 2001.
6. Беляков Г. П., Еремеев Д. В. Исследование содержания понятий: техническое перевооружение, техническое переоснащение, модернизация // Вестник СибГАУ. 2011. № 3 (36). С. 177–182.
7. Ерыгин Ю. В., Новикова И. Н. Модифицированный SWOT-анализ как инструмент формирования стратегических ориентиров // Вестник СибГАУ. 2011. № 5 (38). С. 170–172.
8. Ермаков С. В. Инновационный менеджмент : учебник для вузов. М. : Высшее образование, 2007.
9. Голов Р. С., Мыльник А. В. Инновационно-синергетическое развитие промышленных организаций (теория и методология). М. : Дашков и К, 2010.

D. V. Eremeev, I. N. Novikova

MAIN FACTORS AND CONDITIONS OF INNOVATIVE REPRODUCTION OF CAPITAL ASSETS OF ENTERPRISES OF SPACE-ROCKET SECTOR.

The authors analyze the main factors influencing on the process of reproduction of active part of capital assets of enterprises. The algorithm of choice of forecasting approach and its main parameters are offered.

Keywords: innovations, innovative development, reproduction of capital assets, enterprises of space-rocket sector.

© Еремеев Д. В., Новикова И. Н., 2012

ПРИНЦИПЫ НАЛОГОВОГО И ФИНАНСОВОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ*

Обоснована необходимость государственного стимулирования инновационной деятельности предприятий ракетно-космической отрасли (РКО). Сформулированы принципы налогового и финансового стимулирования инновационной деятельности предприятий отрасли.

Ключевые слова: налоговое, финансовое стимулирование инновационной деятельности, принципы.

Оборонная промышленность является стратегически важной составляющей экономики Российской Федерации. Это наиболее наукоемкий, фондоемкий, материалоемкий сектор экономики страны, который сохраняет накопленный научно-производственный потенциал. Оборонно-промышленный комплекс России насчитывает более полутора тысяч производственных предприятий, научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро, расположенных на территории субъектов РФ. Предпринятые правительством России меры существенно повлияли на современное состояние предприятий ОПК: в частности, в ряде отраслей возрос объем производства, практически во всех отраслях замедлилось его падение, улучшились некоторые показатели хозяйственной деятельности. Несмотря на реализуемые мероприятия, на многих предприятиях ОПК инновационная активность остается крайне низкой. Вместе с тем одной из наиболее приоритетных отраслей оборонно-промышленного комплекса для развития инновационной деятельности является ракетно-космическая [3].

В настоящее время политика по развитию отрасли проводится в соответствии с утвержденной Стратегией развития ракетно-космической отрасли по целевым программам:

1) ФКПР «Федеральная космическая программа России на 2006–2015 годы»;

2) ФЦП «Развитие оборонно-промышленного комплекса РФ на период до 2015 года» [2; 4].

Со стороны государства предприятиям РКО оказывается поддержка посредством различных форм стимулирования инновационной деятельности, таких как субсидирование процентных ставок по привлеченным кредитам (займам), амортизационная политика, налоговые вычеты, тарифные льготы, государственно-частное партнерство и др. Однако эти формы стимулирования носят локальный несистемный характер и не всегда эффективны в условиях существующей системы [1].

Исследование современного состояния, тенденций и закономерностей развития инновационной деятельности позволяют сделать вывод о различном характере влияния форм и методов налогового, финансового, экономического стимулирования на активизацию инновационной деятельности.

В связи с этим возникает необходимость разработки методологических принципов налогового, финансового, экономического стимулирования инноваци-

онного развития РКО; методических инструментов выбора форм и методов налогового, экономического, финансового стимулирования инновационного развития РКО, на основе которых возможно построение математической модели формирования портфеля форм и методов стимулирования инновационного развития предприятий ракетно-космической отрасли.

Налоговое стимулирование инвестиционной и инновационной деятельности базируется на принципах, сформированных на основе систематизации факторов, оказывающих влияние на эффективность налогового стимулирования инновационной деятельности предприятий РКО.

Принципы налогового стимулирования:

1) в фазе внедрения, ускоренного роста и спада жизненного цикла продукта налоговые льготы должны быть установлены по условно-постоянным налогам;

2) в фазе замедленного роста и насыщения жизненного цикла продукта налоговые льготы не имеют стимулирующего эффекта и носят дотационный характер в случае значимых социально-экономических проектов;

3) на стадии фундаментальных исследований, научно-исследовательских работ, опытно-конструкторских работ, опытного производства формы налогового стимулирования должны быть установлены по наиболее значимым условно-постоянным налогам, исходя из структуры затрат отрасли;

4) на стадии фундаментальных исследований, научно-исследовательских работ, опытно-конструкторских работ, опытного производства формы налогового стимулирования могут быть установлены по условно-переменным налогам, из-за их преобразования в условно-постоянные налоги для последующих стадий инновационного процесса;

5) на стадии промышленного производства в фазах ускоренного роста и упадка налоговые льготы должны быть связаны с условно-переменными налогами для инновационных проектов со значительными капиталовложениями;

6) налоговые льготы должны быть предоставлены для всех предприятий конкурентов, таким образом льготы направлены на повышение конкурентоспособности по импортозамещающим товарам;

7) льготное налогообложение должно учитывать сбалансированность интересов налогоплательщика и казны государства.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки (код проекта 6.4495.2011).

Финансовое стимулирование инвестиционной и инновационной деятельности базируется на принципах, отвечающих задачам коммерциализации инновационного потенциала предприятий РКО в условиях рыночной экономики.

Принципы финансового стимулирования:

1. Повышение инвестиционной привлекательности инновационных проектов на основе использования инструментов финансового стимулирования.

Традиционно на всех стадиях реализации инновационных проектов в части государственного оборонного заказа (ГОЗ), реализуемых предприятиями РКО, государство берет на себя вопросы финансового обеспечения, а также все риски, связанные с инновационной деятельностью.

Участие государства в стимулировании инновационной деятельности предприятий способствует возникновению интереса со стороны других инвесторов. Государство, являясь гарантом стабильности финансирования инновационного проекта, делает тем самым этот проект инвестиционно привлекательным. Таким образом, участие государства в стимулировании инновационной деятельности предприятий РКО позволяет решить задачу снижения рисков инновационной деятельности, стоимости привлекаемых источников финансирования и, как следствие, повышения инвестиционной привлекательности проектов.

2. Вовлечение федерального и регионального уровней государственного управления в процесс стимулирования инновационной деятельности предприятий РКО.

Стимулирование инновационной деятельности на предприятиях РКО в части государственного заказа осуществляется за счет бюджетных средств федерального уровня государственного управления. Однако в процессе коммерциализации созданного инновационного потенциала, направленного на развитие региональной экономики, в стимулирование вовлекается и региональный уровень управления.

Производственный и инновационный потенциал предприятий РКО позволяет выполнять технологические и проектные разработки для предприятий гражданского сектора экономики. Вовлечение инновационного потенциала предприятий РКО в кооперационные связи способствует созданию дополнительных рабочих мест и развитию промышленности региона и страны в целом. Вследствие этого инновационные проекты, реализуемые на предприятиях РКО, безусловно, представляют интерес для регионов, поскольку содействуют их инновационному развитию. Таким образом, бюджетные средства региональных уровней государственного управления должны быть вовлечены в процесс стимулирования тех проектов, которые представляют интерес, как для промышленных предприятий, так и для экономики региона в целом.

3. Зависимость форм финансового стимулирования от стадии инновационного процесса.

Начальные стадии инновационного процесса (фундаментальные исследования, научно-исследовательские разработки) характеризуются высоким уровнем инновационных рисков. Как правило, финансирование таких стадий осуществляется за счет бюджет-

ных средств федерального уровня государственного управления, предоставляемых на безвозвратной основе.

По мере осуществления инновационного процесса меняются цели, задачи, решаемые на каждой стадии. Снижается уровень инновационных рисков. Это обуславливает необходимость использования иных форм стимулирования, отвечающих поставленным задачам. Так, на стадии коммерциализации инновационного проекта задачей стимулирования является повышение его инвестиционной привлекательности с целью привлечения частного капитала. Наряду с бюджетными средствами увеличивается доля средств заказчиков продукции и частных инвесторов. Стимулирование осуществляется посредством таких форм, как бюджетный кредит, государственные гарантии, косвенные субсидии.

4. Оптимальность соотношения объемов стимулирования инновационной деятельности, предоставляемых на возвратной и безвозвратной основе.

Несмотря на акционирование предприятий РКО, источником обеспечения их деятельности по-прежнему остаются бюджетные средства, предоставляемые на безвозвратной основе. При этом финансирование акционерных обществ в основном осуществляется в акционерной форме. Такой способ финансирования приводит к наращиванию собственного капитала предприятий и, как следствие, снижению рентабельности его использования. Привлечение источников финансирования, предоставляемых на возвратной основе, позволяет повысить рентабельность собственного капитала и эффективность вложения бюджетных средств.

Такое положение свойственно и для стимулирования инновационной деятельности. Стимулирование инновационной деятельности, предоставляемое на безвозвратной основе, также способствует снижению рентабельности собственного капитала предприятий (не используется эффект финансового рычага). В связи с этим при выборе форм стимулирования инновационной деятельности необходимо решать задачу определения оптимального соотношения между объемами стимулирования, предоставляемыми на возвратной и безвозвратной основе. Это приводит к снижению потребности в бюджетных средствах, нагрузки на бюджет, повышению рентабельности собственного капитала.

Реализация предложенных принципов финансового и налогового стимулирования требует совершенствования существующих и разработки новых методов стимулирования инновационной деятельности предприятий РКО, позволяющие повысить его эффективность.

Библиографические ссылки

1. Официальный сайт Министерства финансов РФ [Электронный ресурс]. URL: www.minfin.ru.
2. Официальный сайт Министерства экономического развития РФ [Электронный ресурс]. URL: <http://fcv.vpk.ru>.

3. Телеинформационная сеть ВПК. Информационное агентство [Электронный ресурс]. URL: www.vpk.ru.

4. Федеральный портал по научной и инновационной деятельности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sci-innov.ru>.

Yu. V. Erygin, O. S. Golocshapova, A. M. Saakyan

THE PRINCIPLES OF TAX AND FINANCIAL INCENTIVES OF INNOVATIVE ACTIVITY OF THE ENTERPRISES OF SPACE-ROCKET BRANCH

The necessity of the state stimulation of innovative activity of the enterprises of space-rocket branch is proved in the article. The principles of tax and financial incentives of innovative activity of the enterprises of this branch are formulated.

Keywords: tax, financial incentives of innovative activity, principles.

© Ерыгин Ю. В., Голощапова О. С., Саакян А. М., 2012

УДК 350.5 (450+571) (07)

Т. С. Попова

КОНКУРЕНТНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕГИОНОВ В НАЦИОНАЛЬНОМ БОГАТСТВЕ РОССИИ

Рассматриваются проблемы управления региональным экономическим потенциалом и его обновлением в условиях структурных преобразований российской экономики, которые приобретают особую практическую значимость, и поэтому необходимо, изучая региональные различия в национальном богатстве, правильно оценивать конкурентные преимущества регионов и уметь управлять ими для повышения экономических позиций России. Предлагаются методология и управленческий инструментарий по изучению рассматриваемой проблемы.

Ключевые слова: экономический потенциал страны, региональный экономический потенциал, деловая активность региона, темпы экономического роста, индексы промышленного производства, региональные различия в национальном богатстве.

В XXI в. экономический потенциал, понимаемый как экономические возможности национальной экономики и общественного воспроизводства, определяют новые факторы, связанные с формированием инновационного общества, основанного на знаниях, это означает, что структура экономического потенциала значительно изменяется как по составу элементов, так и по роли каждого из них.

Региональное воспроизводство, как известно, особая составная часть национального воспроизводства. Предопределено это тем, что каждый регион – это относительно обособленная система воспроизводства, которая хотя и отлична от воспроизводства в национальном масштабе, однако имеет ряд общих черт с последним.

Проблемы регионального воспроизводства приобрели особую остроту и значимость для России и стали особенно очевидными в условиях трансформации, когда сформировались значительные социально-экономические различия между регионами [1].

Современное положение дел таково, что наряду с традиционной для любого общественного воспроизводства системой пропорций между отраслями, подразделениями, межотраслевыми комплексами и т. д., национальная экономика обладает особыми межре-

гиональными и внутрирегиональными пропорциями, которые имеют существенное значение для национального воспроизводства.

Формирование конкурентных преимуществ и развитие экономического потенциала – важнейшая задача и функция национального общественного воспроизводства. Изучение данной проблемы показало, что в составе экономического потенциала страны можно выделить три основные группы элементов:

- группа, носящая устойчивый характер и неизбежно присутствующая на всех этапах развития общества, прямо связанная с особенностями и содержанием деятельности людей по созданию благ и включающая в себя имеющиеся резервы; составляющими экономического потенциала в этой группе являются: природный потенциал; воспроизводимый материальный потенциал; воспроизводимый нематериальный потенциал; кадровый (трудовой) потенциал;

- группа элементов потенциала, объединяющая элементы первой группы и непосредственно участвующая в их развитии и совершенствовании, выполняющая особую самостоятельную роль в процессе национального воспроизводства; к элементам экономического потенциала в данной группе относятся: образовательный потенциал; научно-технический

(технологический) потенциал; информационный потенциал; управленческий потенциал; инновационный потенциал;

– группа элементов потенциала, включающая экономический потенциал отдельных отраслей и сфер национальной экономики (промышленный потенциал, оборонный потенциал, внешнеэкономический потенциал и т. д.). Эта группа характеризует отдельные подсистемы национальной экономики России, а не ее экономический потенциал в целом, дополняя и конкретизируя его. При этом автор отмечает, что многоуровневое деление потенциала в данном случае зависит от выбранных принципов и критериев классификации.

В России конкурентоспособность имеет значительную региональную специфику. Прежде всего, велико разнообразие регионов по типам экономики, сочетанию конкурентных преимуществ и недостатков, уровням экономического развития. Различия субъектов Федерации по величине валового регионального продукта на душу населения достигли 37 раз; при этом выше среднего уровня находится только 20 регионов, ниже – 79. Резко различается конкурентоспособность регионов с точки зрения сложившейся структуры производства, экспортного потенциала, обеспеченности инфраструктуры, инвестиционного климата и других факторов. Возрастает межрегиональная конкуренция по инвестициям, особенно иностранным, и квалифицированным кадрам, по распределению трансфертов из федерального бюджета. Усиливается влияние мировых рынков на региональную конкурентоспособность, особенно с вступлением России в ВТО [2].

Важной проблемой является измерение и оценка регионального экономического потенциала. Автор выявил, что даже на уровне отдельных элементов не существует полной статистической и информационной базы для таких измерений. Это отсутствие усложняет и затрудняет оценку всего имеющегося потенциала общества. Поиск наиболее приемлемой методологии измерений и оценки элементов экономического потенциала показал, что он в общем виде может быть представлен следующей последовательностью расчетов: определение натурального состава и объемов того или иного вида потенциала; определение качественных характеристик элементов потенциала; общая оценка потенциала на основе выбранных общих или косвенных измерителей и др.

При появлении возможности осуществления единой стоимостной оценки элементов потенциала работа заключается в определении его количественного объема. Автором определено, что среди измерителей экономического потенциала наиболее часто используются следующие: рыночные цены; рентные оценки, оценки через капитализацию доходов; условные единицы и т. д. Например, расчет образовательного потенциала ведется через накопленные затраты на образование.

Конкурентоспособность региональной экономики – не новая проблема, можно напомнить о классических

теориях, производственной и торговой специализации регионов, основанных на сравнениях абсолютных и относительных преимуществ, широко распространенном выявлении конкурентных преимуществ регионов как необходимой предпосылки их развития в конкурентной среде. Территории, различающиеся по геоэкономическому положению, природным ресурсам, развитию инфраструктуры, человеческому капиталу и др., создают неодинаковые условия для конкурентоспособности предприятий. В мировой литературе дискутируется вопрос: являются ли регионы не только определенной средой для конкуренции, но и самостоятельными участниками процесса конкуренции. В глобализирующейся экономике регионы, включая регионы разных стран, находятся в конкуренции друг с другом. Экономические агенты одного региона имеют общие групповые интересы, совместно работают на привлечение и удержание капитала, инноваций, квалифицированных работников и др. Обращаясь к современной российской действительности, можно добавить, что наши регионы, особенно субъекты Федерации, ведут себя одновременно и квазигосударства и как квазикорпорации, являясь непосредственными субъектами рынка и, следовательно, конкурентами в рыночном пространстве. Ученые пришли к выводу, что самые важные конкурентные преимущества в глобальной экономике часто произрастают из местоположения кластера.

В теории и практике анализа регионального экономического потенциала предлагается различать номинальный и реальный экономические потенциалы: номинальный потенциал, как правило, рассматривается как общая оценка всех имеющихся ресурсов независимо от использования или возможностей его использования в данное время в общественном воспроизводстве; реальный потенциал представляет собой потенциал, вовлеченный в экономический оборот. Границы между данными видами потенциалов изменяются в зависимости от изменения экономической политики, реализуемых технологий и других характеристик национальной экономики. Выглядит это следующим образом: происходят, например, в структуре топливно-энергетического потенциала изменения и в зависимости от спроса на уголь происходит то сокращение, то увеличение размеров данной отрасли; или изменение кадрового потенциала в зависимости от изменения пенсионного возраста населения и т. п. В исследовании данной проблемы интерес представляет также рассмотрение основной части национального экономического потенциала, которой является «национальное богатство», и проблема выявления региональных различий в национальном богатстве. Автором выявлено, что национальное богатство оценивается, как правило, на уровне отдельной страны. Однако для таких больших по территориальным размерам стран, как Россия, такой уровень, видимо, недостаточен, следовательно, просматривается еще одна практически значимая и актуальная задача – задача оценки национального богатства России на региональном уровне.

Автором определено, что такие оценки проводятся экспертным путем только на уровне экономических районов. Причины этого видятся в неразработанности методологической базы, а также в несовершенстве официальной статистики. Авторская методология изучения конкурентных преимуществ и экономического потенциала региона в национальном богатстве РФ, представлена на рис. 1.

Качество регионального исследования определяется качеством методологии, заложенной в его основу: недостаточно проработанная методология неизбежно приведет к неверным выводам. Опыт показывает, что этот выбор вызывает наибольшие затруднения у исследователей.

Для учета национального богатства на региональном уровне, по мнению автора, принципиальное значение имеют следующие положения, которые относятся прежде всего к структуре показателя «национальное богатство»:

- для регионального уровня исследования проблема заключается в том, можно ли включать в национальное богатство природные ресурсы и социальный потенциал регионов, поскольку эти показатели значительно изменяют и усиливают дифференциацию субъектов РФ по ним;

- в какой степени изменение структуры данного показателя по стране в целом и по отдельным регионам является индикатором экономического развития.

Теоретики и практики проявляют методологический и научно-практический интерес к национальному богатству, к его содержанию, к его количественным и качественным оценкам, к долговременным показателям его динамики и к его структурным изменениям. Это внимание заметно как в специфических условиях трансформации экономики, так и в период экономического роста. При этом наблюдается изменение приоритетов государственного управления, смещающихся в сторону роста конкурентоспособности страны, и отдельных регионов, в сторону социального развития, экологизации производства, потребления и др. Национальное богатство, по мнению автора, необходимо рассматривать не только как исходный показатель макроэкономического анализа, но и как показатель, отражающий все основные, особенно долговременные, тенденции социально-экономического развития национальной экономики. Для регионов при переходе к рыночным условиям важна стоимостная полная оценка их экономического потенциала в составе национального богатства. Сложным является и анализ территориального распределения национального богатства, его структуры и динамики. Автором выявлено, что Госкомстатом России подобные расчеты не проводились и практически не проводятся и в настоящее время. Экспериментальные расчеты по официальной методологии показывают, что определяющую роль во всех районах играет стоимость основных фондов. При этом чем шире круг охватываемых национальным богатством воспроизводственных процессов, тем более полно и всесторонне отражаются в нем конкурентные преимущества

регионов, признаки наличия экономического роста и тем больше возможностей для формирования и реализации научно-обоснованной стратегии и политики развития регионов и национальной экономики России в целом.

В региональных исследованиях стран мирового сообщества используется простой и наглядный аналитический метод, носящий название «сдвиг и доля» («shift and share analysis»). Метод зарубежных аналитиков не привлек внимания российских экспертов, несмотря на его достоинства. Так, интересна составляющая этого метода – расчет региональных значений показателей: валового продукта, промышленного производства, численности занятых работников и некоторых других, которые достигались бы при том условии, что развитие отдельных отраслей национальной экономики происходило одинаковыми для всей территории страны темпами. Вместе с тем в отечественной теории и практике появились расчеты по этому методу применительно к индексу промышленного производства в каждом из российских регионов [3]. Автором представлены результаты использования этого метода по Центральному, Сибирскому и Уральскому федеральным округам в табл. 1.

В стратегической перспективе важно также рассмотрение проблем, связанных с изучением кадрового разреза региональной политики по отраслям РФ, представленным в регионах. Так, в ЦЧР-ЦФО по решению Совета промышленников и предпринимателей Воронежской области при поддержке Торгово-промышленной палаты РФ было проведено исследование 45 ведущих организаций различных отраслей: промышленные предприятия, инновационный сектор, финансовый сектор, госслужба, коммуникационный сектор и сектор здравоохранения, отраслевая структура которых выглядит следующим образом: аэрокосмическая отрасль, горнодобывающая промышленность, машиностроительная отрасль, легкая промышленность, государственные учреждения, пищевая промышленность, приборостроение, производство строительных материалов и конструкций, химическая промышленность и др., – с целью оценки влияния глубины финансового кризиса и деловой активности региона на структуру и уровень потребностей работодателей по отраслям региона в квалифицированном персонале [4]. Исследования охватили период начала проявления кризиса (2008–2009 гг.) и относительной стабилизации экономической ситуации (2010 г.). Ожидания работодателей являются достаточно пессимистическими, поскольку начало экономического роста большинство из них прогнозирует не ранее 2011–2012 гг. На рис. 1 и 2 отражено влияние финансового кризиса и влияние деловой активности региона на структуру и уровень потребности отраслей региона в работниках, имеющих высокие профессиональные компетенции и способных обновлять региональный экономический потенциал в условиях преобразования государственного управления [5].

Обеспечить рост конкурентоспособности регионов, обновить экономический потенциал регионов и

отраслей в условиях структурных преобразований государственного управления, по нашему мнению, могут только квалифицированные работники, поэтому проблема приобретения профессиональных

компетенций и инновационного обновления образования в рамках переподготовки и повышения квалификации персонала в регионах стоит достаточно остро [6].

Таблица 1

**Результаты региональных исследований, полученные
с помощью аналитического метода «сдвиг и доля» [3]**

Субъекты РФ по Федеральным округам	Расчетный индекс	Фактический индекс	Субъекты РФ по Федеральным округам	Расчетный индекс	Фактический индекс
ЦФО			Сиб.ФО		
1. Белгородская область	87,7	102,3	1. Республика Алтай	91,9	82,0
2. Брянская область	79,7	80,5	2. Республика Бурятия	81,6	94,4
3. Владимирская область	79,2	77,5	3. Республика Тыва	90,5	98,8
4. Воронежская область	85,0	92,3	4. Республика Хакасия	84,7	108,5
5. Ивановская область	83,9	79,4	5. Алтайский край	85,8	88,5
7. Костромская область	81,4	77,0	6. Забайкальский край	91,8	95,2
8. Курская область	87,8	94,6	7. Красноярский край	81,7	92,5
9. Липецкая область	83,4	79,2	8. Иркутская область	82,4	92,8
10. Московская область	82,1	81,4	9. Кемеровская область	89,5	86,0
11. Орловская область	82,6	66,5	10. Новосибирская область	85,3	91,0
12. Рязанская область	83,6	80,0	11. Омская область	94,3	86,6
13. Смоленская область	82,1	86,8	12. Томская область	89,0	101,5
14. Тамбовская область	83,4	100,0	УФО		
15. Тверская область	80,1	80,1	1. Курганская область	77,4	78,9
16. Тульская область	82,6	82,2	2. Свердловская область	80,2	78,3
17. Ярославская область	79,7	76,0	3. Тюменская область с авт. окр.	97,2	96,0
18. г. Москва	89,4	76,8	4. Ханты-Мансийский АО	97,5	98,2
			5. Ямало-Ненецкий АО	97,6	88,1
			6. Челябинская область	79,9	76,2

Примечание. Индексы промышленного производства даны 2009 г. к 2008 г., %.

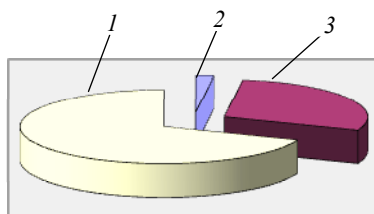


Рис. 1. Влияние финансового кризиса на структуру и уровень потребности отраслей региона в профессионально подготовленных кадрах [4]:
1 – негативное – 69 %; 2 – позитивное – 2 %, 3 – отсутствует – 29 %,

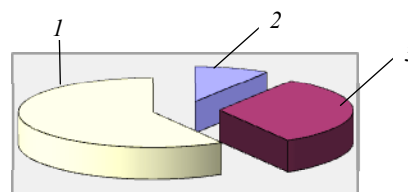


Рис. 2. Влияние деловой активности региона на структуру и уровень потребности в работниках, имеющих высокие компетенции [4]:
1 – существенное – 58 %; 2 – отсутствует – 9 %; 3 – несущественное – 33 %,

Из 45 подвергшихся анализу организаций – 21 участвует в инновационной деятельности с использованием собственных или сторонних разработок; 17 – представляет крупный бизнес, 19 – средний бизнес, 7 – малый бизнес. Практически полностью обеспечен квалифицированными специалистами, имеющими высокие профессиональные компетенции финансовый сектор, информационные и телекоммуникационные организации, госсектор, что объясняется проводимой

на федеральном и региональном уровнях политикой соответствия квалификационным требованиям. Ситуация в производственном секторе и в секторе здравоохранения не может считаться удовлетворительной.

Основные отрасли, обеспечивающие конкурентное преимущество региона ЦЧР–ЦФО, количество предприятий, по которым собиралась и анализировалась информация, и количество работников, привлеченных к опросу, показаны в табл. 2.

Основные отрасли ЦЧР – ЦФО, обеспечивающие конкурентные преимущества региона [4]

Отрасль	Кол-во организаций	Кол-во работников	Отрасль	Кол-во организаций	Кол-во работников
1. Машиностроительная отрасль	3	3 304	10. Энергетика	2	3 876
2. Горнодобывающая промышленность	1	468	11. Государственные учреждения	2	480
3. Пищевая промышленность	1	1 266	12. Здравоохранение	2	963
4. Аэрокосмическая отрасль	4	13 231	13. Кредитные организации	7	1 999
5. Приборостроение	5	10 657	14. Средства массовой информации	3	111
6. Производство строительных материалов и конструкций	3	870	15. Страховые организации	1	112
7. Обслуживание транспорта	3	760	16. Общественные организации	1	6
8. Легкая промышленность	2	667	17. Телекоммуникации	3	3 915
9. Химическая промышленность	2	6 150	Итого	45	48 835

Авторская методология предполагает, что конкурентные преимущества региона создаются и определяются следующими группами факторов:

- конкурентоспособностью страны; предпринимательской и инновационной активностью в данном регионе; уровнем соответствия параметров инфраструктуры региона федеральным и международным нормативам;

- уровнем международной интеграции и кооперирования региона; природно-климатическими, географическими, экологическими и социально-экономическими параметрами региона; уровнем и профилем государственных управленческих профессиональных компетенций персонала, осуществляющего обновление экономического потенциала региона и обеспечивающего рост его вклада в национальное богатство и др.

Таким образом, на основе этих факторов каждый регион может сформировать свои конкурентные преимущества с целью привлечения инвестиций для обновления его потенциала, учитывая, что суммарный объем антикризисных мер в РФ составляет 2045–2145 млрд руб. (5,2–5,4 % ВВП).

Предлагаемая методология и новый инструментальный позволяют формировать конкурентную карту регионального рынка с классификацией по темпу рыночной доли (быстрое улучшение конкурентной позиции, улучшение конкурентной позиции, ухудшение конкурентной позиции, быстрое ухудшение конкурентной позиции) и по рыночной доле отраслевого предприятия (лидер, сильная конкурентная позиция, слабая конкурентная позиция, аутсайдер), наметить практические рекомендации по выбору стратегии и конкуренции. Это будет способствовать повышению эффективности управленческого анализа националь-

ного богатства на региональном уровне, изменению приоритетов государственного управления для обеспечения роста конкурентоспособности страны и отдельных регионов.

Библиографические ссылки

1. Попова Т. С. Анализ конкурентоспособности ЦЧЭР России и его экономических связей с Украиной и мировым сообществом // Актуальные проблемы социально-экономического развития России на современном этапе : сб. статей Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж : Научная книга, 2008. С. 102–112.
2. Попова Т. С. Государственные приоритеты экономической политики России и ее конкурентоспособности в условиях глобального экономического кризиса // Государственное регулирование социально-экономических процессов в условиях глобального кризиса : сб. науч. тр. Междунар. научн.-практ. конф. Саратов : Научная книга, 2009. С. 68–69.
3. Кузнецова О. В. Федеральная региональная политика: проверка кризисом // Российский экономический журнал. 2009. № 9, 10. С. 27–37.
4. Анализ кадровых потребностей бизнес-сообщества Воронежской области / под научн. рук. Д. А. Ендовицкого. Воронеж, ВГУ, 2009. С. 29.
5. Вертакова Ю. В., Симоненко Е. С. Управление инновациями: теория и практика. М. : Эксмо, 2008. С. 432.
6. Попова Т. С. Развитие стратегических подходов к формированию конкурентных преимуществ российских менеджеров // Управление человеческими ресурсами – основа развития инновационной экономики : тез. I Междунар. науч.-практ. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2009. С. 133–135.

T. S. Popova

**COMPETITIVE ADVANTAGES AND ECONOMIC POTENTIAL
OF REGIONS IN NATIONAL WEALTH OF RUSSIA**

The author considers problems of management of the regional economic potential and its updating in the conditions of structural reforms of the Russian economy, which are of particular practical importance, and therefore, studying the regional differences in national wealth, it is necessary to give the correct assessment to the competitive advantages of the region and be able to manage them for the improvement of the economic positions of Russia. Methodology and management tools for the study of the problem are offered.

Key words: economic potential of the country, regional economic potential, business activity in the region, economic growth rates, indices of industrial production, regional differences in national wealth.

© Попова Т. С., 2012

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексеева Евгения Юрьевна – старший преподаватель кафедры финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – управление социальными инвестициями. E-mail: alexseeva_85@mail.ru.

Алешечкин Андрей Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных систем института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1994 г. Область научных интересов – аппаратура и методы вторичной обработки сигналов морских радионавигационных систем, аппаратура потребителей спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС, GPS. E-mail: Aleshechkin.Andrej@yandex.ru.

Антамошкина Елена Александровна – кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – моделирование экономических процессов. E-mail: e-lena-ant@mail.ru.

Ахмедова Шахназ Агасувар кызы – бакалавр прикладной математики и информатики, студентка магистратуры кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский федеральный университет в 2012 г. Область научных интересов – стохастическая оптимизация, интеллектуальные информационные технологии. E-mail: shahnaz@inbox.ru.

Бахмарева Кристина Константиновна – лаборант-исследователь, студентка Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – информационно-телекоммуникационные технологии. E-mail: kleniks@yandex.ru.

Богданов Константин Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – системы автоматизированного проектирования, системы электропитания космических аппаратов. E-mail: bogdanov@pinedesign.ru.

Богданов Сергей Геннадьевич – заместитель генерального директора – руководитель проекта «Технопарк» ОАО «Красмаш». Окончил Красноярский завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1986 г. Область научных интересов – машиностроение, управление и экономика предприятия. E-mail: Bsg04@mail.ru.

Бойко Андрей Анатольевич – кандидат экономических наук, доцент, профессор кафедры менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского государственного политехнического института в 1990 г. Область научных интересов – управление основными производственными фондами машиностроительных предприятий. E-mail: boiko@sibsau.ru.

Бородин Александр Иванович – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и финансов фирмы Национального исследовательского университета – Высшей школы экономики (г. Москва). Окончил Воронежский государственный университет в 1995 г. Область научных интересов – экономика промышленности, бюджетирование, финансы предприятий. E-mail: aib-2004@yandex.ru.

Брезицкая Валерия Витальевна – магистрант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский федеральный университет в 2006 г. Область научных интересов – информационно-телекоммуникационные технологии. E-mail: kleniks@yandex.ru.

Буров Андрей Ефимович – кандидат технических наук, докторант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, старший научный сотрудник специального конструкторско-технологического бюро «Наука» Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский политехнический институт в 1987 г. Область научных интересов – моделирование деформирования и разрушение, конструкционная прочность. E-mail: andrey@icm.krasn.ru.

Вайтекунен Елена Леонидовна – старший преподаватель кафедры информационных экономических систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1989 г. Область научных интересов – моделирование процессов. E-mail: ies_vel@sibsau.ru.

Варганов Сергей Александрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева; PhD, assistant professor University of Nevada, Reno, USA. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 1999 г. Область научных интересов – квантово-химические расчеты. E-mail: svarganov@unr.edu.

Варнаков Сергей Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2001 г. Область научных интересов –

изучение физических свойств низкоразмерных магнитных пленок и многослойных систем. E-mail: vsn@iph.krasn.ru.

Вахтеев Евгений Викторович – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2008 г. Область научных интересов – упрочнение поверхности металлических материалов, микродуговая обработка алюминиевых сплавов. E-mail: evahteev@gmail.com.

Вергазов Матвей Юрьевич – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – проектирование электронных систем и устройств, технология разработки программных средств. Тел. 8(391)262-18-47.

Гасанова Татьяна Олеговна – магистр прикладной математики и информатики, аспирантка кафедры диалоговых систем университета г. Ульма (Германия). Окончила Сибирский федеральный университет в 2010 г. Область научных интересов – математическое моделирование и оптимизация, машинное обучение, диалоговые системы. E-mail: tatiana.gasanova@uni-ulm.de.

Гильц Надежда Евгеньевна – старший преподаватель кафедры логистика Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – инструменты и методы менеджмента промышленных предприятий, отраслей, комплексов. E-mail: negilts@mail.ru.

Гирн Алексей Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры летательных аппаратов Сибирского аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию в 1998 г. Область научных интересов – упрочнение поверхности металлических материалов, микродуговая обработка алюминиевых и титановых сплавов, композиционные материалы. E-mail: girn007@gmail.com.

Голощапова Ольга Сергеевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный торгово-экономический институт в 2001 г. Область научных интересов – инвестиционная, инновационная деятельность. E-mail: gos@admkrsk.ru.

Гостева Ольга Валерьевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию в 1993 г. и Университет Российской академии образования в 1999 г. Область научных интересов – экономика, менеджмент. E-mail: ov-gosteva@yandex.ru.

Даценко Анжелика Викторовна – магистрант кафедры системного анализа и исследования опера-

ций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – разработка бизнес-процессов в управлении. E-mail: datsenkoan@mail.com.

Двирный Валерий Васильевич – доктор технических наук, заместитель начальника патентно-информационного отдела ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», профессор Красноярского государственного технического университета, академик Международной академии холода, член-корреспондент Сибирской академии наук высшей школы, академический советник Российской инженерной академии. Окончил Московский авиационный институт в 1969 г. Область научных интересов – агрегаты спутников связи и информационные технологии по производству космических аппаратов, информационное обеспечение. E-mail: dvirnyi@mail.ru.

Дмитриев Геннадий Валерьевич – начальник группы ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Ленинградский механический институт в 1988 г. Область научных интересов – проектирование систем терморегулирования космических аппаратов, двухфазные системы терморегулирования. Тел. 8 (3919) 76-52-89.

Дмитриев Дмитрий Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент института военного обучения Сибирского федерального университета. Окончил Красноярское высшее командное училище радиоэлектроники ПВО в 1995 г. Область научных интересов – радиолокация, радионавигация. E-mail: dmitriev121074@mail.ru.

Добросмыслов Сергей Сергеевич – младший научный сотрудник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – материаловедение, наноструктуры. E-mail: dobrosmyslov.s.s@gmail.com.

Дудник Александр Иванович – инженер института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – химические источники тока. Тел. 8 (923) 289-16-92.

Елисеева Наталья Сергеевна – инженер Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский федеральный университет в 2012 г. Область научных интересов – квантово-химические расчеты. E-mail: nataxa1.09@mail.ru.

Елисова Анна Петровна – ассистент кафедры высшей математики и информатики Лесосибирского педагогического института – филиала Сибирского федерального университета. Окончила Лесосибирский педагогический институт – филиал Сибирского федерального университета в 2008 г.; аспирантуру института математики Сибирского федерального университета в 2012 г. Область научных интересов –

теория групп, теория колец, локальные автоморфизмы и локальные дифференцирования нильпотентных алгебр. E-mail: anshub@mail.ru.

Елфимова Марина Владимировна – заместитель начальника кафедры пожарно-технических экспертиз Сибирского института пожарной безопасности – филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. Окончила Восточно-Сибирский институт МВД России в 2008 г. Область научных интересов – анализ, управление и обработка информации, а также техническая направленность в области пожарной и промышленной безопасности. E-mail: elfimar@mail.ru.

Еремеев Дмитрий Викторович – кандидат экономических наук, заместитель заведующего кафедрой финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию в 1996 г. Область научных интересов – инновации, экономика предприятия. E-mail: eremeev.dmitriy@gmail.ru.

Ерыгин Юрий Владимирович – доктор экономических наук, первый проректор – проректор по образовательной деятельности Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Алтайский политехнический институт имени И. И. Ползунова в 1985 г.; аспирантуру Ленинградского политехнического института имени М. И. Калинина в 1989 г. Область научных интересов – стратегический и инновационный менеджмент. E-mail: yuri_erygin@mail.ru.

Жуйков Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 1999 г. Область научных интересов – гидрогазодинамика турбокомпрессорных агрегатов. E-mail: dimitri_z@inbox.ru.

Заблочкая Ксения Владимировна – магистр техники и технологий, аспирантка кафедры диалоговых систем университета города Ульма (Германия). Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – математическое моделирование и оптимизация, семантический анализ, психологический анализ текстов. E-mail: kseniya.zablotskaya@uni-ulm.de.

Заблоцкий Сергей Геннадьевич – магистр техники и технологий, аспирант кафедры диалоговых систем университета города Ульма (Германия). Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – математическое моделирование и оптимизация, лексическое и лингвистическое моделирование, автоматическое распознавание речи. E-mail: sergey.zablotskiy@uni-ulm.de.

Звонарь Василий Дмитриевич – кандидат технических наук, начальник отдела ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика

М. Ф. Решетнева». Окончил Харьковский авиационный институт в 1976 г. Область научных интересов – проектирование космических систем и космических аппаратов координатно-метрического назначения. Тел. 8 (3919) 76-52-89.

Золотарев Александр Владимирович – аспирант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2011 г. Область научных интересов – информационная безопасность. E-mail: zoloto_8787@mail.ru.

Зуев Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – тепло- и массообмен, пространственный пограничный слой. E-mail: dla2011@inbox.ru.

Инсинга Ричард – Associate Professor Emeritus State University of New York at Oneonta, доктор наук, почетный профессор Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Колумбийский университет (США, г. Нью-Йорк) в 1971 г. Область научных интересов – технология машиностроения, инженерия, экономика. E-mail: insingrc@oneonta.edu.

Карасева Маргарита Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный педагогический институт в 1990 г.; Сибирскую аэрокосмическую академию в 1999 г. Область научных интересов – мультилингвистическая технология обучения иностранным языкам, разработка частотных терминологических словарей. E-mail: karaseva-margarita@rambler.ru.

Кирко Владимир Игоревич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой менеджмента производственных и социальных процессов института управления бизнес-процессами и экономики Сибирского федерального университета. Окончил Новосибирский государственный университет в 1974 г. Область научных интересов – материаловедение, наноструктуры. E-mail: director.nifti@mail.ru.

Кишкин Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой холодильной, криогенной техники и кондиционирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-вуз – филиал Красноярского политехнического института в 1985 г. Область научных интересов – гидро и газодинамика турбомашин, тепло и массообмен. E-mail: spsp99@mail.ru.

Ковалев Дмитрий Игоревич – лаборант-исследователь Сибирского государственного аэрокосмиче-

ского университета имени академика М. Ф. Решетнева, студент Сибирского федерального университета. Область научных интересов – информационно-телекоммуникационные технологии. E-mail: kleniks@yandex.ru.

Колмыков Владимир Афанасьевич – кандидат технических наук, генеральный директор ОАО «Красмаш». Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1988 г. Область научных интересов – организация, управление и технология производства ракетно-космической техники. E-mail: kras@krasmail.ru.

Коннов Валерий Григорьевич – заместитель генерального директора по научно-технической работе – технический директор ФГУП НПП «Радиосвязь». Окончил Красноярский государственный технический университет в 1977 г. Область научных интересов – радиосвязь, радионавигация. Тел. 8-902-922-31-94.

Кононов Юрий Сергеевич – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Института химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Московский институт цветных металлов в 1954 г. Область научных интересов – гидрометаллургия благородных металлов, сорбционные процессы. E-mail: kononov@icct.ru.

Кузубов Александр Александрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, доцент кафедры физической и неорганической химии института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный университет в 1997 г. Область научных интересов – квантово-химические расчеты. E-mail: alex_xx@rambler.ru.

Кузьмин Владимир Иванович – доктор химических наук, заведующий лабораторией Института химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Московский химико-технологический институт имени Д. И. Менделеева в 1974 г. Область научных интересов – металлургия цветных и редких металлов, физикохимия, технология неорганических веществ; процессы вскрытия редкометалльного сырья, извлечения и разделения близких по свойствам элементов. E-mail: kuzmin_vi@mail.ru.

Левко Валерий Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1988 г. Область научных интересов – финишная обработка, механика предельно деформируемого твердого тела, технология машиностроения, инженерная педагогика. E-mail: levko@sibsau.ru.

Леонова Таисия Александровна – аспирант института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончила ма-

гистратуру Сибирского федерального университета в 2012 г. Область научных интересов – химические источники тока. E-mail: acbka1346@mail.ru.

Липинский Леонид Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – интеллектуальные информационные технологии, эволюционные вычисления, поддержка принятия решений. E-mail: lipinskiyl@mail.ru.

Личаргин Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры разговорного иностранного языка института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета, докторант Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный педагогический университет в 1998 г. Область научных интересов – искусственный интеллект, инженерная лингвистика, математическая семантика, теория формальных грамматик. E-mail: lichdv@hotmail.ru.

Лобанов Дмитрий Константинович – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2010 г. Область научных интересов – испытание энергосистем космических аппаратов. E-mail: u649@yandex.ru.

Ловчиков Анатолий Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1970 г. Область научных интересов – системы автоматизированного проектирования, системы электропитания космических аппаратов. E-mail: ivt_anlovch@sibsau.ru.

Лыхин Александр Олегович – инженер Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, студент института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Область научных интересов – квантово-химические расчеты. E-mail: alexandr_lykhin@mail.ru.

Лященко Сергей Александрович – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2011 г. Область научных интересов – сверхвысоковакуумная технология многослойных наноструктур, спектральная эллипсометрия. E-mail: fenics_star@mail.ru.

Макаренко Григорий Константинович – главный специалист ОАО «МРСК Сибири». Окончил Красноярский государственный технический университет в 2006 г. Область научных интересов – использование аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем в электроэнергетике. E-mail: MakarenkoGK@gmail.com.

Мизрах Енис Аврумович – кандидат технических наук, профессор кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1967 г. Область научных интересов – энергетические системы космических аппаратов. E-mail: enis-home@mail.ru.

Минкер Вольфганг – дважды доктор-инженер, профессор и ассоциативный директор института техники связи университета г. Ульма (Германию). Первую докторскую диссертацию по инженерным наукам защитил в 1997 г. в университете г. Карлсруэ. Вторая докторская диссертация по компьютерным наукам была защищена в 1998 в университете Париж-Юг (Франция). Область научных интересов – диалоговые системы, семантический анализ и моделирование диалогов, оценка качества диалоговых систем. E-mail: wolfgang.minker@uni-ulm.de.

Мирзаев Роман Александрович – аспирант кафедры технической механики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2011 г. Область научных интересов – робототехника, мехатроника. E-mail: ramirzaev@mail.ru.

Михеев Анатолий Егорович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1973 г. Область научных интересов – плазменная технология и нанесение защитных покрытий на алюминиевые сплавы методом микродугового оксидирования. E-mail: mihla@mail.ru.

Нагибин Геннадий Ефимович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный университет в 1997 г. Область научных интересов – материаловедение, теплофизические свойства веществ. E-mail: nagibin1@gmail.ru.

Назаров Владимир Павлович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1973 г. Область научных интересов – технология производства ракетных двигателей. Тел. 262-95-61.

Николаева Наталья Владимировна – старший преподаватель кафедры разговорного иностранного языка института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный педагогический университет в 2004 г. Область научных интересов – компьютерная лингвистика, перевод и межкультурная коммуникация. E-mail: nikolnat@mail.ru.

Новикова Ирина Николаевна – ассистент кафедры финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2010 г. Область научных интересов – менеджмент аэрокосмического предприятия. E-mail: iranovikova2009@yandex.ru.

Носенков Александр Алексеевич – доктор технических наук, профессор Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Омский институт инженеров транспорта в 1964 г., аспирантуру Ленинградского военно-механического института «Военмех» в 1979 г. Область научных интересов – обеспечение эффективности и качества сложных механических систем. Тел. 8(3912)62-27-80.

Оборин Лев Александрович – кандидат технических наук, советник по науке и технике генерального директора ОАО «Красмаш». Окончил Пермский политехнический институт в 1971 г. Область научных интересов – теория литейных процессов, технология литья по выплавляемым моделям в производстве двигателей летательных аппаратов. E-mail: kras@krasmail.ru.

Овчинников Сергей Геннадьевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры электронной техники и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1972 г. Область научных интересов – особенности спинового, зарядового и орбитального упорядочений в кобальтидах, магнитные переходы в Fe_2O_3 , энергии возбуждения и квантовых фазовых переходов в оксидах меди, экспериментальное наблюдение виртуальных электронных состояний мотт-хаббардовского диэлектрика FeBO_3 в спектрах инфракрасного поглощения. E-mail: sgo@iph.krasn.ru.

Огнерубов Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2003 г. Область научных интересов – информационно-телекоммуникационные технологии. E-mail: kleniks@yandex.ru.

Орлова Дарья Владимировна – аспирант, инженер кафедры летательных аппаратов Сибирского аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2011 г. Область научных интересов – микродуговое оксидирование, анализ свойств покрытий, МДО титановых и алюминиевых сплавов. E-mail: Dashaorlova12@yandex.ru.

Осипова Ирина Владимировна – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Красноярский государственный технический универ-

ситет в 2006 г. Область научных интересов – плазмохимический синтез углеродных наноструктур. E-mail: churilov@iph.krasn.ru.

Панфилова Татьяна Александровна – инженер отдела повышения кадров высшей квалификации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный технологический университет в 2006 г. Область научных интересов – математическое моделирование, оптимизация, нечеткая логика. E-mail: panfilova@sibsau.ru.

Пашков Геннадий Леонидович – доктор технических наук, член-корреспондент РАН, советник Российской академии наук. Окончил Петропавловский педагогический институт в 1962 г.; Всесоюзный заочный политехнический институт в 1968 г. Область научных интересов – металлургия цветных и редких металлов, физикохимия, технология неорганических веществ. E-mail: glpkrsk@rambler.ru.

Попов Евгений Александрович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1973 г. Область научных интересов – физика твердого тела, технологии обработки экспериментальных данных. E-mail: eropov@bmail.ru.

Попов Захар Иванович – младший научный сотрудник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – материаловедение, теплофизические свойства веществ. E-mail: zipcool@bk.ru.

Попова Татьяна Сергеевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры управления, организации производства и отраслевой экономики Воронежского государственного университета инженерных технологий. Окончила Воронежский государственный технический университет в 1973 г. Область научных интересов – управление структурными преобразованиями национальной экономики России с целью повышения её конкурентоспособности. E-mail: dysya704@mail.ru.

Рыжиков Иван Сергеевич – магистр техники и технологий, аспирант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2011 г. Область научных интересов – системный анализ, глобальная оптимизация, динамические системы, идентификация, управление. E-mail: ryzhikov-88@yandex.ru.

Саакян Аревик Мансовна – старший преподаватель кафедры финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени

академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – налоги и налогообложение, инновационная деятельность промышленных предприятий, инвестиции. E-mail: revishatka@mail.ru.

Саунин Виктор Николаевич – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник кафедры технической физики, лаборатории «Вулкан» Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-вуз – филиал Красноярского политехнического института в 1973 г. Область научных интересов – газоплазменное напыление, покрытие заданными свойствами, синтез наноматериалов. Т. 8(391)291-90-71.

Сафонов Константин Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1980 г. Область научных интересов – многомерный комплексный анализ, фундаментальная информатика. E-mail: safonovkv@rambler.ru.

Семенкин Евгений Станиславович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Кемеровский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – моделирование и оптимизация сложных систем, интеллектуальные информационные технологии, эволюционные алгоритмы. E-mail: eugenesemenkin@yandex.ru.

Семенкина Мария Евгеньевна – магистр техники и технологий, аспирантка кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2012 г. Область научных интересов – интеллектуальные информационные технологии, эволюционные вычисления. E-mail: semenkina88@mail.ru.

Семенкина Ольга Евгеньевна – бакалавр прикладной математики и информатики, магистрант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила институт математики Сибирского федерального университета в 2012 г. Область научных интересов – эволюционные алгоритмы, интеллектуальный анализ данных, комбинаторные задачи оптимизации. E-mail: oleese@mail.ru.

Сенашов Сергей Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных экономических систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1975 г. Область научных интересов – механика деформируемого твердого тела. E-mail: sen@sibsau.ru.

Сергиенко Роман Борисович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2010 г. Область научных интересов – интеллектуальные информационные технологии, интеллектуальный анализ данных. E-mail: romaserg@list.ru.

Середин Александр Иванович – аспирант Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2011 г. Область научных интересов – информационно-телекоммуникационные технологии. E-mail: AlexzanderIV@yandex.ru.

Сержантова Мария Викторовна – инженер кафедры информационно-управляющих систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – квантово-химические расчеты. E-mail: sunrise.86@mail.ru.

Сидоров Максим Юрьевич – магистр техники и технологий, аспирант кафедры диалоговых систем университета города Ульма, Германия. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2012 г. Область научных интересов – математическое моделирование и оптимизация, нейросетевые технологии, прогнозирование финансовых временных рядов, анализ речевых сигналов. E-mail: maxim.sidorov@uni-ulm.de.

Смешко Юрий Викторович – магистр техники и технологий, аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил магистратуру Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева в 2012 г. Область научных интересов – моделирование и управление технологическими процессами, интеллектуальные информационные технологии. E-mail: yurasm@inbox.ru.

Смирнов Николай Анатольевич – доктор технических наук, профессор, директор НИИ ракетно-космической техники, заведующий кафедрой технической механики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1978 г. Область научных интересов – робототехника, мехатроника, механика сложных технических систем. E-mail: smirnov@sibsau.ru.

Ступина Алена Александровна – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию в 1996 г. Область научных интересов – системный анализ сложных систем. E-mail: saa5@yandex.ru.

Сулейманова Галина Сафиуллановна – кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Института математики Сибирского федерального университета. Окончила Хакасский государственный университет в 1997 г. Область научных интересов – теория групп. E-mail: suleymanova@list.ru.

Тарасов Иван Анатольевич – аспирант Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Сибирский федеральный университет в 2010 г. Область научных интересов – эллипсометрия, численные методы в эллипсометрии. E-mail: tia@iph.krasn.ru.

Телегин Сергей Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры технической физики, лаборатории «Вулкан» Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский институт космической техники в 1989 г. Область научных интересов – газоплазменное напыление, покрытие заданными свойствами, синтез наноматериалов. E-mail: telegin@sibsau.ru.

Тестоедов Николай Алексеевич – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии космонавтики имени К. Э. Циолковского, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, генеральный конструктор и генеральный директор ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Ленинградский военно-механический институт «Военмех» в 1974 г. Область научных интересов – проектирование космических аппаратов и космических систем. Тел. 8 (3919) 76-47-86.

Толстомятов Михаил Игоревич – учебный мастер кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2010 г. Область научных интересов – пограничный слой, теплообмен, теплоотдача, закрученные потоки. E-mail: kam1kag3e@mail.ru.

Трушкина Татьяна Владимировна – аспирант Сибирского аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный технологический университет в 2008 г. Область научных интересов – формирование многофункциональных покрытий на алюминиевые сплавы методом микродугового оксидирования, анализ свойств покрытий. E-mail: Tatyana.si@mail.ru.

Тяпкин Валерий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности информационных технологий Сибирского аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, профессор институт военного обучения Сибирский федеральный университета. Окончил Красноярское высшее командное училище радиоэлектроники ПВО в 1979 г., Военно-инженерную радиотехническую академию противовоздушной обороны имени Говорова в

1992 г. Область научных интересов – радиолокация, радионавигация. E-mail: tyarkin58@mail.ru.

Ультес Штефан – дипломированный инженер, аспирант кафедры диалоговых систем университета г. Ульма (Германия). Окончил институт технологий в Карлсруэ (Германия) в 2011 г. Область научных интересов – языковые диалоговые системы, распознавание эмоций, машинное обучение.

Фатеев Юрий Леонидович – доктор технических наук, профессор кафедры радиотехники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1989 г. Область научных интересов – радионавигационные системы, определение пространственной ориентации на основе спутниковых радионавигационных систем. E-mail: fateev_yury@inbox.ru.

Фаткулин Роман Фаритович – начальник сектора ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию в 1998 г. Область научных интересов – проектирование космических систем и космических аппаратов координатно-метрического назначения. Тел. 8 (3919) 76-52-89.

Фернандес-Мартинез Фернандо – доктор-инженер, профессор кафедры инженерной электроники Политехнического университета Мадрида (Испания). Окончил аспирантуру факультета телекоммуникационных технологий по направлению «Речевые технологии» в 2008 г. Область научных интересов – распознавание речи, эмоциональные агенты, диалоговые системы, идентификация темы диалога.

Филатов Юрий Тимофеевич – главный инженер Химического завода – филиала ОАО «Красноярский машиностроительный завод». Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1981 г. Область научных интересов – ракетная техника. E-mail: tcarhz@mail.ru.

Филишина Елена Владимировна – ассистент кафедры информационных экономических систем Сибирского государственного аэрокосмического университета. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2011 г. Область научных интересов – механика деформируемого твердого тела. E-mail: filyushina@sibsau.ru.

Ханов Владислав Ханифович – кандидат технических наук, заведующий кафедры безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1986 г. Область научных интересов – цифровая обработка сигналов. E-mail: hanov@sibsau.ru.

Царев Роман Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государст-

венный технический университет в 1999 г. Область научных интересов – информационные технологии, мультиверсионное программное обеспечение, многоатрибутивные методы принятия решений, космические системы. E-mail: rahatamatahata@mail.ru.

Чеботарев Виктор Евдокимович – доктор технических наук, профессор, ведущий инженер-конструктор ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Харьковский государственный университет в 1963 г. Область научных интересов – проектирование космических систем и космических аппаратов, системотехника и системная инженерия. E-mail: chebotarev@iss-reshetnev.ru.

Чекмарев Сергей Анатольевич – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2010 г. Область научных интересов – проектирование электронных систем и устройств, инженерия разработки программных средств, конструирование электронной аппаратуры. Т 8 (391) 262-18-47.

Чубарева Елена Борисовна – старший преподаватель кафедры разговорного иностранного языка института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный педагогический институт в 1981 г. Область научных интересов – компьютерная лингвистика, адекватность перевода. E-mail: chubareva08@mail.ru.

Чурилов Григорий Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией аналитических методов исследования веществ института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 1976 г. Область научных интересов – плазмохимический синтез углеродных наноструктур. E-mail: churilov@iph.krasn.ru.

Шабалов Андрей Андреевич – магистр техники и технологий, аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил институт информатики и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева в 2012 г. Область научных интересов – интеллектуальные информационные технологии, эволюционные алгоритмы. E-mail: shabalov-andrey@mail.ru.

Шахматов Александр Владимирович – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – проектирование электронных систем и устройств, инженерия разработки программных средств, конструирование электронной аппаратуры. Т 8(391)262-18-47.

Шевцов Дмитрий Валентинович – инженер-исследователь Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 2006 г. Область научных интересов – технология молекулярно-лучевой эпитаксии, магнитные и полупроводниковые тонкие пленки и многослойные структуры. E-mail: snowmen82@mail.ru.

Шлепкин Алексей Анатольевич – ассистент кафедры высшей математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский федеральный университет в 2012 г. Область научных интересов – вычислительная теория групп. E-mail: shlyopkin@mail.ru.

Шмит Александр – доктор-инженер, научный сотрудник кафедры диалоговых систем университета г. Ульма (Германия). Докторскую диссертацию защитил в институте техники связи Ульмского университета в 2012 г. Область научных интересов – информацион-

ные технологии, диалоговые системы, машинное обучение.

Штарик Андрей Викторович – аспирант кафедры информатики Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2010 г. Область научных интересов – системный анализ, программное обеспечение, надежность, космические системы. E-mail: shtarik@mail.ru .

Штарик Елена Николаевна – аспирант кафедры информатики Сибирского федерального университета. Окончила Сибирский федеральный университет в 2010 г. Область научных интересов – информационные технологии, программное обеспечение, надежность, космические системы. E-mail: zozylia.elena@gmail.com.

Эль Хаб Роберт – закончил бакалавриат университета г. Ульма (Германия) в 2010 г., студент магистратуры Ульмского университета. Область научных интересов – языковые диалоговые системы, математическое моделирование.

ABOUT THE AUTHORS

Alekseeva Evgenia Yurevna – senior teacher of the chair of finance and credit of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2007. Area of scientific interests – management of social investments. E-mail: alexseeva_85@mail.ru.

Aleshechkin Andrey Mikhaylovich – Doctor of Science (Engineering), professor of the chair of radio-electronic systems of institute of engineering physics and radio electronics of the Siberian federal university. Graduated from Krasnoyarsk state technical university in 1994. Area of scientific interests – equipment and methods of secondary processing of signals of sea radio navigational systems, equipment of consumers of satellite radio navigational systems of GLONASS, GPS. E-mail: Aleshechkin.Andrej@yandex.ru.

Antamoshkina Elena Aleksandrovna – Candidate of Science (Economics), associate professor of the chair of management of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2003. Area of scientific interests – modeling of economic processes. E-mail: e-lena-ant@mail.ru.

Akhmedova Shakhnaz Agasuvar Kyzy – Bachelor of applied mathematics and informatics, student of a magistracy of the chair of system analysis and research of operations of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian federal university in 2012. Area of scientific interests – stochastic optimization, intellectual information technologies. E-mail: shahnaz@inbox.ru.

Bakhmareva Christina Konstantinovna – laboratory research assistant of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Area of scientific interests – information and telecommunication technologies. E-mail: kleniks@yandex.ru.

Bogdanov Konstantin Valeryevich – Candidate of Science (Engineering), associate professor of informatics and computer facilities of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2004. Area of scientific interests – systems of automated design, power supply systems of spacecrafts. E-mail: bogdanov@pinedesign.ru.

Bogdanov Sergey Gennadevich – deputy director general and manager of the project «Science and technology park» of JSC «Krasmach». Graduated from Krasnoyarsk plant technical college, the branch of Krasnoyarsk polytechnical institute, in 1986. Area of scientific interests – mechanical engineering, management and enterprise economy. E-mail: Bsg04@mail.ru.

Boyko Andrey Anatolyevich – Candidate of Science (Economics), associate professor, professor of the chair of

management of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the technical college, the branch of Krasnoyarsk state polytechnic institute, in 1990. Area of scientific interests: management of fixed business assets of machine-building enterprises. E-mail: boiko@sibsau.ru.

Borodin Alexander Ivanovich – Doctor of Science (Economics), professor of the chair of economics and finance of National research university – the Higher school of economy (Moscow). Graduated from Voronezh state university in 1995. Area of scientific interests – industrial economics, budgeting, finance of enterprises. E-mail: aib-2004@yandex.ru.

Brezitskaya Valeria Vitalyevna – candidate for Master's degree of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian federal university in 2006. Area of scientific interests – information and telecommunication technologies. E-mail: kleniks@yandex.ru.

Burov Andrey Efimovich – Candidate of Science (Engineering), doctoral candidate of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev, senior research assistant of special designing and technological bureau «Nauka» of Krasnoyarsk scientific center of the Siberian office of the Russian Academy of Sciences. Graduated from Krasnoyarsk polytechnical institute in 1987. Area of scientific interests – modeling of deformation and destruction, constructional durability. E-mail: andrey@icm.krasn.ru.

Vaytekunene Elena Leonidovna – senior teacher of the chair of information economic systems of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from plant technical college, the branch of Krasnoyarsk polytechnical institute, in 1989. Area of scientific interests – modeling of processes. E-mail: ies_vel@sibsau.ru.

Varganov Sergey Aleksandrovich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, senior research assistant of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev; PhD, assistant professor of the University of Nevada, Reno, USA. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 1999. Area of scientific interests – quantum and chemical calculations. E-mail: svarganov@unr.edu.

Varnakov Sergey Nikolaevich – Candidate of Science (Engineering), senior research assistant of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2001. Area of scientific interests – study of physical properties of low-dimensional magnetic films and multilayered systems. E-mail: vsn@iph.krasn.ru.

Vakhteev Evgeny Viktorovich – graduate student of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2008. Graduated from the Siberian state aerospace university named after aca-

demician M. F. Reshetnev in 2008. Area of scientific interests – hardening of surfaces of metal materials, micro-arc processing of aluminum alloys. E-mail: evahteev@gmail.com.

Vergazov Matvei Yuryevich – graduate student of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Area of scientific interests – design of electronic systems and devices, technology of development of software. Tel. 8(391)262-18-47.

Gasanova Tatyana Olegovna – Master of applied mathematics and informatics, graduate student of the chair of dialogue systems of the University of Ulm (Germany). Graduated from the Siberian federal university in 2010. Area of scientific interests – mathematical modeling and optimization, machine training, dialogue systems. E-mail: tatiana.gasanova@uni-ulm.de.

Gilts Nadezhda Evgenyevna – senior teacher of the chair of logistics of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2003. Area of scientific interests – tools and methods of management of the industrial enterprises, branches, complexes. E-mail: ne-gilts@mail.ru.

Girn Alexey Vasilyevich – Candidate of Science (Engineering), associate professor of the chair of aircraft planes of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 1998. Area of scientific interests – hardening of metal materials surfaces, micro-arc processing of aluminum and titanic alloys, composite materials. E-mail: girn007@gmail.com.

Goloshchapova Olga Sergeevna – Candidate of Science (Economics), associate professor of finance and credit of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from Krasnoyarsk state institute of trade and economics in 2001. Area of scientific interests – investment, innovative activity. E-mail: gos@admkrsk.ru.

Gosteva Olga Valeryevna – Candidate of Science (Economics), associate professor of the chair of management of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian space academy in 1993 and University of the Russian academy of education in 1999. Area of scientific interests – economics, management. E-mail: ov-gosteva@yandex.ru.

Datsenko Angelica Viktorovna – candidate for Master's degree of the chair of system analysis and research of operations of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Area of scientific interests – development of business processes in management. E-mail: datsenkoan@mail.com.

Dvirny Valery Vasilyevich – Doctor of Science (Engineering), deputy chief of patent and information department of JSC «Information Satellite Systems named after academician M. F. Reshetnev», professor of Krasnoyarsk state technical university, academician of the International academy of cold, corresponding member of

the Siberian academy of Sciences of the higher school, academic adviser of the Russian engineering academy. Graduated from Moscow aviation institute in 1969. Area of scientific interests – units of satellite communication and information technologies in production of spacecrafts, informational support. E-mail: dvirnyi@mail.ru.

Dmitriev Gennady Valeryevich – chief of JSC «Information Satellite Systems group named after academician M. F. Reshetnev». Graduated from Leningrad mechanical institute in 1988. Area of scientific interests – design of systems of thermal regulation of spacecrafts, two-phase systems of thermal regulation. Tel. 8 (3919) 76-52-89.

Dmitriev Dmitry Dmitriyevich – Candidate of Science (Engineering), associate professor of the Institute of military training of the Siberian federal university. Graduated from Krasnoyarsk highest command school of radio electronics of air defense in 1995. Area of scientific interests – radar-location, radio navigation. E-mail: dmitriev121074@mail.ru.

Dobrosmyslov Sergey Sergeyevich – junior research assistant of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian federal university in 2009. Area of scientific interests – material science, nanostructures. E-mail: dobrosmyslov.s.s@gmail.com.

Dudnik Alexander Ivanovich – engineer of the Institute of physics named after L.V. Kirensky of the Siberian office of the Russian Academy of Sciences. Graduated from the Siberian federal university in 2007. Area of scientific interests – chemical current sources. Tel. 8 (923) 289-16-92.

Eliseyeva Natalia Sergeevna – engineer of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian federal university in 2012. Area of scientific interests – quantum and chemical calculations. E-mail: nataxa1.09@mail.ru.

Elisova Anna Petrovna – assistant of the chair of higher mathematics and informatics of Lesosibirsk teacher training college – branch of the Siberian federal university. Graduated from Lesosibirsk teacher training institute – branch of the Siberian federal university in 2008; graduate student of the Institute of mathematics of the Siberian federal university in 2012. Area of scientific interests – theory of groups, theory of rings, local automorphisms and local differentiations of nilpotent algebras. E-mail: anshub@mail.ru.

Elfimova Marina Vladimirovna – deputy chief of the chair of fire investigations of the Siberian institute of fire safety – branch of St. Petersburg university of State Fire Service and Ministry of emergency situations of Russia. Graduated from the East Siberian Internal Affairs institute of Russia in 2008. Area of scientific interests – analysis, management and information processing, and also a technical orientation in the field of fire and industrial security. E-mail: elfimar@mail.ru.

Eremeyev Dmitry Viktorovich – Candidate of Science (Economics), assistant manager of the chair of finance and credit of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after

academician M. F. Reshetnev in 1996. Area of scientific interests – innovations, enterprise economy. E-mail: eremeev.dmitriy@gmail.ru.

Erygin Yuri Vladimirovich – Doctor of Science (Economics), first vice rector – vice rector for educational activity of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from Altai polytechnical institute named after I.I. Polzunov in 1985; postgraduate study at Leningrad polytechnical institute named after M. I. Kalinina in 1989. Area of scientific interests – strategic and innovative management. E-mail: yuri_erygin@mail.ru.

Zhuykov Dmitry Aleksandrovich – Candidate of Science (Engineering), associate professor of the chair of engines of aircrafts of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 1999. Area of scientific interests – hydraulic gas dynamics of turbo-pump units. E-mail: dimitri_z@inbox.ru.

Zablotskaya Xenia Vladimirovna – Master of engineering and technologies, graduate student of the chair of dialogue systems of the University of Ulm (Germany). Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2007. Area of scientific interests – mathematical modeling and optimization, semantic analysis, psychological analysis of texts. E-Mail: kseniya.zablotskaya@uni-ulm.de.

Zablotsky Sergey Gennadyevich – Master of engineering and technologies, graduate student of the chair of dialogue systems of the University of Ulm (Germany). Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2007. Area of scientific interests – mathematical modeling and optimization, lexical and linguistic modeling, automatic recognition of speech. E-mail: sergey.zablotskiy@uni-ulm.de.

Zvonar Vasily Dmitriyevich – Candidate of Science (Engineering), head of department of JSC «Information Satellite Systems named after academician M. F. Reshetnev». Graduated from Kharkov aviation institute in 1976. Area of scientific interests – design of space systems and spacecrafts of coordinate and metric appointment. Ph. 8 (3919) 76-52-89.

Zolotaryov Alexander Vladimirovich – graduate student of the chair of system analysis and research of operations of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2011. Area of scientific interests – information security. E-mail: zoloto_8787@mail.ru.

Zuyev Alexander Aleksandrovich – Candidate of Science (Engineering), associate professor of engines of aircrafts of the Siberian state space university of a name of academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2003. Area of scientific interests –

heat- and mass- exchange, boundary layer. E-mail: dla2011@inbox.ru.

Insinga Richard – associate professor of Emeritus State University of New York at Oneonta, Doctor of Science, honorable professor of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Colombian university (the USA, New York) in 1971. Area of scientific interests – mechanical engineering technology, engineering, economics. E-mail: E-mail: insingrc@oneonta.edu.

Karaseva Margarita Vladimirovna – Candidate of Science (Engineering), associate professor of the chair of system analysis and research of operations of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from Krasnoyarsk state teacher training institute in 1990 and from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 1999. Area of scientific interests – multilingual technology of training in foreign languages, development of frequency word terminological books. E-mail: karaseva-margarita@rambler.ru.

Kirko Vladimir Igorevich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, head of the chair of management of production and social processes of the Institute of management of business processes and economy of the Siberian federal university. Graduated from Novosibirsk state university in 1974. Area of scientific interests – materials science, nanostructures. E-mail: director.nifti@mail.ru.

Kishkin Alexander Anatolyevich – Doctor of Science (Engineering), professor, head of the chair of refrigerating, cryogenic equipment and conditioning of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from plant technical college, the branch of Krasnoyarsk polytechnical institute, in 1985. Area of scientific interests – hydro-and-gas-dynamics of turbo-machines, heat- and- mass exchange. E-mail: spsp99@mail.ru.

Kovalev Dmitry Igorevich – laboratory research assistant of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev, student of the Siberian federal university. Area of scientific interests – information and telecommunication technologies. E-mail: kleniks@yandex.ru.

Kalmykov Vladimir Afanasyevich – Candidate of Science (Engineering), director general of JSC «Kras-mash». Graduated from plant technical college, the branch of Krasnoyarsk polytechnical institute, in 1988. Area of scientific interests – organization, management and the rocket-and-space equipment production technology. E-mail: kras@krasmail.ru.

Konnov Valery Grigoryevich – deputy director general for scientific and technical work – the technical director of Federal State Unitary Enterprise «NPP Radiosvyaz». Graduated from Krasnoyarsk state technical university in 1977. Area of scientific interests – radio communication, radio navigation. Tel. 8-902-922-31-94.

Kononov Yuri Sergeyevich – Candidate of Science (Chemistry), leading research officer of the Institute of chemistry and chemical technology of the Siberian office

of the Russian Academy of Sciences. Graduated from Moscow institute of non-ferrous metals in 1954. Area of scientific interests – hydrometallurgy of precious metals, sorption processes. E-mail: kononov@icct.ru.

Kuzubov Alexander Aleksandrovich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, senior research assistance of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev, associate professor of physical and inorganic chemistry of the Institute of non-ferrous metals and materials science of the Siberian federal university. Graduated from Krasnoyarsk state university in 1997. Area of scientific interests – quantum and chemical calculations. E-mail: alex_xx@rambler.ru.

Kuzmin Vladimir Ivanovich – Doctor of Science (Chemistry), head of laboratory of the Institute of chemistry and chemical technology of the Siberian office of the Russian Academy of Sciences. Graduated from Moscow institute of chemistry and chemical engineering named after D.I.Mendeleyev in 1974. Area of scientific interests – metallurgy of non-ferrous and rare metals, physicochemistry, technology of inorganic substances; processes of extraction of rare-metal raw materials, extraction and division elements, related by properties. E-mail: kuzmin_vi@mail.ru.

Levko Valery Anatolyevich – Doctor of Science (Engineering), professor of the chair of technology of mechanical engineering of the Siberian state space university of a name of academician M. F. Reshetnev. I graduated from Krasnoyarsk plant technical college – branch of Krasnoyarsk polytechnical institute in 1988. Area of scientific interests – finishing processing, mechanics of extremely deformable firm body, technology of mechanical engineering, engineering pedagogics. E-mail: levko@sibsau.ru.

Leonova Taisiya Aleksandrovn – graduate student of the Institute of engineering physics and radio electronics of the Siberian federal university. Gained Master's degree at the Siberian federal university in 2012. Area of scientific interests – chemical sources of current. E-mail: acbka1346@mail.ru.

Lipinsky Leonid Vitalyevich – Candidate of Science (Engineering), associate professor of the chair of system analysis and research of operations of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2006. Area of scientific interests – intellectual information technologies, evolutionary calculations, decision-making support. E-mail: lipinskiyl@mail.ru.

Lichargin Dmitry Viktorovich – Candidate of Science (Engineering), associate professor of the chair of spoken foreign language of the Institute of space and information technologies of the Siberian federal university, doctoral candidate of the Siberian federal university. Graduated from Krasnoyarsk state pedagogical university in 1998. Area of scientific interests – artificial intelligence, engineering linguistics, mathematical semantics, theory of formal grammars. E-mail: lichdv@hotmail.ru.

Lobanov Dmitry Konstantinovich – graduate student of the Siberian state aerospace university named after

academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2010. Area of scientific interests – test of power supply systems of spacecrafts. E-mail: u649@yandex.ru.

Lovchikov Anatoly Nikolaevich – Doctor of Science (Engineering), professor of the chair of systems of automatic control of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from plant technical college, the branch of Krasnoyarsk polytechnical institute, in 1970. Area of scientific interests – systems of automated design, power supply systems of spacecrafts. E-mail: ivt_anlovch@sibsau.ru.

Lykhin Alexander Olegovich – engineer of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev, student of institute of non-ferrous metals and materials science of the Siberian federal university. Area of scientific interests – quantum and chemical calculations. E-mail: alexandr_lykhin@mail.ru.

Lyashchenko Sergey Aleksandrovich – graduate student of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2011. Area of scientific interests – ultrahigh-vacuum technology of multilayered nanostructures, spectral ellipsometriya. E-mail: fenics_star@mail.ru

Makarenko Grigory Konstantinovich – chief specialist of JSC «MRSK of Siberia». Graduated from Krasnoyarsk state technical university in 2006. Area of scientific interests – use of the equipment of consumers of satellite radio navigational systems in power industry. E-mail: MakarenkoGK@gmail.com.

MizraKh Enis Avrumovich – Candidate of Science (Engineering), professor of the chair of systems of automatic control of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from plant technical college, the branch of Krasnoyarsk polytechnical institute, in 1967. Area of scientific interests – power supply systems of spacecrafts. E-mail: enis-home@mail.ru.

Minker Wolfgang – twice Doctor of Science (Engineering), professor and associative director of the Institute of communication technique of the University of Ulm (Germany). The first doctoral dissertation on engineering sciences was defended in 1997 at the University of Karlsruhe. The second doctoral dissertation on computer sciences was defended in 1998 at the University Paris-South (France). Area of scientific interests – dialogue systems, semantic analysis and modeling of dialogues, assessment of quality of dialogue systems. E-mail: wolfgang.minker@uni-ulm.de.

Mirzayev Roman Aleksandrovich – graduate student of the chair of technical mechanics of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. I graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2011. Area of scientific interests – robotics, mechatronics. E-mail: ramirzaev@mail.ru.

Mikheyev Anatoly Egorovich – Doctor of Science (Engineering), professor, head of the chair of aircrafts of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from plant technical college, the branch of Krasnoyarsk polytechnical institute, in 1973. Area of scientific interests – plasma technology and drawing sheeting of aluminum alloys by method of micro-arc oxygenating. E-mail: mihla@mail.ru.

Nagibin Gennady Efimovich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, senior research assistant of the Siberian federal university. Graduated from Krasnoyarsk state university in 1997. Area of scientific interests – materials science, heat-physical properties of substances. E-mail: nagibin1@gmail.ru.

Nazarov Vladimir Pavlovich – Candidate of Science (Engineering), professor, head of the department of engines of aircrafts of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from plant technical college – branch of Krasnoyarsk polytechnical institute in 1973. Area of scientific interests – production technology of aircraft engines. Ph. 262-95-61. E-mail: ums@sibsau.ru.

Nikolaeva Natalia Vladimirovna – senior teacher of the chair of spoken foreign language of institute of space and information technologies of the Siberian federal university. Graduated from Krasnoyarsk state pedagogical university in 2004. Area of scientific interests – computational linguistics, transfer and cross-cultural communication. E-mail: nikolnat@mail.ru.

Novikova Irina Nikolaevna – assistant lecturer of the chair of finance and the credit of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2010. Area of scientific interests – management of aerospace enterprises. E-mail: iranovikova2009@yandex.ru.

Nosenkov Alexander Alekseevich – Doctor of Science (Engineering), professor of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from Omsk institute of engineers of transport in 1964, postgraduate study at Leningrad military and mechanical institute «Voyenmekh» in 1979. Area of scientific interests – ensuring efficiency and quality of difficult mechanical systems. Ph. 8 (3912)62-27-80.

Oborin Lev Aleksandrovich – Candidate of Science (Engineering), adviser for science and engineering of director the general of JSC «Krasmach». Graduated from Perm polytechnical institute in 1971. Area of scientific interests – theory of foundry processes, technology of molding on melted models in production of engines for aircrafts. E-mail: kras@krasmail.ru.

Ovchinnikov Sergey Gennadevich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor of the chair of electronic equipment and telecommunications of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from Krasnoyarsk state university in 1972. Area of scientific interests – features of spin, charging and orbital streamlinings in cobalt-

ites, magnetic transitions to Fe₂O₃, energy of excitement and quantum phase transitions in copper oxides, experimental observation of virtual electronic conditions of mott-habbarde FeBO₃ dielectric in ranges of infrared absorption. E-mail: sgo@iph.krasn.ru.

Ognerubov Sergey Sergeyevich – Candidate of Science (Engineering), associate professor, associate professor of the chair of informatics of the Siberian federal university. Graduated from Krasnoyarsk state technical university in 2003. Area of scientific interests – information and telecommunication technologies. E-mail: kleniks@yandex.ru.

Orlova Darya Vladimirovna – graduate student, engineer of the chair of aircrafts of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2011. Area of scientific interests – micro-arc oxygenating, analysis of properties of coverings, MDO of titanic and aluminum alloys. E-mail: Dashaorlova12@yandex.ru.

Osipova Irina Vladimirovna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, research assistant of the Institute of physics named after L.V. Kirensky of the Siberian office of the Russian Academy of Sciences. Graduated from Krasnoyarsk state technical university in 2006. Area of scientific interests – plasmochemical synthesis of carbon nanostructures. E-mail: churilov@iph.krasn.ru.

Panfilova Tatyana Aleksandrovna – engineer of the department of advanced training of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state technological university in 2006. Area of scientific interests – mathematical modeling, optimization, indistinct logic. E-mail: panfilova@sibsau.ru.

Pashkov Gennady Leonidovich – Doctor of Science (Engineering), corresponding member of the Russian Academy of Sciences, adviser of the Russian Academy of Sciences, Institute of chemistry and chemical technology of the Siberian office of the Russian Academy of Sciences. Graduated from the Peter and Paul teacher training institute in 1962; All-Union correspondence polytechnical institute in 1968. Area of scientific interests – metallurgy of non-ferrous and rare metals, physicochemistry, technology of inorganic substances. E-mail: glpkrsk@rambler.ru.

Popov Evgeny Aleksandrovich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor of the chair of system analysis and research of operations of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from Krasnoyarsk state university in 1973. Area of scientific interests – solid state physics, technology of processing of experimental data. E-mail: epopov@bmail.ru.

Popov Zakhar Ivanovich – junior research assistant of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian federal university in 2007. Area of scientific interests – materials science, heat-physical properties of substances. E-mail: zipcool@bk.ru.

Popova Tatyana Sergeevna – Candidate of Science (Economics), associate professor, associate professor of the chair of management, organization of production and branch economy of Voronezh state university of engineering technologies. Graduated from Voronezh state technical university in 1973. Area of scientific interests – management of structural transformations of national economy of Russia for the purpose of increase of its competitiveness. E-mail: dysya704@mail.ru.

Ryzhikov Ivan Sergeyevich – Master of engineering and technologies, graduate student of the chair of system analysis and research of operations of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2011. Area of scientific interests – system analysis, global optimization, dynamic systems, identification, management. E-mail: ryzhikov-88@yandex.ru.

Saakian Arevik Maisovna – senior teacher of the chair of finance and credit of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Area of scientific interests – taxes and taxation, innovative activity of industrial enterprises, investments. E-mail: revishatka@mail.ru.

Saunin Victor Nikolaevich – Candidate of Science (Engineering), associate professor, the leading research officer of the chair of applied physics, of laboratory «Volcano» of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from plant technical college, the branch of Krasnoyarsk polytechnical institute, in 1973. Area of scientific interests – gas-plasma dusting, covering with prescribed properties, synthesis of nanomaterials. Tel. 8(391)291-90-71.

Safonov Konstantin Vladimirovich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, the head of the chair of applied mathematics of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from Krasnoyarsk state university in 1980. Area of scientific interests – multidimensional complex analysis, fundamental informatics. E-mail: safonovkv@rambler.ru.

Semenkin Evgeny Stanislavovich – Doctor of Science (Engineering), professor, professor of the chair of system analysis and research of operations of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from Kemerovo state university in 1982. Area of scientific interests – modeling and optimization of complex systems, intellectual information technologies, evolutionary algorithms. E-mail: eugenesemenkin@yandex.ru.

Semenkina Maria Evgenyevna – Master of engineering and technologies, graduate student of the chair of system analysis and research of operations of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2012. Area of scientific interests – intellectual informa-

tion technologies, evolutionary calculations. E-mail: semenkina88@mail.ru.

Semenkina Olga Evgenyevna – Bachelor of applied mathematics and informatics, candidate for master degree of the chair of system analysis and research of operations of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Institute of mathematics of the Siberian federal university in 2012. Area of scientific interests – evolutionary algorithms, intellectual analysis of data, combinatory problems of optimization. E-mail: oleese@mail.ru.

Senashov Sergey Ivanovich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, head of the chair of informational economic systems of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from Krasnoyarsk state university in 1975. Area of scientific interests – mechanics of deformable solid body. E-mail: sen@sibsau.ru.

Sergiyenko Roman Borisovich – Candidate of Science (Engineering), senior teacher of the chair of system analysis and research of operations of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2010. Area of scientific interests – intellectual information technologies, intellectual analysis of data. E-mail: romaserg@list.ru.

Seryodin Alexander Ivanovich – graduate student of the Siberian federal university. Graduated from the Siberian federal university in 2011. Area of scientific interests – information and telecommunication technologies. E-mail: AlexzanderIV@yandex.ru.

Serzhantova Maria Viktorovna – engineer of the chair of information-management systems of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian federal university in 2009. Area of scientific interests – quantum and chemical calculations. E-mail: sunrise.86@mail.ru.

Sidorov Maxim Yuryevich – Master of engineering and technologies, graduate student of the chair of dialogue systems of the University of Ulm, Germany. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2012. Area of scientific interests – mathematical modeling and optimization, neuronetwork technologies, forecasting of financial temporary ranks, analysis of speech signals. E-mail: maxim.sidorov@uni-ulm.de.

Smeshko Yury Viktorovich – Master of engineering and technologies, graduate student of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Gained Master's degree at the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2012. Area of scientific interests – modeling and management of technological processes, intellectual information technologies. E-mail: yurasm@inbox.ru.

Smirnov Nikolay Anatolyevich – Doctor of Science (Engineering), professor, director of the Scientific research institute of rocket and space equipment, head of the chair of technical mechanics of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Re-

shetnev. Graduated from Krasnoyarsk plant technical college, the branch of Krasnoyarsk polytechnical institute, in 1978. Area of scientific interests – robotics, mechatronics, mechanics of complex technical systems. E-mail: smirnov@sibsau.ru.

Stupina Alyona Aleksandrovna – Doctor of Science (Engineering), professor of the chair of system analysis and research of operations of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 1996. Area of scientific interests – system analysis of complex systems. E-mail: saa5@yandex.ru.

Suleymanova Galina Safiullanovna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor, senior research assistant of the Institute of mathematics of the Siberian federal university. Graduated from Khakass state university in 1997. Area of scientific interests – theory of groups. E-mail: suleymanova@list.ru.

Tarasov Ivan Anatolyevich – graduate student of the Institute of physics named after L. V. Kirensky of the Siberian office of the Russian Academy of Sciences. Graduated from the Siberian federal university in 2010. Area of scientific interests – ellipsometriya, numerical methods in ellipsometriya. E-mail: tia@iph.krasn.ru.

Telegin Sergey Vladimirovich – Candidate of Science (Engineering), senior research assistance of the chair of technical physics, of laboratory «Volcano» of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from Krasnoyarsk institute of space equipment in 1989. Area of scientific interests – gas-plasma dusting, covering with prescribed properties, synthesis of nanomaterials. E-mail: telegin@sibsau.ru.

Testoyedov Nikolay Alekseevich – Doctor of Science (Engineering), professor, corresponding member of the Russian academy of astronautics named after K.E. Tsiolkovsky, winner of the award of the Government of Russian Federation in the field of science and engineering, general designer and director the general of JSC «Information Satellite Systems named after academician M. F. Reshetnev». Graduated from Leningrad military and mechanical institute «Voyenmekh» in 1974. Area of scientific interests – design of spacecrafts and space systems. Ph. 8 (3919) 76-47-86.

Tolstopyatov Mikhail Igorevich – teaching master of the chair of aircrafts engines of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2010. Area of scientific interests – boundary layer, heat exchange, thermal efficiency, swirling flows. E-mail: kam1kag3e@mail.ru.

Trushkina Tatyana Vladimirovna – graduate student of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state technological university in 2008. Area of scientific interests – formation of multipurpose coverings on aluminum alloys a method of micro-arc oxygenating, analysis of properties of coverings. E-mail: Tatyana.si@mail.ru.

Tyapkin Valery Nikolaevich – Candidate of Science (Engineering), associate professor of the chair of information technologies security of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev, professor of the Institute of military training of the Siberian federal university. Graduated from Krasnoyarsk highest command school of radio electronics of air defense in 1979, from Military and engineering radio engineering academy of air defense named after Govorov in 1992. Area of scientific interests – radar-ranging, radio-navigation. E-mail: tyapkin58@mail.ru.

Ultes Stefan – licensed engineer, graduate student of the chair of dialogue systems of the University of Ulm (Germany). Graduated from the Institute of technologies in Karlsruhe (Germany) in 2011. Area of scientific interests – language dialogue systems, recognition of emotions, machine training.

Fateyev Yuri Leonidovich – Doctor of Science (Engineering), professor of the chair of radio engineering of the Institute of engineering physics and radio electronics of the Siberian federal university. Graduated from Krasnoyarsk polytechnic institute in 1989. Area of scientific interests – radio navigational systems, recognition of space orientation on the basis of satellite radio navigational systems. E-mail: fateev_yury@inbox.ru.

Fatkulin Roman Faritovich – chief of sector of «JSC Information Satellite Systems named after academician M. F. Reshetnev». Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 1998. Area of scientific interests – design of space systems and spacecrafts of coordinate and metric purpose. Ph. 8 (3919) 76-52-89.

Fernandez-Martinez Fernando – Doctor of Science (Engineering), professor of the chair of engineering electronics of Polytechnic university of Madrid (Spain). Gained Master's degree at the faculty of telecommunication technologies in Speech Technologies in 2008. Area of scientific interests – speech recognition, emotional agents, dialogue systems, identification of subject of dialogue.

Filatov Yuri Timofeevich – chief engineer of Chemical plant, the branch of JSC «Krasnoyarsk Engineering Plant». Graduated from plant technical college, the branch of Krasnoyarsk polytechnical institute, in 1981. Area of scientific interests – rocketry. E-mail: tcarhz@mail.ru.

Filyushina Elena Vladimirovna – assistant lecturer of the chair of information economic systems of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2011. Area of scientific interests – mechanics of a deformable solid body. E-mail: filyushina@sibsau.ru.

Khanov Vladislav Hanifovich – Candidate of Science (Engineering), chief of the chair of information technologies security of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from Krasnoyarsk polytechnical institute in 1986. Area of scientific interests – microelectronic space in-

strument making, digital processing of signals. E-mail: hanov@sibsau.ru.

Tsarev Roman Yuryevich – Candidate of Science (Engineering), associate professor of the chair of system analysis and research of operations of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from Krasnoyarsk state technical university in 1999. Area of scientific interests – information technologies, multi-version software, multiattributive methods of decision-making, space systems. E-mail: rahatamatahata@mail.ru.

Tchebotaryov Victor Evdokimovich – Doctor of Science (Engineering), professor, leading design engineer of JSC «Information Satellite Systems of a name of academician M. F. Reshetnev». Graduated from Kharkov state university in 1963. Area of scientific interests – design of space systems and spacecrafts, system techniques and system engineering. E-mail: chebotarev@iss-reshetnev.ru.

Tchekmaryov Sergey Anatolyevich – graduate student of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2010. Area of scientific interests – design of electronic systems and devices, engineering of development of software, design of electronic equipment. Tel. 8 (391) 262-18-47.

Chubareva Elena Borisovna – senior teacher of the chair of spoken foreign language of the Institute of space and information technologies of the Siberian federal university. Graduated from Krasnoyarsk state teacher training institute in 1981. Area of scientific interests – computational linguistics, adequacy of transfer. E-mail: chubareva08@mail.ru.

Churilov Grigory Nikolaevich – Doctor of Science (Engineering), professor, head of the laboratory of analytical methods of research of substances of the Institute of physics named after L.V. Kirensky of the Siberian office of the Russian Academy of Sciences. Graduated from Krasnoyarsk state university in 1976. Area of scientific interests – plasma-chemical synthesis of carbon nanostructures. E-mail: churilov@iph.krasn.ru.

Shabalov Andrey Andriyovich – Master of engineering and technologies, graduate student of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from institute of informatics and telecommunications of the Siberian state aerospace

university named after academician M. F. Reshetnev in 2012. Area of scientific interests – intellectual information technologies, evolutionary algorithms. E-mail: shabalov-andrey@mail.ru.

Shakhmatov Alexander Vladimirovich – engineer of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev in 2007. Area of scientific interests – design of electronic systems and devices, engineering of software development, design of electronic equipment. Tel. 8(391)262-18-47.

Shevtsov Dmitry Valentinovich – research engineer of the Institute of physics named after L. V. Kirensky of the Siberian office of the Russian Academy of Sciences. Graduated from Krasnoyarsk state university in 2006. Area of scientific interests – technology of molecular and beam epitaxy, magnetic and semiconductor thin films and multilayered structures. E-mail: snowmen82@mail.ru.

Shlepkin Alexey Anatolyevich – assistant lecturer of the chair of higher mathematics of the Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev. Graduated from the Siberian federal university in 2012. Area of scientific interests – computation theory of groups. E-mail: shlyopkin@mail.ru.

Schmitt Alexander – Doctor of Science (Engineering), research assistant of the chair of dialogue systems of the University of Ulm (Germany). Defended doctoral dissertation at the Institute of communication engineering of the University of Ulm in 2012. Area of scientific interests – information technologies, dialogue systems, machine training.

Shtarik Andrey Viktorovich – graduate student of the chair of informatics of the Siberian federal university. Graduated from the Siberian federal university in 2010. Area of scientific interests – system analysis, software, reliability, space systems. E-mail: shtarik@mail.ru.

Shtarik Elena Nikolaevna – graduate student of the chair of informatics of the Siberian federal university. Graduated from the Siberian federal university in 2010. Area of scientific interests – information technologies, software, reliability, space systems. E-mail: zozylia.elena@gmail.com.

Ale Hub Robert – gained Bachelor's degree at the University of Ulm (Germany) in 2010, graduate student of the University of Ulm. Area of scientific interests – language dialogue systems, mathematical modeling.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА. МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА

Антамошкина Е. А. Моделирование реализации технологических процессов	4
Богданов К. В., Ловчиков А. Н. Моделирование систем с существенными нелинейностями ми с помощью параллельного программирования	7
Буров А. Е. Оценка живучести конструкции крепления крышки гидротурбины в аварийной ситуации.....	10
Вайтекунене Е. Л. Модель использования ресурсов при мультиверсионном формировании программно-информационных технологий для распределенных систем с ограничениями по ресурсам.....	14
Елисова А. П. Локальные дифференцирования и автоморфизмы нильпотентных алгебр матриц малых порядков	17
Карасева М. В., Даценко А. В. Программная реализации эмпирической поддержки мультилингвистической технологии в корпоративной информационной системе.....	22
Леонова Т. А., Дудник А. И., Михеев А. Е., Осипова И. В., Чурилов Г. Н. Разрядные характеристики литий-ионных аккумуляторов с углеродными электродами	25
Личаргин Д. В., Сафонов К. В., Николаева Н. В., Чубарева Е. Б. Принципы компрессии и декомпрессии в рамках многомерного представления естественного языка в применении к генерации учебных заданий	28
Лобанов Д. К., Мизрах Е. А. Экспериментальное исследование опытного образца нагрузочного устройства рекуперационного типа	34
Лыхин А. О., Кузубов А. А., Варганов С. А., Сержантова М. В., Елисеева Н. С. Зависимость спина основного состояния активного центра Fe_2S_2 ферредоксина от ориентации лигандов	37
Мизрах Е. А., Лобанов Д. К. Нагрузочное устройство рекуперационного типа с улучшенными динамическими характеристиками	42
Мирзаев Р. А., Смирнов Н. А. Исследование кинематики манипулятора параллельной структуры (дельта-механизма)	46
Огнерубов С. С., Ковалев Д. И., Середин А. И., Бахмарева К. К., Брезицкая В. В. Модельно-алгоритмическая поддержка мультилингвистического информационно-терминологического базиса в информационных системах	50
Сенашов С. И., Филюшина Е. В. О новых решениях уравнений пластичности, полученных с помощью высших симметрий.....	53
Ступина А. А., Золотарев А. В. Сравнительный анализ методов решения задачи оценки защищенности автоматизированных систем.....	56
Сулейманова Г. С. Исключительные большие унипотентные абелевы подгруппы групп лиева типа	61
Царев Р. Ю., Штарик А. В., Штарик Е. Н., Кочергина М. А., Панфилова Т. А. Анализ вероятностно-временных характеристик отказоустойчивого программного обеспечения распределенных вычислительных систем	64
Шлепкин А. А. О подгруппах свободной двупорожденной бернсайдовой группы периода пять.....	70
 1-я Международная конференция по математическим моделям и их применению	
Ахмедова Ш. А. Разработка и исследование эффективности стайного алгоритма оптимизации	78
Попов Е. А., Семенкина М. Е., Липинский Л. В. Эволюционный алгоритм для автоматической генерации нейросетевых систем подавления шума.....	79
Рыжиков И. С. О применении мультиагентных систем для задач распознавания речи	82
Рыжиков И. С. Автоматическая идентификация линейных дифференциальных уравнений в аналитическом виде.....	85
Семенкин Е. С., Семенкина М. Е. Проектирование ансамблей интеллектуальных информационных технологий самоконфигурируемым алгоритмом генетического программирования	89
Семенкина О. Е. Сравнение эффективности муравьиного и генетического алгоритмов при решении задач комбинаторной оптимизации	96
Сергиенко Р. Б. Применение метода формирования нечеткого классификатора самонастраивающимися коэволюционными алгоритмами в задаче распознавания говорящего	98
Шабалов А. А. Применение нейро-нечетких систем в задачах подсчета кредитного балла банковского сектора	104
Сидоров М. Ю., Заблотский С. Г., Семенкин Е. С., Минкер В. Эволюционное формирование нейросетевых технологий прогнозирования финансовых временных рядов	106
Смешко Ю. В., Гасанова Т. О. Модификация алгоритма нечетких с-средних с автоматическим выбором количества классов для задачи кластеризации базы запросов	110

Ультес С., Шмитт А., Эль Хаб Р., Минкер В. Статистическое моделирование качества взаимодействия в речевых диалоговых системах: сравнение классификаторов, основанных на (условных) скрытых Марковских моделях, и машин опорных векторов	115
Заблоцкая К. В., Заблоцкий С. Г., Фернандес-Мартинес Ф., Минкер В. Сочетание лингвистического стиля и вербального интеллекта.....	119

РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Алешечкин А. М., Макаренко Г. К. Оценка погрешностей определения координат объектов электроэнергетики при дистанционной диагностике	126
Тестоедов Н. А., Двирный В. В., Носенков А. А., Елфимова М. В. Об отечественной системе космического мониторинга чрезвычайных ситуаций	130
Толстомятов М. И., Зуев А. А., Кишкин А. А., Жуйков Д. А., Назаров В. П. Прямолинейное равномерное течение газов с теплоотдачей в энергетических установках летательных аппаратов.....	134
Тяпкин В. Н., Фатеев Ю. Л., Дмитриев Д. Д., Коннов В. Г. Калибровка измерительного тракта для испытания навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем на помехоустойчивость.....	139
Чеботарев В. Е., Звонарь В. Д., Фаткулин Р. Ф., Дмитриев Г. В. Методика расчета и выбора параметров электрообогревателей космического аппарата при наличии ограничений.....	142
Шахматов А. В., Вергазов М. Ю., Чекмарев С. А., Ханов В. Х. Сетевая архитектура сопряжения комплексов бортового оборудования космического аппарата.....	148

РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ

Добросмыслов С. С., Кирко В. И., Нагибин Г. Е., Попов З. И. Влияние легирующих добавок Sb и V на электронную структуру диоксида олова	154
Левко В. А. Исследование распределения давления рабочей среды по длине канала при абразивно-экструзионной обработке.....	159
Лященко С. А., Варнаков С. Н., Тарасов И. А., Шевцов Д. В., Овчинников С. Г. Автоматизация магнитоэллипсометрических IN SITU измерений на сверхвысоковакуумном комплексе для синтеза и исследования материалов спинтроники.....	162
Михеев А. Е., Гирн А. В., Орлова Д. В., Вахтеев Е. В., Трушкина Т. В. Влияние технологических параметров на элементный состав микродугового оксидирования покрытий на алюминиевых и титановых сплавах.....	168
Оборин Л. А., Колмыков В. А., Назаров В. П. Высокотемпературная газостатическая обработка литых корпусных деталей турбонасосных агрегатов.....	172
Пашков Г. Л., Кузьмин В. И., Кононов Ю. С., Филатов Ю. Т., Богданов С. Г. Утилизация некондиционных окислителей ракетного топлива.....	174
Саунин В. Н., Телегин С. В. Плазмонапыленные магнитодиэлектрики.....	179

РАЗДЕЛ 4. ЭКОНОМИКА

Инсинга Р. К. Стратегические решения, обеспечивающие создание информационной технологии	186
Алексеева Е. Ю. Принципы формирования стратегии развития социальной инфраструктуры	191
Бойко А. А. Методологические принципы планирования инновационного воспроизводства основных производственных фондов предприятий ракетно-космической промышленности	194
Бородин А. И. Экономико-математическая модель оценки потенциала предприятия	198
Гильц Н. Е. Современное состояние и тенденции развития оборонно-промышленного комплекса.....	203
Гостева О. В. Особенности мотивации производственного персонала, занятого в инновационной деятельности на предприятиях ракетно-космической промышленности	206
Еремеев Д. В., Новикова И. Н. Основные факторы и условия инновационного воспроизводства основных фондов на предприятиях ракетно-космической отрасли	210
Ерыгин Ю. В., Голощапова О. С., Саакян А. М. Принципы налогового и финансового стимулирования инновационной деятельности предприятий ракетно-космической отрасли	216
Попова Т. С. Конкурентные преимущества и экономический потенциал регионов в национальном богатстве России.....	218

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	224
----------------------------------	-----

CONTENTS

PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, COMPUTER SCIENCE

Antamoshkina E. A. Technological processes realization modeling	4
Bogdanov K. V., Lovchikov A. N. Simulation of systems with essential nonlinearity with the help of parallel programming.....	7
Burov A. E. Assessment of tenacity of hydro-turbine lid fixture in a case of emergency.....	10
Vaytekunene E. L. Model of recourses usage at multiversion formation of program-information technologies for distributed systems with the recourses restriction.....	14
Elisova A. P. Local derivations and local automorphisms of nilpotent algebras of matrices of small orders	17
Karaseva M. V., Datsenko A. V. Program realization of empirical support of multilingual technology in a corporative intelligent system	22
Leonova T. A., Dudnik A. I., Mikheev A. E., Osipova I. V., Churilov G. N. Discharge characteristics of lithium-ion accumulators with carbon electrodes.....	25
Lichargin D. V., Safonov K. V., Nikolaeva N. V., Chubareva E. B. Principles of compression and decompression within the frame of multidimensional language representation applied to educational tasks generation	28
Lobanov D. K., Mizrakh E. A. Experimental research of loading device of recuperation type	34
Lykhin A. O., Kuzubov A. A., Varganov S. A., Serzhantova M. V., Eliseeva N. S. Connection of ground state spin of ferredoxin active center point Fe_2S_2 on ligands orientation	37
Mizrakh E. A., Lobanov D. K. Loading device of recuperation type with improved dynamic characteristics.....	42
Mirzaev R. A., Smirnov N. A. Research of kinematics of manipulator with parallel structure (delta mechanism).....	46
Ognerubov S. S., Kovalev D. I., Seredin A. I., Bakhmareva K. K., Brezitskaya V. V. Model-algorithmic support of multilingual information-terminological basis in intelligent systems.....	50
Senashov S. I., Filyushina E. V. About new solutions of equations of plasticity obtained with the help of higher symmetries.....	53
Stupina A. A., Zolotarev A. V. Comparative analysis of methods for solution of automatised systems protection estimation problem.....	56
Suleimanova G. S. Exceptionally large abelian unipotent subgroups in groups of lie type	61
Tsarev R. Yu., Shtarik A. V., Shtarik E. N., Kochergina M. A., Panfilova T. A. Analysis of probabilistic and interim characteristics of fault tolerant software of distributed computing systems	64
Shlyopkin A. A. About subgroups of free bin-induced burnside group of the period five	70

1'st International Workshop on Mathematical Models and its Applications

Akhmedova Sh. A. Development and investigation of the effectiveness of the particle swarm optimization algorithm	78
Popov E. A., Semenkina M. E., Lipinskiy L. V. Evolutionary algorithm for automatic generation of neural network based noise suppression systems	79
Ryzhikov I. S. About multiagent system applications for speech recognition problem.....	82
Ryzhikov I. S. Automatic linear differential equation identification in analytical form	85
Semenkin E. S., Semenkina M. E. Integration of intelligent information technologies ensembles with self-configuring genetic programming algorithm.....	89
Semenkina O. E. Effectiveness comparison of ant colony and genetic algorithms for solving combinatorial optimization problems.....	96
Sergienko R. B. Fuzzy classifier design with coevolutionary algorithms applying for speaker identification	98
Shabalov A. A. Application of neuro-fuzzy systems in bank scoring problems	104
Sidorov M. Yu., Zablotskiy S. G., Semekin E. S., Minker W. Evolutionary design of neural networks for forecasting of financial time series	106
Smeshko Yu. V., Gasanova T. O. Modification of fuzzy c-means algorithm with automatic selection of the number of clusters for speech utterance categorization	110
Ultes S., Schmitt A., ElChab R., Minker W. Statistical modeling of interaction quality in spoken dialogue systems: a comparison of (conditioned) hidden Markov model-based classifiers vs. support vector machines.....	115
Zablotskaya K. V., Zablotskiy S. G., Fernández-Martínez F., Minker W. Language style matching and verbal intelligence.....	119

PART 2. AVIATION AND SPACE-ROCKET ENGINEERING

Aleshechkin A. M., Makarenko G. K. Estimation of error bounds of identification of coordinates of electric power under remote diagnosis.....	126
Testoedov N. A., Dvirnyj V. V., Nosenkov A. A., Elfimova M. V. About domestic system of space monitoring of emergencies	130
Tolstopyatov M. I., Zuev A. A., Kishkin A. A., Zhuikov D. A., Nazarov V. P. Rectilinear uniform gas flow with thermal efficiency in propulsion equipment of aircrafts	134
Tyapkin V. N., Fateev Y. L., Dmitriev D. D., Konnov V. G. Calibration of measuring path for ecm test of navigation equipment of customers of satellite radio navigation systems	139
Chebotaev V. E., Zvonar V. D., Fatkulin R. F., Dmitriev G. B. Technique for calculation and selection of spacecraft electric heaters parameters under uncertainty conditions	142
Shahmatov A. V., Vergazov M. Yu., Chekmaryov S. A., Khanov V. Kh. Network architecture of spacecraft on-board equipment mating.....	148

PART 3. TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MATERIALS

Dobrosmislov S. S., Kirko V. I., Nagibin G. E., Popov Z. I. Effect of alloying elements sb and v on the electronic structure of tin dioxide.....	154
Levko V. A. Study of pressure distribution of medium longwise a channel under abrasive flow machining processing.....	159
Lyaschenko S. A., Varnakov S. N., Tarasov I. A., Shevtsov D. V., Ovchinnikov S. G. Automation of magnitoellipsometric in situ measurements on the ultrahigh-vacuum complex for synthesis and research of materials of spintronics	162
Mikheyev A. E., Girn A. V., Orlova D. V., Vakhteev E. V., Trushkina T. V. Influence of technological parameters on element structure of mdo coverings of aluminium and titan alloys	168
Oborin L. A., Kolmykov V. A., Nazarov V. P. High-temperature gas-static processing of cast case details of turbopump systems	172
Pashkov G. L., Kuzmin V. I., Kononov Yu. S., Filatov Yu. T., Bogdanov S. G. Recycling of off-grade propellant oxidizers	174
Saunin V. N., Telegin S. V. Plasma-sprayed magnetic dielectric.....	179

PART 4. ECONOMICS

Insinga R. C. Making information technology strategic outsourcing decisions	186
Alexeeva E. U. Principles of formation of strategy of social infrastructure development.....	191
Boiko A. A. Methodological principles of planning of innovation reproduction of basic production assets of the rocket and space industry	194
Borodin A. I. Economic-mathematical model of assessment of capacity of an enterprise	198
Gilts N. E. Present state and progress trends of enterprises of defense industry	203
Gosteva O. V. Features of motivation of operational, personnel engaged in innovative activity at enterprises of space-rocket industry.....	206
Eremeev D. V., Novikova I. N. Main factors and conditions of innovative reproduction of capital assets of enterprises of space-rocket sector.....	210
Erygin U. V., Golocshapova O. S., Saakyan A. M. The principles of tax and financial incentives of innovative activity of the enterprises of space-rocket branch.....	216
Popova T. S. Competitive advantages and economic potential of regions in national wealth of Russia	218
ABOUT THE AUTHORS	233

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК СИБГАУ»

Общие требования. Тексты статей представляются в редакцию журнала в электронном и печатном виде на русском и английском языках. Русскоязычная версия должна сопровождаться английским переводом фамилии автора (авторов); названия статьи; аннотации; ключевых слов (см. пример оформления статьи).

Файл со статьей представляется на любом электронном носителе.

На последней странице ставится подпись автора (авторов) статьи. Количество авторов одной статьи – не более пяти. Автор имеет право публиковаться в выпуске один раз, второй раз – в соавторстве.

Индекс УДК предшествует названию статьи, соответствует заявленной теме и проставляется в верхнем левом углу листа.

Оригинал должен быть чистым, не помятым, без правок, вписанных от руки. Страницы нумеруются карандашом на обороте.

Электронная копия. Статья набирается в программе Microsoft Word.

Содержание. В статье необходимо сформулировать проблемы, отразить объект исследования, достигнутый уровень процесса исследования, новизну результатов, область их применения.

Статья должна заканчиваться выводом. Текст вывода набирается отдельным абзацем (абзацами), в котором акцентируется новизна результатов, эффективность их использования и др.

Объем статьи: 7–8 страниц (включая рисунки, таблицы и библиографические ссылки).

Параметры страницы. Формат А4 (210×297 мм). Поля: правое и левое – 2 см, верхнее и нижнее – 2,5 см.

Текст. Шрифт – Times New Roman, размер 12 пт.

По центру помещаются инициалы и фамилия автора (авторов).

Не допускается (!) в тексте статьи набирать слова прописными (заглавными) буквами, жирным шрифтом или курсивом, а также размещать все указанные элементы в рамках и имитировать оформление набора, выполняемого в журнале.

Ниже по центру шрифтом 12 пт печатается название статьи и через строку курсивом – аннотация, ключевые слова (не более 6).

Основной текст статьи размещается через пробел от аннотации. Межстрочный интервал – одинарный, межбуквенный и междусловный интервал – нормальный, перенос слов не допускается. Заголовки глав должны быть центрированы.

Абзацный отступ равен 0,5 см.

Ссылки на литературные или иные источники оформляются числами, заключенными в квадратные скобки, например [1]. Ссылки должны быть последовательно пронумерованы.

При наличии гранта ссылка на грант помещается внизу полосы под строками основного текста (подстрочное примечание).

Примечания. Смысловые пояснения основного текста или дополнения к нему оформляются в виде внутритекстовых примечаний среди строк основного текста специальной рубрикой, выделенной светлым курсивом: *Примечание.* (одно примечание), *Примечания:* (несколько примечаний). Отделяются от текста *точкой* (если стоят в единственном числе в подбор к тексту примечания). Примечания должны быть последовательно пронумерованы.

Формулы. Простые внутристрочные и однострочные формулы должны быть набраны без использования специальных редакторов – символами (шрифт Symbol). Специальные сложные символы, а также многострочные формулы, которые не могут быть набраны обычным образом, должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Набор математических формул в пределах всего текста должен быть единообразен:

- русские и греческие символы – прямым шрифтом;
- латинские – курсивом;
- размер обычного символа – 12 пт;
- крупный индекс – 10 пт;
- мелкий индекс – 9 пт;
- крупный символ – 11 пт;
- мелкий символ – 10 пт.

Формулы, набранные отдельными строками, располагают по центру.

Не допускается (!) набор в основном тексте статьи простых латинских, греческих или специальных символов в редакторе формул.

Таблицы должны быть последовательно пронумерованы. Слово «таблица» набирается светлым курсивом с выравниванием вправо, шрифтом 11 пт, например *Таблица 1*, ниже – заглавие таблицы (набирается жирным шрифтом по центру). Если таблица имеет большой объем, то она может быть помещена на отдельной странице, а в случае, когда она имеет значительную ширину, – на странице с альбомной ориентацией.

Иллюстрации. Оформляются отдельным файлом с расширением tiff. Последовательно пронумеровываются обычным шрифтом без кавычек с выравниванием по центру, например, Рис. 1. Могут содержать подрисовочную подпись, шрифтом 11 пт. Иллюстрации могут быть сканированы с оригинала (в градациях серого с разрешением 150 dpi) или выполнены средствами компьютерной графики. Не принимаются цветные иллюстрации и иллюстрации с разрешением 300 dpi и более.

Библиографические ссылки составляются в соответствии с действующими требованиями к библиографическому описанию и помещаются после основного текста (ГОСТ 7.0.5–2008).

К печатному варианту статьи необходимо приложить:

1) экспертное заключение о возможности открытой публикации;

2) внешнюю рецензию (рецензент, желательно, не ниже ученой степени доктора наук);

3) сведения об авторе:

– фамилия, имя, отчество (полностью);

– ученая степень, звание, должность;

– вуз, год его окончания;

– область научных интересов;

– место работы, номер телефона;

– адрес для переписки (для иногородних);

– e-mail.

Внимание! Материалы статьи авторы сдают лично секретарю журнала или высылают почтой с указанием обратного адреса. По электронной почте статьи не принимаются.

Статьи рецензируются. Отклоненные материалы не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 621.396.96.001(07)

И. А. Иванов

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ДВУХКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ*

Рассмотрена децентрализованная обработка информации в двухканальных измерительных системах при косвенном измерении для различных алгоритмов фильтрации оценки вектора состояния в измерительных пунктах и пункте обработки информации. Проведен сравнительный анализ результатов имитационного моделирования синтезированных алгоритмов.

Ключевые слова (не более 6):

Задача обеспечения высокой точности оценивания координат и параметров траектории движения объекта может быть решена за счет применения многоканальных измерительных систем с оптимальной централизованной обработкой.

(Продолжение текста публикуемого материала).

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 00-01-00912).

Библиографические ссылки

1. Гришин Б. П., Казаринов Ю. М. Динамические системы, устойчивые к отказам. М. : Радио и связь, 1985.
2. Медведев А. В. О моделировании организационных процессов // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та : сб. науч. тр. Вып. 1. Красноярск, 2000. С. 173–191.

I. A. Ivanov

DECENTRALIZED ALGORITHMS OF INFORMATION PROCESSING IN TWO-CHANNEL MEASURE SYSTEMS

It is covered a decentralized algorithms of information processing in two-channel measure systems in case of an indirect measuring for different filtration algorithms of a condition vector estimation at the reception measure station and the station of information processing. Comparative analysis is carried out with a help of imitation modeling of synthesized algorithms.

Keywords: