

**ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

№ 4 (36)

2015

СОДЕРЖАНИЕ

**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ
ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

- Евсеева Ю. И.* Алгоритм верификации структуры
трехмерного адаптивного приложения 5
- Солдатова О. П.* Исследование погрешности прогнозирования
котировок акций при помощи модели нечеткой
нейронной сети Ванга – Мендела 17
- Лавреши И. И., Трифонов А. В.* Совершенствование технологии
работы с внешними источниками информации
из социальных структур в системах поддержки принятия решений 27
- Дубенко Ю. В., Дышкант Е. Е.* Автоматизированная система
определения и прогнозирования потерь электроэнергии 37
- Митрохин М. А.* Методология построения адаптивных
алгоритмов обработки информации в средствах
обнаружения движущихся наземных объектов
(Часть 1. Варианты структур адаптивного средства обнаружения) 46
- Бондаренко И. Б., Иванов А. И.* Организационная модель
многоагентной системы извлечения знаний
из распределенных гетерогенных баз данных систем
автоматизированного проектирования 54
- Бойков И. В., Иванов А. И., Калашников Д. М.* Алгоритм построения
статистического дискретно-континуального описания
длительности звуков потока осмысленной речи диктора 64

**ЭЛЕКТРОНИКА, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И РАДИОТЕХНИКА**

- Тычков А. Ю., Чураков П. П., Тычкова А. Н.* Устройство
измерения информативных параметров энцефалографических
сигналов в сложных экстремальных условиях 79
- Цыганков А. И.* Исследование причин отказа датчика угла
маршевых двигателей ракет-носителей 89

Ашанин В. Н., Баранов В. А., Ломтев Е. А., Цыпин Б. В.

Аналого-цифровой преобразователь иммитанса для унифицированного
канала информационно-измерительных и управляющих систем 96

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Зык Е. Н., Плеваков В. В., Шурно А. Н. Эффективность

поверхностного пластического деформирования деталей
из высокопрочных сталей при ремонте 109

**UNIVERSITY PROCEEDINGS
VOLGA REGION
ENGINEERING SCIENCES**

№ 4 (36)

2015

CONTENT

**COMPUTER SCIENCE, COMPUTER
ENGINEERING AND CONTROL**

<i>Evseeva Yu. I.</i> Structure Verification algorithm of a three-dimensional adaptive application	5
<i>Soldatova O. P.</i> Study of stock price prediction error using the Wang-Mendel's fuzzy neural network model	17
<i>Lavresh I. I., Trifonov A. V.</i> Improving the technology of working with external sources of information from social structures in decision support systems	27
<i>Dubenko Yu. V., Dyshkant E. E.</i> An automated system of determination and prediction of electricity losses.....	37
<i>Mitrokhin M. A.</i> Methodology of building adaptive algorithms of information processing for moving ground object sensors (Part 1. Structure variants of adaptive sensors)	46
<i>Bondarenko I. B., Ivanov A. I.</i> An organizational model of a multi-agent knowledge discovery system from distributed heterogeneous cad-databases.....	54
<i>Boykov I. V., Ivanov A. I., Kalashnikov D. M.</i> An algorithm for constructing a statistical discrete-continuum description of sound duration of announcer's meaningful speech flow	64

**ELECTRONICS, MEASURING EQUIPMENT
AND RADIO ENGINEERING**

<i>Tychkov A. Yu., Churakov P. P., Tychkova A. N.</i> A measuring device of es informative parameters in complex extreme conditions	79
<i>Tsygankov A. I.</i> Investigating causes of angle sensor failures in sustainer engines of launch-vehicles	89
<i>Ashanin V. N., Baranov V. A., Lomtev E. A., Tsypin B. V.</i> An analog-to-digital imittance converter for a uniform channel of information-measuring and control systems	96

MACHINE SCIENCE AND BUILDING

Zyk E. N., Pleshakov V. V., Shurpo A. N. Efficiency of surface plastic deformation of details made of high-strength steels while repairing..... 109

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.94

Ю. И. Евсеева

АЛГОРИТМ ВЕРИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ ТРЕХМЕРНОГО АДАПТИВНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Аннотация.

Актуальность и цели. Вопрос создания автоматизированной системы синтеза трехмерных адаптивных программ (ТРАП) довольно актуален в настоящее время. Данная система особенно полезна в сфере образования, так как позволит преподавателям, не имеющим навыков программирования, самостоятельно разрабатывать тренажеры и обучающие программы, использующие преимущества трехмерной графики и возможность адаптации к ученику. Однако так как такая система подразумевает работу с неопытным пользователем, необходимо введение методов верификации составленных им алгоритмических решений. Цель данного исследования – разработка таких методов на основе математической модели ТРАП, используемой в предлагаемой системе.

Материалы и методы. Для решения поставленной задачи был применен математический аппарат теории графов, в частности гиперграфовое представление структуры ТРАП.

Результаты. Разработанный алгоритм является модификацией алгоритма полного обхода ориентированного гиперграфа. Формализованы основные процедуры работы с частичными конфигурациями – добавление и удаление произвольных вершин, завершение частичной конфигурации и преобразование ее в полноценную путем добавления недостающих вершин из головных множеств гиперребер. Разработанный алгоритм также позволяет эффективно обрабатывать последовательность конфигураций. Применение алгоритма позволяет находить и исправлять ошибки, допускаемые непрофессиональным пользователем при проектировании трехмерной адаптивной программы.

Выводы. Разработанный алгоритм позволяет не только обнаружить неточности, допущенные пользователем в ходе проектирования логической структуры, но и внести в некорректную конфигурацию соответствующие исправления.

Ключевые слова: трехмерное адаптивное приложение, ориентированный гиперграф, проектирование программного обеспечения, моделирование изменчивости, итерационный алгоритм верификации.

Yu. I. Evseeva

STRUCTURE VERIFICATION ALGORITHM OF A THREE-DIMENSIONAL ADAPTIVE APPLICATION

Abstract.

Background. The problem of creating an automated synthesis system of three-dimensional adaptive applications (TDAA) is quite relevant now. Such system is especially useful in education, because it allows teachers, who do not have programming skills, to develop their own simulators and training programs. Such programs may use the advantage of three-dimensional graphics and the ability to adapt to a student. However, since such system involves working with an inexperienced user, it is necessary to develop methods of user's algorithmic solutions verification. The aim of this work is to develop such methods.

Materials and methods. To solve this problem the author applied the mathematical apparatus of the graph theory, in particular, the hypergraph representation of software structure.

Results. The developed algorithm is a modification of the full crawl oriented hypergraph algorithm. The researcher formalized basic procedures for working with a partial configuration - adding and removing an arbitrary vertex, completion of the partial configuration and its transformation into a full configuration by adding the missing vertex from the head sets of hyperedges. The developed algorithm also allows to effectively handle a sequence of configurations. The use of the algorithm allows to find and correct mistakes made by non-professional users in design of three-dimensional adaptive programs.

Conclusions. The developed algorithm makes it possible not only to detect inaccuracies in software logical structure design, but also to revise an incorrect configuration.

Key words: three-dimensional adaptive application, oriented hypergraph, software design, variability modeling, verification iterative algorithm.

Введение

В настоящее время все большее распространение получают различные виртуальные тренажеры, компьютерные обучающие программы, системы виртуальной реальности, сложные компьютерные игры. Все чаще программы данного типа используют трехмерную графику (медицинские тренажеры и тренажеры управления техникой) и стратегии адаптации к пользователю (выработка индивидуальной траектории обучения). Все это обуславливает актуальность вопроса о создании автоматизированной системы синтеза трехмерных адаптивных приложений (ТРАП), предполагающую построение программ такого класса неопытным пользователем в максимально короткие сроки. Например, подобная система будет полезна преподавателям, желающим оперативно разработать обучающее приложение без необходимости написания сложного программного кода. Однако пользователь в процессе разработки может допускать ошибки, некоторые из которых могут привести к тому, что разрабатываемая программа будет нерабочей. Для решения данной проблемы необходимо введение методов проверки корректности разрабатываемой программы.

1. Структура ТРАП и математическая модель ТРАП

Для наглядного представления логической структуры ТРАП предлагается использование методов моделирования изменчивости (variability modeling [1]), в частности диаграмм характеристик (feature diagrams [2]).

С точки зрения используемого подхода под структурой ТРАП понимается схематичное описание набора основных, наиболее важных со структур-

ной точки зрения компонентов приложения (моделей, функций и т.п.) и взаимосвязей между ними.

Структура ТРАП в таком случае основана на трех основных категориях объектов [3]:

1. Трехмерные модели.
2. Основные программные функции.
3. Параметры.

На рис. 1 представлен фрагмент модели характеристик, изображающий взаимосвязи между трехмерными моделями в структуре программы.

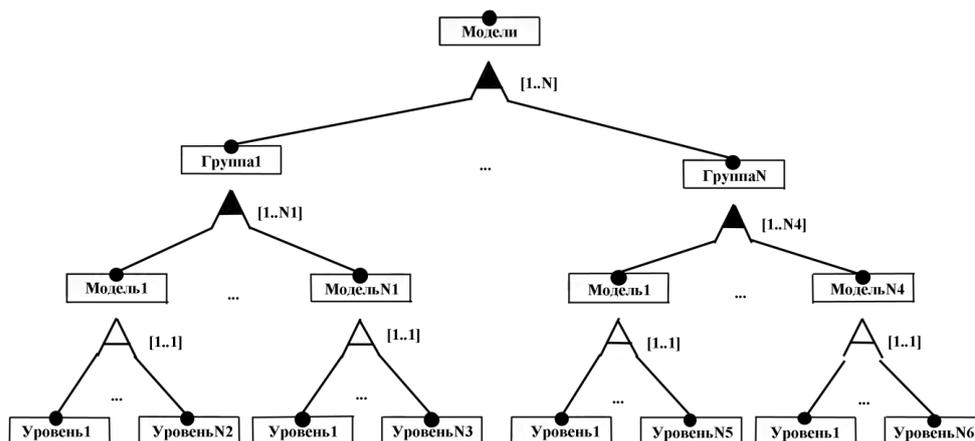


Рис. 1. Фрагмент структуры ТРАП

Представление структуры ТРАП в форме модели характеристик позволяет пользователю «визуально» проектировать структуру приложения на каждом этапе его работы, определяя тем самым его структурную изменчивость. Тем самым осуществляется решение сразу двух значимых для построения и эффективного использования предлагаемой системы задач – задачи реализации адаптивного поведения в программах, относящихся к широкому классу ТРАП, не ограниченному конкретной предметной областью, и задачи реализации достаточно дружелюбного по отношению к непрофессиональному пользователю интерфейса для задания такого поведения.

Математическая модель ТРАП при этом имеет вид

$$M = \{F, S, X, D(C, X)\}, \quad (1)$$

где F соответствует описанию структуры ТРАП в форме гиперграфа. Под гиперграфом в математике принято понимать обобщение графа, в котором каждым ребром могут соединяться не только две вершины, но и любые подмножества вершин [4]. Необходимо также отметить, что используемый гиперграф является F -графом, т.е. графом, из любой вершины которого может исходить только одно ребро; $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_k\}$ – множество подграфов исходного графа F , каждый из которых соответствует определенной конфигурации модели характеристик. Каждая конфигурация модели характеристик соответствует определенному шагу работы адаптивного приложения; X – матрица переходов между шагами работы приложения; $D(C, X)$ – функция,

задающая динамическую изменчивость, в которой C – показатель качества прохождения шага работы приложения.

Структура ТРАП в виде гиперграфа описывается следующим образом:

$$F = (N, E, \Delta, \Psi), \quad (2)$$

где $N = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_n\}$ – конечное множество характеристик (узлов); $E = \{E_1, E_2, E_3, \dots, E_m\}, E_i \subseteq N \forall i = 1, \dots, m \wedge |H(E_i)| = q_i$ – множество гиперребер, каждое из которых связано с головным множеством (множество узлов, в которые «входит» гиперребро) мощностью q_i ; $\Delta \in N$ – корневая характеристика модели характеристик. Корневая характеристика является единственным узлом гиперграфа, который не связан ни с одним головным множеством, т.е. в него не «входит» ни одно гиперребро). По отношению к корневому множеству R применимо:

$$- R \subseteq N \wedge R = \{\Delta\};$$

- $BS(\Delta) = \emptyset$ (множество гиперребер, чьи головные множества включают в себя вершину Δ , является пустым);

- $BS(n) \neq \emptyset, \forall n \in (N - R)$ (для любой вершины гиперграфа, за исключением корневой, множество гиперребер, чьи головные множества включают в себя данную вершину, не является пустым);

$\Psi: E \rightarrow MV, MV \subset N \times N^*$ – функция маркировки, которая присваивает значение мощности $mv(E_i) = (\min, \max) \in MV$ (MV – множество всех значений мощности модели, N – конечное множество вершин) каждому F -гиперребру E_i , так что $\min, \max \in \mathbb{Z} \wedge \min \geq 0, \max > 0, \min \leq \max \wedge \max \leq q_i$, где \mathbb{Z} – множество целых чисел. Под значением мощности понимается число вершин из головного множества гиперребра, которое необходимо выбрать, чтобы сформировать корректную конфигурацию модели. В данном случае речь идет о диапазоне значений, так как отношения в диаграмме характеристик (И, ИЛИ) могут связывать различное, в зависимости от выбора пользователя, число характеристик. Таким образом, данная функция устанавливает гиперребру значение его мощности в диапазоне от \min до \max . Данное значение всегда будет представлять собой целое число, положительное или равное нулю, или равно нулю и не превышающее мощность головного множества q_i .

Матрица переходов имеет размерность $k \times k$, где k – число конфигураций, номера столбцов и строк соответствуют номерам конкретных шагов работы ТРАП. Каждый элемент $X_{ij} \forall i = 1, \dots, k \forall j = 1, \dots, k$ представляет собой некое числовое значение, которое необходимо для определения того, на какой именно шаг, имеющий номер, соответствующий номеру столбца, перейдет программа с текущего шага, имеющего номер, соответствующий номеру строки.

Функция динамической изменчивости $D(C, X)$ необходима для определения того, на какой шаг должно будет перейти приложение в процессе своей работы. Принимая на вход значения показателя качества прохождения C и матрицу переходов, функция возвращает номер следующего шага.

За счет использования предложенной математической модели адаптивного приложения возможна реализация двух типов изменчивости (адаптивности) – структурной (различия в наборе компонентов, составляющих ТРАП на

определенном шаге его работы), задаваемой пользователем, проектирующим ТРАП посредством работы с множеством конфигураций S , и динамической, реализуемой за счет использования функции $D(C, X)$ в процессе выполнения программы.

2. Описание предлагаемого алгоритма

Так как конфигурация структурной модели полностью определяется действиями пользователя, необходимо введение дополнительных средств проверки корректности.

При составлении конфигурации структурной модели, соответствующей конкретному шагу работы ТРАП, пользователь выбирает ряд характеристик, необходимых для наиболее полного описания функционирования программы на данном шаге.

Описываемый алгоритм в цикле проходит по каждой конфигурации, ищет и исправляет допущенные пользователем ошибки. Получая на каждом шаге множество выбранных пользователем характеристик модели (вершин гиперграфа), для каждой выбранной вершины сначала выстраиваются допустимые пути от нее до корневой вершины (построение частичной конфигурации). Таким образом осуществляется проверка на то, не включил ли пользователь в конфигурацию вершины-потомки, не включив при этом соответствующие вершины-родители. Затем для каждого отношения (гиперребра) частичной конфигурации алгоритм осуществляет проверку на то, была ли достигнута его минимальная мощность, т.е. достаточное ли количество характеристик было выбрано пользователем.

В общем виде предлагаемый алгоритм верификации выглядит следующим образом:

1. Начало цикла проверки конфигураций. Выбор очередной конфигурации $S_i = (N_{S_i}, E_{S_i})$, где $i = 1, \dots, k$, $N_{S_i} \subseteq N$, $E_{S_i} \subseteq E$, из множества составленных пользователем на основе гиперграфового представления структуры ТРАП F .

2. Этап генерации частичных конфигураций. Под частичной конфигурацией понимается конфигурация, в которой из каждой включенной в нее вершины существует корректный путь до корневой вершины, но при этом минимально допустимое количество вершин из головного множества гиперребра может быть еще не выбрано (минимальная мощность гиперребра не достигнута). Имея в качестве входных данных множество выбранных характеристик N_{S_i} , на данном этапе необходимо найти корректный путь $P_{\Delta n}$ между каждой характеристикой $n \in N_{S_i}$ и корневой характеристикой Δ .

3. Этап завершения частичных конфигураций. Частичная конфигурация должна пройти данный этап, если в ней есть одно или более гиперребро, чье хвостовое множество (множество вершин, из которых «исходит» гиперребро) включено в нее, но при этом число включенных характеристик из головного множества данного гиперребра меньше минимальной мощности отношения. Какие именно характеристики должны быть выбраны – вопрос, на который нельзя дать однозначного ответа, так как многое зависит от потребностей пользователя. Данный алгоритм будет выбирать характеристики из

головного множества гиперребра до тех пор, пока не будет достигнута минимальная мощность отношения.

4. Переход к первому пункту алгоритма.

Следует отметить, что в случае, если ход работы приложения разбит на более чем один шаг, нет смысла каждый раз заново вычислять множество частичных конфигураций, так как в силу определенной схожести смежных шагов различия между множествами S_i и S_{i+1} будут минимальны. По этой причине более экономным в отношении ресурсов компьютера подходом будет вычисление для каждой смежной пары множеств S_i и S_{i+1} множества добавленных на $i+1$ шаге вершин $N_{S_{i+}} = N_{S_{i+1}} - N_{S_i}$ и множества удаленных вершин $N_{S_{i-}} = N_{S_i} - N_{S_{i+1}}$. При этом полноценную процедуру вычисления множества частичных конфигураций достаточно будет провести только на шаге $i=0$, вычисление же данного множества на каждом шаге $i+1$ будет осуществляться, во-первых, за счет удаления из результатов, полученных на предыдущем шаге, вершин, принадлежащих множеству $N_{S_{i-}}$, а во-вторых, за счет добавления в формируемое множество конфигураций вершин из $N_{S_{i+}}$.

Ниже приведено описание алгоритма в форме псевдокода, сделанное с учетом данного замечания. Алгоритм принимает на вход множество конфигураций S , а на выходе формирует множество корректных конфигураций $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_k\}$.

```
процедура проверкаКонфигураций(S,C)
  s:=выбратьПервыйЭлемент(S); // выбор конфигурации из списка
  N:=получитьВершины(S); // получить вершины конфигурации
  добавитьВершины(N,C1); // добавить вершины в конфигурацию
  k:=получитьМощность(S); // получить число элементов в списке
  завершитьКонфигурацию(C1); // функция завершения конфигурации,
  // подробно рассмотрена ниже
  i:=2;
  S:=S-{s}; // удаление рассмотренной конфигурации из списка
  пока i ≤ k выполнять // цикл по конфигурациям
    s:=выбратьПервыйЭлемент(S);
    Nnew:=получитьВершины(s);
    Nplus:=Nnew-N; // получение добавленных на новом шаге вершин
    Nminus:=N-Nnew; // получение удаленных на новом шаге вершин
    Ci:=C(i-1); // начало модификации множества вершин,
    //полученного на предыдущем шаге
    добавитьВершины(Nplus, Ci); // функция добавления вершин
    // в конфигурацию. Подробно
    // рассмотрена ниже
    удалитьВершины(Nminus, Ci); // функция удаления вершин
    // из конфигурации. Подробно
    // рассмотрена ниже
    завершитьКонфигурацию(Ci);
    i=i+1; // переход к следующему шагу
  конец цикла // завершение цикла перебора конфигураций
конец процедуры
```

Имея обобщенную модель ТРАП $M = \{F, S, X, D(C, X)\}$, гиперграфовое представление ТРАП $F = (N, E, \Delta, \Psi)$, а также множество выбранных на конкретном шаге характеристик $N_{S_i} \subseteq N$, будем понимать корректную конфигурацию структурной модели на i -м шаге работы $C_i = (N_{C_i}, E_{C_i}, \Delta)$ как подграф ограниченной модели характеристик $C_F = (N, E', \Delta, \Psi')$. При этом под ограниченной моделью характеристик будем понимать модель характеристик, где:

- $E' = E \cup E_r \cup E_m$:
 - $E_r = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_l\} \wedge r_i \in N \forall i = 1, \dots, l$ – множество отношений включения (отношение, при котором включение одной характеристики, например модели, требует обязательного включения другой, например функции), смоделированных в форме гиперребер, для которых в целом справедливо $|H(r_i)| \geq 1$, где H – головное множество гиперребра;
 - $E_m = \{m_1, m_2, m_3, \dots, m_p\} \wedge m_j \in N \in j = 1, \dots, p$ – множество отношений исключения (связанные данным отношением характеристики не могут быть частью одной конфигурации), смоделированных в форме гиперребер, для которых в целом справедливо $|H(m_j)| \geq 2 \wedge T(m_j) = \Delta$, где T обозначает хвостовое множество гиперребра;
- $\Psi' = \Psi \cup \Psi_r \cup \Psi_m$:
 - $\Psi_r : E_r \rightarrow MV$ – функция маркировки, ставящая в соответствие каждому гиперребру r_i пару $mv(r_i) = (\min, \max) \in MV$, где MV – множество всех значений мощности модели, так что $\min = |H(r_i)| = \max$. Когда отношение включения затрагивает две вершины, $mv(r_i) = (1, 1)$;
 - $\Psi_m : E_m \rightarrow MV$ – функция маркировки, ставящая в соответствие каждому гиперребру m_p пару $mv(m_p) = (\min, \max) \in MV$, так что $mv(m_p) = (0, 1)$.

3. Процедура добавления вершины в частичную конфигурацию

Данная процедура необходима для построения частичной конфигурации. Она осуществляет добавление вершины в конфигурацию, добавляя при этом (в случае необходимости) вершины-предки.

На основе имеющейся ограниченной модели характеристик $C_F = (N, E', \Delta, \Psi')$ множества выбранных характеристик $N_{S_i} \subseteq N$ (либо множества выбранных для добавления на текущем шаге вершин $N_{S_i+} \subseteq N$) и начальной конфигурации $C_0 = (N_0, E_0) / N_0 = \{\Delta\} \wedge E_0 = \emptyset$ (либо уже составленной на предыдущих шагах работы алгоритма конфигурации $C_{i-1} = (N_{C_{i-1}}, E_{C_{i-1}}, \Delta)$) предлагаемая процедура работает следующим образом:

1. Выбор и удаление характеристики $n \in N_{S_i}$ из множества N_{S_i} . Добавление $n \in N_{S_i}$ в конфигурацию C_i .

2. Для каждого гиперребра $e \in E$, чье головное множество содержит выбранную характеристику n и чья максимальная мощность еще не была достигнута, алгоритм выбирает хвостовое множество $T(e)$, если оно еще не выбрано, добавляет его к множеству N_{S_i} и совершает рекурсивный вызов (с обновленным множеством N_{S_i} и частичной конфигурацией C).

3. Если $N_{S_i} = \emptyset$, алгоритм завершает работу; в противном случае он продолжает свою работу с первого шага.

Аналогичным образом алгоритм работает и для множества $N_{S_{i+1}} \subseteq N$.

Алгоритм, реализованный в форме псевдокода, выглядит следующим образом:

```
процедура добавитьВершины(Ns,C)
  пока Ns ≠ ∅ выполнять // цикл по множеству вершин
    // Выбор и удаление узла n ∈ Ns
    n:=выбратьПервыйЭлемент(Ns);
    Ns:=Ns-{n};
    // Отметить узел n ∈ Ns как выбранный
    включитьВконф(n,C);
    // Действительное число родителей
    числоРодителей:=0;
    для каждого e ∈ BS(n) и тип(e) ≠ "ограничение" // цикл
      //по гиперребрам
      // Выбрать гиперребро, если максимальная мощность
      //отношения еще не достигнута
      если использовано(e) < максМощность(e) тогда
        числоРодителей:=числоРодителей+1;
        использовано(e):= использовано(e)+1;
        // Включение хвостового множества
        // в конфигурацию
        если не включеноВконф(хвост(e), C) тогда
          включитьВконф(хвост(e), C);
        конец условия
        Ns:=Ns ∪ хвост(e);
        добавитьВершины(Ns,C);
      конец условия
    конец цикла
  конец цикла
  // Завершение пути
  C:=void;
  // Проверка на некорректные конфигурации
  если числоРодителей=0 тогда
    возврат;
  конец условия
конец процедуры
```

4. Процедура удаления вершины из частичной конфигурации

Данная процедура необходима для построения частичной конфигурации. Она осуществляет удаление вершины из частичной конфигурации, удаляя при этом (в случае необходимости) ее потомков.

На основе набора данных, в который входят ограниченная модель характеристик $C_F = (N, E', \Delta, \Psi')$, множество выбранных для удаления на текущем шаге вершин $N_{S_i-} \subseteq N$ и составленная на предыдущих шагах работы алгоритма конфигурация $C_{i-1} = (N_{C_{i-1}}, E_{C_{i-1}}, \Delta)$, предлагаемая процедура работает следующим образом:

1. Характеристика $n \in N_{S_i-}$ выбирается и удаляется из множества N_{S_i-} и конфигурации C_i .

2. Для каждого структурного гиперребра $e \in E'$, чье хвостовое множество содержит выбранную характеристику n , алгоритм выбирает головное множество $H(e)$, удаляет его из конфигурации C_i , если это необходимо, и совершает рекурсивный вызов (с обновленными множеством N_{S_i-} и частичной конфигурацией C_i).

3. Если $N_{S_i-} = \emptyset$, алгоритм завершает работу; в противном случае он продолжает свою работу с первого шага.

Алгоритм, реализованный в форме псевдокода, выглядит следующим образом:

```

процедура удалитьВершины(Ns,C)
  пока Ns≠∅ выполнять // цикл по вершинам
    // Выбор и удаление узла n ∈ Ns
    n:=выбратьПервыйЭлемент(Ns);
    Ns:=Ns-{n};
    исключитьУзел(n,C);
    // исключение потомков узла из конфигурации
    // цикл по исходящим из удаленного узла ребрам
    для каждого e ∈ FS(n) и тип(e) ≠ "ограничение"
      // рассмотрение головного множества ребра
      UN=голова(e);
      // проверка дочерних узлов из головного множества ребра.
      для каждого n1 ∈ UN // если узел не включен в конф.
        //или у него есть включенные родители, то
        // исключить его из дальнейшего рассмотрения
        если не(включеноВКонф(n1,C) ) или
          числоРодитВКонфиг(n1,C)>0
          UN:=UN-{n1};
    конец условия
  конец цикла
  Ns:=Ns ∪ UN;
  удалитьВершины(Ns,C);
конец цикла
конец условия
конец цикла
конец процедуры
  
```

5. Процедура завершения частичной конфигурации

Данная процедура служит для завершения частичной конфигурации. Для каждого включенного в конфигурацию гиперребра (отношения модели

характеристик) она осуществляет проверку на достижение минимальной мощности отношения и в случае необходимости добавляет недостающие вершины в конфигурацию.

На основе составленной на i -м шаге частичной конфигурации $C_i = (N_{C_i}, E_{C_i}, \Delta)$ предлагаемая процедура работает следующим образом:

1. Генерируется список структурных гиперребер P , чье хвостовое множество уже включено в конфигурацию, но чья минимальная мощность еще не достигнута.

2. Для каждого гиперребра $e \in E_i$ алгоритм выбирает столько характеристик из головного множества, сколько требуется для достижения минимальной мощности, и выполняет рекурсивный вызов.

3. Если $P = \emptyset$, алгоритм завершает работу; в противном случае он продолжает свою работу с первого шага.

Алгоритм, реализованный в форме псевдокода, выглядит следующим образом:

```
процедура завершитьКонфигурацию (Ci)
  для каждого e ∈ E и включеноВКонфиг(хвост(e)) выполнить
    P := P ∪ {e};
  конец цикла
  пока P ≠ ∅ выполнять
    // Выбор и удаление p ∈ P
    p := выбратьПервыйЭлемент(P);
    P := P - {p};
    // Выбор характеристики из головного множества гиперребра
    // для достижения его минимальной мощности
    для каждой n ∈ голова(p) выполнять
      // Проверка, достигнута ли мин. мощность ребра
      // и не включена ли уже n в конф.
      если использовано(p) <= минМощность(p) и
        не(включеноВКонф(n, Ci)) тогда
        включитьВКонф(n, Ci);
        использовано(p) := использовано(p)+1; // проверка
        //на корректность
      если корректно (Ci) тогда
        // Поиск частичной конфигурации
        // для отношения ограничения
        если мощность(получитьОграничения(Ci)) > 0 тогда
          Civ := добавитьВершину(получитьОграничения(Ci), Ci);
        иначе
          Civ := Ci;
      конец условия
    // Завершение конфигурации
    для каждого c ∈ Civ выполнять
      C'iv := завершить (c);
      если корректно(C'i) тогда
        Ci := Ci ∪ { C'iv};
      иначе
        // Конфигурация некорректна
```

```
                Ci:=пусто;
                конец условия
            конец цикла
        иначе
            // Конфигурация некорректна
            Ci:=пусто;
        конец условия
    конец условия
конец цикла
конец цикла
конец процедуры
```

Заключение

В статье впервые предложен итерационный алгоритм верификации конфигураций математической модели ТРАП. Алгоритм основан на работе с представлением данной модели в форме ориентированного гиперграфа. Формализованы основные процедуры работы с частичными конфигурациями – добавление и удаление произвольных вершин, завершение частичной конфигурации и преобразование ее в полноценную путем добавления недостающих вершин из головных множеств гиперребер. Разработанный алгоритм также позволяет эффективно обрабатывать последовательность конфигураций. Применение алгоритма позволяет находить и исправлять ошибки, допускаемые непрофессиональным пользователем при проектировании трехмерной адаптивной программы.

Список литературы

1. **Apel, S.** Feature-Oriented Software Product Lines: concepts and implementation / S. Apel, D. Batory, C. Kästner, G. Saake. – Berlin : Springer, 2013. – С. 36–45.
2. **Czarnecki, K.** Feature Diagrams and Logics: There and Back Again / K. Czarnecki, A. Wasowski // SPLC '07 Proceedings of the 11th International Software Product Line. – Washington, USA : IEEE Computer Society Washington, 2007. – P. 68–70.
3. **Бождай, А. С.** Моделирование изменчивости в автоматизированном проектировании адаптивных обучающих программ / А. С. Бождай, Ю. И. Евсева // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 1 (33). – С. 5–18.
4. **Емеличев, В. А.** Лекции по теории графов / В. А. Емеличев, О. И. Мельников, В. И. Сарванов, Р. И. Тышкевич. – М. : Наука, 1990. – С. 90–97.

References

1. Apel S., Batory D., Kästner C., Saake G. *Feature-Oriented Software Product Lines: concepts and implementation*. Berlin: Springer, 2013, pp. 36–45.
2. Czarnecki K., Wasowski A. *SPLC '07 Proceedings of the 11th International Software Product Line*. Washington, USA: IEEE Computer Society Washington, 2007, pp. 68–70.
3. Bozhday A. S., Evseeva Yu. I. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* [University proceedings. Volga region. Engineering sciences]. 2015, no. 1 (33), pp. 5–18.
4. Emelichev V. A., Mel'nikov O. I., Sarvanov V. I., Tyshkevich R. I. *Lektsii po teorii grafov* [Lectures on the graph theory]. Moscow: Nauka, 1990, pp. 90–97.

Евсеева Юлия Игоревна

аспирант, Пензенский
государственный университет (Россия,
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: shymoda@mail.ru

Evseeva Yuliya Igorevna

Postgraduate student, Penza State
University (40 Krasnaya street, Penza,
Russia)

УДК 004.94

Евсеева, Ю. И.

Алгоритм верификации структуры трехмерного адаптивного приложения / Ю. И. Евсеева // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 4 (36). – С. 5–16.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОТИРОВОК АКЦИЙ ПРИ ПОМОЩИ МОДЕЛИ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ВАНГА – МЕНДЕЛЯ

Аннотация.

Актуальность и цели. Прогнозирование котировок акций является актуальной задачей, однако не менее актуальной является задача выявления корреляционной зависимости между прогнозируемой последовательностью и последовательностями биржевых цен на другие товары. Целью данной работы является исследование эффективности прогнозирования котировок акций с использованием корреляционной зависимости с ценами на сырьевые товары при помощи модели нечеткой нейронной сети Ванга – Менделя.

Материалы и методы. Все исследования проводились в среде разработанного комплекса программ, в котором реализована программная модель сети Ванга – Менделя, обучение сети проводилось тремя различными алгоритмами и отображение результатов обучения и прогнозирования в виде графиков и значений погрешностей. Предложена методика определения корреляционных зависимостей между обучающими выборками по графикам корреляционных функций и значениям временных задержек, расчета корреляционной зависимости прогнозируемой последовательности и обучения сети Ванга – Менделя. Исследования проводились на котировках акций нефтегазовых компаний: ОАО «Лукойл», ОАО «Роснефть» и ОАО «Транснефть». Для исследования корреляционной зависимости были выбраны цены на нефть двух марок – *Brent* и *WTI*, а также цены на мазут.

Результаты. Использование корреляционной зависимости между прогнозируемой последовательностью и обучающими выборками улучшает прогнозирующие способности сети Ванга – Менделя, значительно уменьшая максимальную относительную погрешность прогнозирования. Анализ эффективности прогнозирования показал преимущество использования не менее двух коррелирующих выборок со средними задержками (не более 60–70 дней). Анализ влияния алгоритмов обучения на погрешность прогнозирования показал преимущество адаптивного алгоритма и алгоритма наискорейшего спуска с инициализацией алгоритмом *k*-усреднений по сравнению с алгоритмом наискорейшего спуска с инициализацией адаптивным алгоритмом.

Выводы. Предложенные методики, модели и алгоритмы, а также проведенные исследования, позволили получить численные оценки погрешности прогнозирования без использования и с использованием корреляционной зависимости обучающих выборок, на основании которых можно сделать обоснованный выбор коррелирующих выборок и алгоритмов обучения сети.

Ключевые слова: котировки акций, прогнозируемая последовательность, корреляционная зависимость, обучающие выборки, нечеткая нейронная сеть Ванга – Менделя, адаптивный алгоритм обучения, алгоритм наискорейшего спуска, алгоритм *k*-усреднений, погрешность прогнозирования.

STUDY OF STOCK PRICE PREDICTION ERROR USING THE WANG-MENDEL'S FUZZY NEURAL NETWORK MODEL

Abstract.

Background. Stock prices forecasting is an important task, but the problem of identifying a correlation between a predicted sequence and exchange prices for other goods is important too. The goal of this study is to investigate the effectiveness of stock prices forecasting with a correlation of commodity prices by using the Wang-Mendel's fuzzy neural network model.

Materials and methods. All studies were conducted in custom software implementing the Wang-Mendel's network model; the network used three different training algorithms and displayed the results of learning and forecasting as graphic lines and error values. The article describes a method for determining correlations between training samples from graphs of correlation functions and time delay values, adduces calculations of the forecasting sequence correlation and Wang-Mendel's network training. The research used prices of the following oil and gas companies: "LUKOIL", "Rosneft" and "Transneft". To investigate the correlation the author used prices of two oil markers – Brent and WTI, as well as fuel oil prices.

Results. Usage of the correlation between the forecasting sequence and the training samples improves the predictive ability of the Wang-Mendel's network, significantly reducing the maximum relative error of the forecast. Analysis of the forecasting effectiveness shows the advantage of using at least two correlated samples with an average delay (not more than 60–70 days). Analysis of the training algorithms influence on the forecasting error shows the advantage of the adaptive algorithm and the steepest descent algorithm with k-averages initialization in comparison with the steepest descent algorithm with adaptive initialization.

Conclusions. The proposed methods, models and algorithms, as well as the conducted research have provided numerical estimates of the forecasting error with and without using the correlation between training samples, on this basis of which one can make a choice of correlating samples and network training algorithms.

Key words: stock prices, forecasting sequence, correlation, training sample, Wang-Mendel's fuzzy neural network, adaptive learning algorithm, steepest descent algorithm, k-averages algorithm, forecasting error.

Введение

Существуют различные подходы к прогнозированию, и выбор конкретного метода зависит от имеющейся информации и свойств исследуемой последовательности данных. Традиционным методом прогнозирования временных рядов выступает регрессионный анализ. При этом предполагается, что значения ряда представляют собой случайную функцию времени, либо предыдущих значений временного ряда (авторегрессионная модель), и задача заключается в верной идентификации модели. Выбор того или иного вида функции не формализован и целиком зависит от опыта эксперта. В то же время нейронная сеть выступает в качестве универсального аппроксиматора обучающих данных, поэтому применение нейронных сетей для прогнозирования является весьма перспективным. При работе нейронная сеть принимает значения входных переменных и выдает значения выходных переменных. Важным условием применения нейронных сетей для прогноза является наличие связи между известными входными значениями и неизвестными выходными значениями. Эффективность использования регрессионных и нейросетевых моделей для прогнозирования временных рядов исследована в работах [1–4]. Проблема неточности, неполноты, недетерминированности многих

временных рядов привела в настоящее время к использованию для этих целей нечетких нейронных сетей [5, 6]. В данной работе анализируется эффективность прогноза нечеткой сетью Ванга – Менделя для традиционных временных рядов котировок акций с использованием предложенной методики корреляционного анализа для формирования обучающих выборок на основе временных рядов цен на сырьевые товары, имеющих корреляционную зависимость с прогнозируемым рядом.

1. Методика корреляционного анализа обучающих выборок

При обычном обучении с использованием одномерной обучающей выборки входная последовательность данных подается последовательно, при этом происходит формирование обучающей выборки разделением данных на векторы размерностью, равной заданному прогнозному окну.

При использовании корреляционных зависимостей обучающих выборок обучающая выборка включает одно эталонное значение (известной котировки акции) и по одному элементу последовательностей цен на биржевые товары, коррелирующих с прогнозируемыми данными. Таким образом, получается многомерная обучающая выборка, но сохраняется одномерность входной последовательности. В данном случае размер прогнозного окна равен количеству коррелирующих с прогнозируемыми котировками данными.

Для определения корреляционных зависимостей рассчитывалась нормированная корреляционная функция, имеющая вид

$$cor(t) = \frac{\sum_{t=1}^N (X_t - MX)(Y_t - MY)}{\sqrt{\sum_{t=1}^N (X_t - MX)^2 \sum_{t=1}^N (Y_t - MY)^2}}, \quad (1)$$

где X_t и Y_t – элементы пары исследуемых выборок; $MX = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N X_t$,

$MY = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N Y_t$, $N = \min(N_X, N_Y)$, $-1 \leq cor(X, Y, t) \leq 1$, N_X и N_Y – мощности выборок.

Для оценки корреляционных зависимостей между выборками использовались задержки – количество дней от начала отсчета до момента времени, когда корреляционная функция впервые достигла своего максимального значения.

2. Модель сети Ванга – Менделя и методика обучения

Сеть Ванга – Менделя относится к классу нечетких продукционных нейронных сетей, который объединяет возможности нечеткого логического вывода, присущие базам продукционных правил, и способности нейронных сетей обучаться на ограниченном множестве примеров. Правило вывода для сети Ванга – Менделя имеет следующий вид:

если x это A , то $y = p_0$,

где p_0 – вес, подбираемый в процессе обучения.

Структура сети представлена на рис. 1.

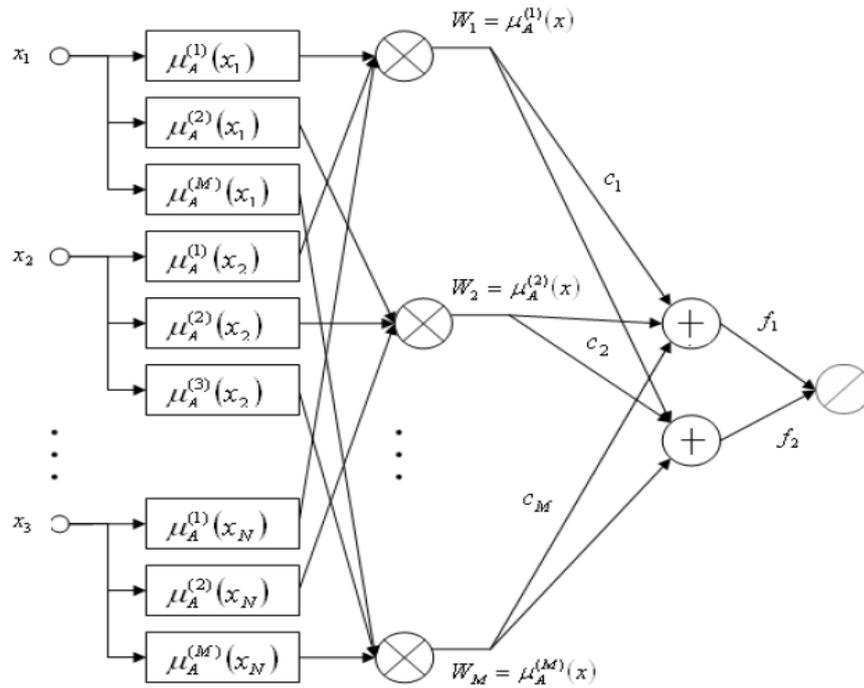


Рис. 1. Структура сети Ванга – Менделя

Сеть представляет собой четырехслойную структуру, в которой первый слой выполняет фуззификацию входных данных, второй – агрегирование значений активации условия нечеткого правила вывода, третий (линейный) – агрегирование M правил вывода (первый нейрон) и генерацию нормализующего сигнала (второй нейрон), тогда как состоящий из одного нейрона выходной слой осуществляет нормализацию, формируя выходной сигнал $y(x)$. Только первый и третий слои являются параметрическими. В первом слое это параметры функции фуззификации $(c_j^{(k)}, \sigma_j^{(k)}, b_j^{(k)})$, а в третьем слое – веса c_1, c_2, \dots, c_M [1].

Выходной сигнал данной нечеткой сети определяется по формуле

$$y = f(x) = \frac{\sum_{i=1}^M c_i \left[\prod_{j=1}^N \exp \left[- \left(\frac{x_j - c_j^{(i)}}{\sigma_j^{(i)}} \right)^{2b_j^{(i)}} \right] \right]}{\sum_{i=1}^M \left[\prod_{j=1}^N \exp \left[- \left(\frac{x_j - c_j^{(i)}}{\sigma_j^{(i)}} \right)^{2b_j^{(i)}} \right] \right]}, \quad (2)$$

где c_1, c_2, \dots, c_M – веса; $c_j^{(i)}, \sigma_j^{(i)}, b_j^{(i)}$ – параметры функции фуззификации (центр, параметры разброса и кривизны); x_j – элементы массива входных данных; M – число правил вывода; N – число входных переменных.

В разработанной программной модели сети реализованы три алгоритма обучения: алгоритмы самоорганизации – адаптивный и k -усреднений, градиентный алгоритм обучения наискорейшего спуска, который используется вместе с методом обратного распространения ошибки [1]. При помощи адаптивного алгоритма и алгоритма наискорейшего спуска можно уточнить как параметры функции фуззификации, так и веса сети. Алгоритм k -усреднений предназначен только для расчета центров функции фуззификации, поэтому автором предложена методика обучения сети Ванга – Менделя в виде последовательного применения двух алгоритмов обучения: k -усреднений и наискорейшего спуска. Кроме того, предложена методика последовательного применения адаптивного алгоритма и алгоритма наискорейшего спуска. При таких режимах обучения алгоритмы самоорганизации исполняют функции первичной инициализации параметров сети, а алгоритм наискорейшего спуска служит для их уточнения в процессе обучения [6].

3. Экспериментальные исследования корреляционной зависимости

В работе были проведены исследования корреляционной зависимости котировок акций трех нефтяных компаний: «Лукойл», «Роснефть» и «Транснефть». В качестве биржевых цен на сырьевые товары были выбраны цены на нефть марок *Brent* и *WTI* и цена на мазут [7]. Для компании «Лукойл» были сделаны исследования корреляционной зависимости котировок акций и цен на природный газ, драгоценные металлы и медь, а также проведен корреляционный анализ зависимости котировок акций всех трех компаний. В табл. 1 показаны результаты корреляционного анализа.

Из табл. 1 видно, что не всегда малое значение временной задержки означает сильную корреляционную зависимость между выборками. Наиболее сильная корреляционная зависимость существует между самими котировками акций и ценами на мазут и нефть двух марок, поскольку временная задержка небольшая и в то же время отлична от нуля [6].

4. Экспериментальные исследования погрешности прогноза

В проведенных исследованиях сеть Ванга – Менделя обучалась стандартным методом при помощи временного ряда котировок акций и с помощью коррелирующих выборок.

При обычном обучении с использованием одномерной обучающей выборки временная последовательность данных подается итерационно со сдвигом на один отсчет, при этом размер входного вектора определяется размером прогнозного окна. Обучающие данные разделяются на два непересекающихся множества, одно из которых используется непосредственно для обучения, а второе – для тестирования работы сети. В среднем объем выборки составляет около 302 значений (котировки акций на период с 10.01.2013 по 09.04.2014 за вычетом выходных дней, когда торги не происходят). Из них около 20 значений отводится на данные для тестирования (прогнозирования), т.е. 7 % от общего объема выборки.

Результаты корреляционного анализа

Компания	Название биржевого товара	Значение корреляционной функции	Значение временной задержки
Лукойл	Мазут	0,2293	1
	Нефть <i>Brent</i>	0,3084	1
	Нефть <i>WTI</i>	0,3087	1
	Золото	0,2413	184
	Роснефть	0,6281	0
	Транснефть	0,8015	0
	Серебро	0,0169	250
	Платина	-0,1642	46
	Природный газ	0,2506	152
	Палладий	-0,0159	55
Роснефть	Мазут	0,6232	1
	Нефть <i>Brent</i>	0,7107	2
	Нефть <i>WTI</i>	0,7099	2
Транснефть	Мазут	0,4364	1
	Нефть <i>Brent</i>	0,5452	2
	Нефть <i>WTI</i>	0,5446	2

При использовании корреляционных зависимостей обучающая выборка включает одно эталонное значение (известной котировки акции) и по одному элементу временных последовательностей цен на биржевые товары, коррелирующих с прогнозируемыми данными. При этом элементы коррелирующих выборок подаются со сдвигом вправо относительно элементов прогнозируемой выборки, равным временной задержке. Таким образом, получается многомерная обучающая выборка, но сохраняется одномерность входной последовательности. В данном случае размер прогнозного окна равен количеству коррелирующих с прогнозируемыми котировками данных, увеличенному на единицу (прогнозируемая выборка).

В работе рассчитывалась средняя относительная погрешность обучения и тестирования (прогнозирования). Формула расчета данной погрешности для пары «теоретическое значение – рассчитанное значение» выглядит следующим образом:

$$e = \left| \frac{y_i - y_i^{val}}{y_i^{val} \cdot N} \right|, \quad (3)$$

где y_i^{val} – вычисленное значение выходного сигнала сети; y_i – эталонное значение выходного сигнала сети; N – размерность выборки.

В табл. 2 представлены результаты прогнозирования стандартным способом и прогнозирования с применением корреляций. Во втором случае в качестве коррелирующих выборок использовались цены на нефть марки *Brent*, нефть марки *WTI* и мазут.

Таблица 2

Результаты прогнозирования без использования корреляционных зависимостей и прогнозирования с применением корреляций

Компания	Название алгоритма обучения	Относительная погрешность			
		Без корреляции		С корреляцией	
		обучения	тестирования	обучения	тестирования
Лукойл	Адаптивный	0,0007	0,0133	0,0051	0,0081
	Наискорейшего спуска	0,0108	0,0100	0,0104	0,0077
	Последовательный	0,0616	0,0431	0,2120	0,0080
Роснефть	Адаптивный	0,0047	0,0060	0,0057	0,0058
	Наискорейшего спуска	0,0093	0,0046	0,0104	0,0050
	Последовательный	0,0133	0,0052	0,0164	0,0054
Транснефть	Адаптивный	0,0029	0,0077	0,0057	0,0085
	Наискорейшего спуска	0,0146	0,0094	0,0105	0,0079
	Последовательный	0,6387	0,5453	0,0395	0,0099

Из табл. 2 видно, что при использовании корреляционных зависимостей значительно уменьшаются погрешности прогнозирования, особенно в случае адаптивного алгоритма обучения. Обучение при помощи алгоритма наискорейшего спуска не всегда дает лучший результат при использовании корреляции.

Для оценки корреляционных зависимостей между выборками использовалось разное число коррелирующих выборок. В табл. 3 приведены значения погрешности прогнозирования котировок акций «Лукойла» для разного числа коррелирующих выборок. При этом использовались выборки с одинаковыми значениями задержки: нефть марки *Brent*, нефть марки *WTI* и мазут.

Таблица 3

Значения погрешности прогнозирования и обучения для разного числа коррелирующих выборок

Название алгоритма обучения	Относительная погрешность					
	Одна выборка		Две выборки		Три выборки	
	обучения	тестирования	обучения	тестирования	обучения	тестирования
Адаптивный	0,0061	0,0078	0,0048	0,0068	0,0051	0,0081
Наискорейшего спуска	0,0102	0,0072	0,0085	0,0072	0,0079	0,0075
Последовательный	0,0193	0,0096	0,0289	0,0076	0,2120	0,0080

Как видно из табл. 3, наилучший результат получается при использовании двух выборок, связанных корреляционной зависимостью с прогнозируемой выборкой. Это значит, что наиболее подходящий размер прогнозного окна равен 2.

Исследования влияния алгоритмов обучения на погрешность прогнозирования проводились для двух коррелирующих выборок с временной за-

держкой (d) не больше 70 дней. Результаты исследований для акций компании «Лукойл» приведены в табл. 4, «Транснефть» – в табл. 5, «Роснефть» – в табл. 6.

Таблица 4
Значения погрешности обучения и прогнозирования акций компании «Лукойл» для различных алгоритмов обучения

Название алгоритма обучения	Относительная погрешность			
	Нефть <i>WTI</i> и мазут ($d = 1$)		Платина ($d = 46$) и палладий ($d = 55$)	
	обучения	тестирования	обучения	тестирования
Адаптивный	0,0036	0,0070	0,0005	0,0157
Наискорейшего спуска	0,0107	0,0071	0,0350	0,0161
Последовательный	0,0249	0,0089	0,1445	0,0801

Таблица 5
Значения погрешности обучения и прогнозирования акций компании «Транснефть» для различных алгоритмов обучения

Название алгоритма обучения	Относительная погрешность			
	Нефть <i>WTI</i> и мазут ($d = 1$)		Платина ($d = 43$) и палладий ($d = 70$)	
	обучения	тестирования	обучения	тестирования
Адаптивный	0,0056	0,0080	0,0037	0,0287
Наискорейшего спуска	0,0118	0,0076	0,0350	0,0070
Последовательный	0,1252	0,0817	0,1056	0,0675

Таблица 6
Значения погрешности обучения и прогнозирования акций компании «Роснефть» для различных алгоритмов обучения

Название алгоритма обучения	Относительная погрешность			
	Нефть <i>WTI</i> ($d = 2$) и мазут ($d = 1$)		Платина ($d = 43$) и палладий ($d = 70$)	
	обучения	тестирования	обучения	тестирования
Адаптивный	0,0067	0,0053	0,0166	0,0079
Наискорейшего спуска	0,0137	0,0050	0,0137	0,0059
Последовательный	0,0112	0,0055	0,1406	0,0417

Как видно из табл. 4–6, при малых временных задержках погрешности тестирования при обучении сети адаптивным алгоритмом и алгоритмом наискорейшего спуска примерно одинаковые, при увеличении временных задержек алгоритм наискорейшего спуска обеспечивает минимальную погрешность прогнозирования. Последовательный (алгоритм обратного распространения ошибки с инициализацией адаптивным алгоритмом) дает максимальную погрешность прогнозирования при любых временных задержках.

Заключение

Следует отметить, что выбор в пользу использования коррелирующих выборок имеет смысл при наличии сильной зависимости. Сам факт наличия корреляционной зависимости не дает основания утверждать, что одна из выборок является причиной изменений значений другой выборки, а не наблюдается действие третьего фактора. Коррелирующие выборки могут успешно использоваться для прогнозирования спада или роста котировок, при этом не всегда гарантируя высокую точность прогнозируемых цен. По проведенным исследованиям можно дать следующие рекомендации по использованию корреляционных зависимостей:

1. Использование корреляционных зависимостей улучшает прогнозирующие способности сети Ванга – Менделя, существенно уменьшая ошибку прогнозирования.

2. Наилучшие результаты прогнозирования получаются при использовании двух коррелирующих выборок.

3. При прогнозировании с использованием корреляций наиболее эффективен для обучения алгоритм наискорейшего спуска с инициализацией алгоритмом k -усреднений.

Список литературы

1. **Оссовский, С.** Нейронные сети для обработки информации / С. Оссовский ; пер. с пол. И. Д. Рудинского. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
2. **Khashei, M.** A novel hybridization of artificial neural networks and ARIMA models for time series forecasting / M. Khashei, M. Bijari // *Applied Soft Computing*. – 2011. – Vol. 11, № 2. – С. 2664–2675.
3. **Zhang, G. P.** Neural networks for time-series forecasting / G. P. Zhang // *Handbook of Natural Computing*. – Berlin : Springer Berlin Heidelberg, 2012. – P. 461–477.
4. **Yan, W.** Toward automatic time-series forecasting using neural networks / W. Yan // *Neural Networks and Learning Systems, IEEE Transactions on*. – 2012. – Vol. 23, № 7. – P. 1028–1039.
5. **Khashei, M.** Fuzzy artificial neural network (p, d, q) model for incomplete financial time series forecasting / M. Khashei, M. Bijari // *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. – 2014. – Vol. 26, № 2. – P. 831–845.
6. **Солдатова, О. П.** Анализ результатов прогнозирования котировок акций с использованием корреляционной зависимости обучающих выборок / О. П. Солдатова, Д. А. Панкратова, В. Г. Литвинов // *Перспективные информационные технологии (ПИТ 2015) : тр. Междунар. науч.-техн. конф. (Самара, СГАУ, 28–30 апреля 2015 г.)*. – Самара : Изд-во Самар. науч. центра РАН, 2015. – Т. 1. – С. 214–217.
7. Цены сырьевых товаров. – URL: <http://www.finanz.ru/birzhevyye-tovary>.

References

1. Ossovskiy S. *Neyronnye seti dlya obrabotki informatsii* [Neural networks for information processing]. Transl. from Polish by I. D. Rudinskiy. Moscow: Finansy i statistika, 2002, 344 p.
2. Khashei M., Bijari M. *Applied Soft Computing*. 2011, vol. 11, no. 2, pp. 2664–2675.
3. Zhang G. P. *Handbook of Natural Computing*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 461–477.
4. Yan W. *Neural Networks and Learning Systems, IEEE Transactions on*. 2012, vol. 23, no. 7, pp. 1028–1039.
5. Khashei M., Bijari M. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. 2014, vol. 26, no. 2, pp. 831–845.

6. Soldatova O. P., Pankratova D. A., Litvinov V. G. *Perspektivnye informatsionnye tekhnologii (PIT 2015): tr. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. (Samara, SGAU, 28–30 aprelya 2015 g.)* [Prospective information technologies (PIT 2015): proceedings of the International scientific and technical conference (Samara, SSAU, 28–30 April 2015)]. Samara: Izd-vo Samar. nauch. tsentra RAN, 2015, vol. 1, pp. 214–217.
7. *Tseny syr'evykh tovarov* [Primary product prices]. Available at: <http://www.finanz.ru/birzhevyye-tovary>.

Солдатова Ольга Петровна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационных систем
и технологий, Самарский
государственный аэрокосмический
университет имени академика
С. П. Королева (Национальный
исследовательский университет)
(Россия, г. Самара, Московское
шоссе, 34)

E-mail: op-soldatova@yandex.ru

Soldatova Ol'ga Petrovna

Candidate of engineering sciences, associate
professor, sub-department of information
systems and technologies, Samara State
Aerospace University named
after S. P. Korolev (National Research
University) (34 Moskovskoe highway,
Samara, Russia)

УДК 004.032.26

Солдатова, О. П.

Исследование погрешности прогнозирования котировок акций при помощи модели нечеткой нейронной сети Ванга – Менделя / О. П. Солдатова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 4 (36). – С. 17–26.

И. И. Лавреш, А. В. Трифонов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ С ВНЕШНИМИ ИСТОЧНИКАМИ ИНФОРМАЦИИ ИЗ СОЦИАЛЬНЫХ СТРУКТУР В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Аннотация.

Актуальность и цели. Объектом исследования являются системы поддержки принятия решений ситуационного центра органа государственной власти субъекта Российской Федерации. Предметом исследования являются процессы сбора и обработки данных из социальных структур при проведении экспертного оценивания с использованием технологии краудсорсинга. Цель работы – повышение качества выдаваемых решений и скорости обработки информации при применении экспертного оценивания в системах поддержки принятия решений.

Материалы и методы. Рассмотрены вопросы повышения качества принимаемых решений в системах поддержки принятия решений при использовании краудсорсинга как технологии экспертного оценивания на примере ситуационного центра в региональном управлении. Используются методы: анализа выбросов в категориальных атрибутах данных, определения результирующего ранжирования экспертных оценок, определения меры рассогласования интересов экспертов и целевого сообщества.

Результаты. Предложены возможные способы повышения качества выдаваемых решений и скорости обработки информации при применении экспертного оценивания. Описан метод выявления и отсеивания предложений, не относящихся к заявленной предметной области. Разработана процедура оценки степени сходимости мнения экспертов и целевого сообщества. Описана методика результирующего ранжирования экспертных оценок.

Выводы. Предложенный комплекс методов обеспечивает максимальный учет мнений как населения, так и профессионального сообщества. Данный подход позволяет повысить качество планирования и прогнозирования в государственном управлении. Дальнейшие исследования могут быть посвящены разработке технологий взаимодействия с социальными структурами и использованию других методов определения меры согласования интересов различных групп, например на методах, основанных на аксиомах Эрроу.

Ключевые слова: задачи управления, ситуационный центр, экспертное оценивание, краудсорсинг, ранжирование, выявление аномалий, оценка степени сходимости.

I. I. Lavresh, A. V. Trifonov

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF WORKING WITH EXTERNAL SOURCES OF INFORMATION FROM SOCIAL STRUCTURES IN DECISION SUPPORT SYSTEMS

Abstract.

Background. The object of the study is a decision support system for the state agency of a subject of the Russian Federation. The research subject is the processes of acquisition and processing of data from social structures at peer evaluation using

crowdsourcing techniques. The purpose of the work is to improve the quality of decisions issued and information processing speed when applying expert evaluation in decision support systems.

Materials and methods. The article considers questions of improving the quality of decisions in decision support systems using crowdsourcing as a technology of expert evaluation by the example of a situational center at a regional administration. The methods included as follows: analysis of emissions of data categorical attributes, determination of resulting ranking of expert assessments, identification of a degree of misalignment of experts' and target community's interests.

Results. The article suggests possible ways to improve the quality of issued decisions and information processing speed at application of expert evaluation. The work describes a method for detection and screening of proposals, irrelevant to the stated domain. The authors have developed a procedure of assessing convergence of experts' and target community's opinions. A method for ranking the result of expert estimates is also described.

Conclusions. The proposed set of methods ensures maximum account of views of both the population and the professional community. This approach allows to improve the quality of planning and forecasting in public administration. Further studies may be devoted to development of technologies of interaction with social structures. For example, methods such as the axioms of Arrow may be used to determine the measures of coordination of interests of different groups

Key words: strategic decisions, situational center, expert evaluation, crowdsourcing, ranking, anomaly detection, assessment of a degree of convergence.

Введение

Недостаточная обоснованность решений и анализа рисков в области стратегического планирования обусловлена тем, что многие руководители используют принципы и методы принятия решений, не соответствующие складывающимся социально-экономическим и политическим условиям в регионе.

Принятие стратегических решений происходит, как правило, в условиях слабоструктурированных или неформализованных задачах управления, для решения которых одним из наиболее эффективных инструментов является ситуационный центр (СЦ).

Сложность и многогранность задач, решаемых в СЦ, высокая скорость изменения обстановки и затрагиваемых процессов усиливают степень неопределенности задач управления. Возможности поиска наиболее оптимальных решений и всесторонний учет рисков выходят за рамки интеллектуальных возможностей лица, принимающего решения. Для преодоления этих ограничений используются достижения в области информационно-коммуникационных технологий, в том числе искусственного интеллекта. Для увеличения числа лиц, участвующих в процессе подготовки решения, привлекаются внешние эксперты. Это дает возможность получить наиболее полное описание проблемы и возможных путей ее решения.

1. Применение технологии краудсорсинга в ситуационном управлении

Достижения в области инфокоммуникационных технологий, повсеместное распространение Интернета породило такое явление, как социальные структуры, наиболее известными представителями которых являются соци-

альные сети. Органы госуправления начали привлекать энтузиастов, желающих поучаствовать в решении определенных задач. Такая технология называется краудсорсингом. При применении этой технологии целевая аудитория может беспрепятственно высказывать свое мнение, выходя за границы опросного листа.

При всех преимуществах использования технологии краудсорсинга ей присущи следующие недостатки:

- невозможность полностью контролировать ход работ, планировать результат как по срокам, так и по объемам;
- зачастую низкое качество выдаваемых решений, избыточность и дублирование информации от краудсорсеров;
- значительные затраты времени и ресурсов на обработку и дополнительную проверку информации;
- высокие требования к организации систем взаимодействия и обратной связи;
- необходимость высокого уровня мотивации участников;
- возможные утечки информации и подтасовка результатов.

В данной работе рассматриваются возможные способы повышения качества выдаваемых решений и скорости обработки данных из социальных структур при применении технологии краудсорсинга в экспертном оценивании.

Технология экспертного оценивания с использованием краудсорсинга включает в себя шесть этапов:

1. Определение проблемы (формулировка цели).
2. «Трансляция» (публикация) проблемы в форме открытого исследования (конкурса) посредством тех каналов связи, которые чаще всего используются целевым сообществом. При этом оговариваются необходимость и условия обратной связи.
3. Сбор возможных решений (генерация альтернатив), предложенных целевым сообществом.
4. Анализ возможностей применения предложенных решений (альтернатив) в интересах поставленной цели.
5. Выбор наиболее привлекательных решений:
 - а) ранжировка, проводимая целевым сообществом;
 - б) ранжировка, проводимая экспертами СЦ.
6. Оценка степени сходимости мнения экспертов и целевого сообщества. Выбор наиболее оптимального решения.

2. Поиск аномалий в данных методом анализа выбросов

На этапе сбора возможных вариантов решений, предлагаемых целевым сообществом, персонал СЦ сталкивается с необходимостью обработки большого объема поступающей информации с целью выявления и отсеивания предложений, не относящихся к заявленной предметной области.

Для поиска аномалий в данных предлагается использовать метод анализа выбросов в категориальных атрибутах данных [1]. Данный метод основан на оценке плотности расположения объектов, проверяющихся на выбросы. Объекты, лежащие в областях наиболее низкой плотности, считаются выбросами.

Понятия исходных данных и шума определяются следующим образом.

Имеется исходное множество информационных объектов (объектов данных):

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}.$$

Множество атрибутов описывается следующим образом:

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}.$$

Множество значений некоторого категориального атрибута A равно

$$D(A_i) = \{a_1, \dots, a_p\}.$$

Каждый объект является кортежем значений атрибутов

$$X_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik}\}.$$

Объект X_i является искаженным объектом, т.е. содержит шум, если существует такой атрибут $A_j, j = \overline{1, k}$, значение a_{ij} которого является искаженным. Таким образом, шумом называются искаженные значения атрибутов объектов. В данной работе рассматривается шум двух типов: отсутствие значений или аномальные значения. Шум типа «отсутствие значения» обозначается как $a_{ij} = null$. Если некоторые объекты данных имеют пропуски в значениях каких-либо атрибутов, считается, что данные пропуски не несут физического смысла и маркируются как шум.

В работе [1] предложена формула для вычисления расстояний между значениями категориального атрибута. Значение $f_j(x)$ равно количеству объектов, атрибут A_j которых принимает значение x :

$$f_j(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i,$$

$$\lambda_i = \begin{cases} 1, & \text{если } a_{ij} = x; \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

Пусть имеется некоторый категориальный атрибут A_n , принимающий значения $D(A_n) = \{a_1, \dots, a_p\}$. Тогда расстояние между значениями x_i и x_j ($i, j \leq p$) при условии, что $x_i \neq x_j$, обозначается как $dist_{A_n}(x_i, x_j)$ и вычисляется следующим образом:

$$dist_{A_n}(x_i, x_j) = \sqrt{\frac{f_n(x_i) + f_n(x_j)}{f_n(x_i) \cdot f_n(x_j)}}.$$

Показатель LOF (*Local Outlier Factor*) аномальности объекта p относительно объекта o вычисляется следующим образом:

$$LOF(p) = \frac{\sum_{o \in N_k(p)} \frac{lrd_k(o)}{lrd_k(p)}}{|N_k(p)|}$$

Локальная плотность lrd (*local reachability density*) в точке p определяется как

$$lrd_k(p) = 1 / \left(\frac{\sum_{o \in N_k(p)} RD_k(p,o)}{|N_k(p)|} \right),$$

где $N_k(p)$ – k -окрестность объекта $p \in D$. Это область, содержащая любой объект q , расстояние от p до которого не больше $D_k(p)$:

$$N_k(p) = \{q \in D \setminus \{p\} \mid d(p,q) \leq D_k(p)\},$$

k – количество объектов, попадающих в окрестность (объекты из $N_k(p)$ называются k ближайшими соседями для p); $RD_k(p,o)$ – расстояние достижимости объекта p из объекта o . Расстоянием достижимости называется расстояние от объекта o до k -го ближайшего объекта, если p принадлежит окрестности объекта o . В противном случае расстоянием достижимости является непосредственное расстояние между o и p (рис. 1):

$$RD_k(p,o) = \begin{cases} D_k(o), & \text{если } p \in N_k(o), \\ d(p,o) & \text{иначе;} \end{cases}$$

D – множество всех объектов. Для любого объекта $p \in D$ расстояние до k -го из ближайших объектов задается формулой $Dk(p) = d(p,o)$, где $d(p,o)$ – расстояние между объектом p и объектом $o \in D$ таким, что:

- а) существует хотя бы k объектов $o' \in D \setminus \{p\}$, для которых выполняется $d(p,o') \leq d(p,o)$;
- б) существует не более $(k - 1)$ объектов $o' \in D \setminus \{p\}$, для которых выполняется $d(p,o') < d(p,o)$.

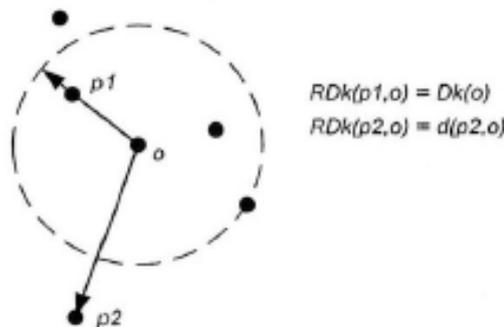


Рис. 1. Расстояние достижимости в k -окрестности точки и вне ее

3. Определение результирующего ранжирования экспертных оценок

Для повышения качества принимаемых решений наряду с краудсорсингом используется экспертное оценивание, проводимое профессиональными экспертами в данной предметной области.

Для определения результирующего ранжирования экспертных оценок предлагается методика, описанная в [2]. Она состоит из процедуры ранжирования предлагаемых альтернатив и процедуры поиска согласованных групп ответов экспертов.

Процедура ранжирования предлагаемых альтернатив. Каждое экспертное ранжирование A^r представляется в виде матрицы упорядочения в канонической форме. Элементы этих матриц соответственно равны:

$$A_{ij}^r = 1, \text{ если } i \text{ предпочтительнее } j;$$

$$A_{ij}^r = -1, \text{ если } j \text{ предпочтительнее } i;$$

$$A_{ij}^r = 0, \text{ если } i \text{ и } j \text{ равноценны.}$$

Здесь $\|a_{ij}^r\|$ ранжирование эксперта A^r , представленное в виде матрицы упорядочения в канонической форме.

Расстояние между ранжированиями A и B множества n объектов рассчитывается по формуле

$$d(A, B) = \sum \sum \frac{|a_{ij} - b_{ij}|}{2} \quad (i, j \in n).$$

Если имеется m ранжирований n объектов A_1, \dots, A_m , то медианой этого множества ранжирований будет такое ранжирование B , для которого величина $\sum_{i \in m} d(A_i, B)$ минимальна, а средним значением – ранжирование C , для ко-

торого минимальна величина $\sum_{i \in m} d(A_i, C)^2$.

Суммарное рассогласование (расстояние Кемени) S^k по всем m экспертам на k -м шаге равно

$$S^{(k)} = \sum \sum_{ij} d(A_i^{(k)}, A_j^{(k)}) \quad (i, j \in m),$$

а изменение суммарного рассогласования ΔS на $(k + 1)$ -м шаге равно

$$\Delta S^{(k+1)} = \left(\frac{|S^{(k)} - S^{(k+1)}|}{S^{(k)}} \right) \cdot 100 \%$$

Для выделения из общей совокупности ранжирований альтернатив группы экспертов с заданной степенью согласованности производится следующая процедура поиска [3].

Шаг 1. Элементы матрицы расстояний переводятся в относительные единицы по формуле $d_{ij}^0 = \frac{d_{ij}}{d_{\max}}$. Максимальное расстояние между ранжированиями равно $d_{\max} = m(m-1)$. Тогда получим таблицу расстояний Кемени в относительных единицах $\{d_{ij}^0\}$.

Шаг 2. Выбирается, исходя из реальной степени согласованности ответов экспертов, пороговое значение расстояния d_p . В качестве порогового значения d_p выбираются величины 0,05; 0,1 или 0,2. В этом случае будут сгруппированы ответы, степень согласованности которых будет не ниже 95, 90 или 80 %, т.е. принятые в практике статистических расчетов уровни значимости.

Шаг 3. Матрица относительных значений расстояния Кемени $\{d_{ij}^0\}$ в соответствии с выбранным пороговым значением d_p . В процессе такого преобразования каждое значение d_{ij}^0 сопоставляется с d_p , и если $0 < d_{ij}^0 \leq d_p$, то ставится 1, в противном случае ставится 0.

Шаг 4. Выполняется поиск ранжирования, максимально согласованного с выделенной группой r взаимосвязанных альтернатив. Ранжирование эксперта, у которого величина $\sum d_{ij}^2(i1; jr)$ минимальна, считается максимально согласованным с выделенной группой из r альтернатив.

Предложенный подход позволяет выбирать пороговые значения расстояния, ориентируясь на 80, 90 или 95 % степень согласованности ответов экспертов.

4. Определение меры рассогласования интересов экспертов и целевого сообщества

На следующем этапе проводится оценка степени сходимости мнения экспертов и целевого сообщества. Мера рассогласования интересов вышеуказанной пары групп при организации их действий с ориентацией на оптимизацию значений имеющейся совокупности показателей предложена в [4].

Эта мера находится на основании следующих двух утверждений, а также на аксиомах, которые сформулированы Кемени – Снеллом [5].

1. Сопоставляемые интересы индивидуумов и/или их групп отражаются в ранжировках значимости (ценности) совокупности показателей, с ориентацией на значения которых они строят свои действия.

Ранжировка показателей K_i , $i = \overline{1, m}$, $m \geq 2$, означает, что показатели расположены по убыванию (возрастанию) важности показателей.

Например, пусть имеется четыре показателя ($m = 4$) (табл. 1). Две группы ранжируют их следующим образом. Для первой группы самым ценным показателем является «Доходы региона» ($i = 1$), затем «Промежуточное потребление» ($i = 2$), затем «Имидж региона (туристическая привлекательность)» ($i = 3$). Наименее значимым для него является показатель «Экология» ($i = 4$). Для второй группы самым значимым является показатель «Экология» ($i = 4$). Менее значимыми и безразличными являются показатели «Доходы

региона» ($i = 1$), «Промежуточное потребление» ($i = 2$), «Имидж региона (туристическая привлекательность)» ($i = 3$). Ясно, что эти две ранжировки сильно отличаются.

Таблица 1

Таблица ранжировок

V_1	V_2
Доходы региона ($i = 1$)	Экология ($i = 4$)
Промежуточное потребление ($i = 2$)	Доходы региона ($i = 1$); Промежуточное потребление; ($i = 2$); Имидж региона (туристическая привлекательность) ($i = 3$)
Имидж региона (туристическая привлекательность) ($i = 3$)	
Экология ($i = 4$)	

На языке символов:

$$V_1: K_1 \succ K_2 \succ K_3 \succ K_4; V_2: K_4 \succ (K_1 \sim K_2 \sim K_3).$$

2. Мера $h_{j,k}$ рассогласования ранжировок V_j и V_k групп j и k должна отвечать условиям:

а) нормирования $0 \leq h_{j,k} \leq 1$, причем 0 имеет место в случае полного согласования интересов j -й и k -й групп, 1 – в случае полного рассогласования интересов;

б) симметрии: $h_{j,k} = h_{k,j}$;

в) неравенства треугольника: $h_{j,k} \geq h_{j,z} + h_{k,z}$, z -я группа имеет интересы, промежуточные между интересами j -й и k -й групп.

Кемени – Снеллом [5] доказано, что при истинности их аксиом существует единственная функция – расстояние между ранжировками V_j и V_k , которая запишется в виде

$$d(V_j, V_k) = \sum_{(i,t)} \beta_{i,t}(V_j, V_k),$$

$$\beta_{i,t}(V_j, V_k) = \begin{cases} 2, & \text{если в ранжировках } V_j \text{ и } V_k \text{ пара } (i,t) \\ & \text{имеет противоположную ранжировку,} \\ & K_i K_t \text{ в другой ранжировке,} \\ 1, & \text{если пара } (i,t) \text{ в одной ранжировке} \\ & \text{связана строгим предпочтением,} \\ & \text{а в другой – безразличием,} \\ 0, & \text{если пара } (i,t) \text{ одинаково проранжирована} \\ & \text{в } V_j \text{ и в } V_k, \text{ либо } K_i K_t, \text{ либо } K_t K_i, \text{ либо } K_i \approx K_t. \end{cases}$$

В приведенном выше примере ранжировок V_1 и V_2 имеется $C_4^2 = 6$ возможных пар отношений показателей, отличающихся хотя бы одним элементом: $\{i = 1, i = 2\}$, $\{i = 1, i = 3\}$, $\{i = 1, i = 4\}$, $\{i = 2, i = 3\}$, $\{i = 2, i = 4\}$, $\{i = 3, i = 4\}$, если не принимать во внимание порядок следования номеров показателей.

Также имеем:

- $\beta_{1,2} = 1$, так как в ранжировке V_1 первый показатель строго предпочтительнее второго показателя, а в V_2 они безразличны;
- $\beta_{1,3} = 1$ по указанной выше причине;
- $\beta_{1,4} = 2$, так как в ранжировке V_1 первый показатель строго предпочтительнее четвертого показателя, а в V_2 наоборот.

Также аналогично устанавливаем: $\beta_{2,3} = 1$, $\beta_{2,4} = 2$, $\beta_{3,4} = 2$.

В результате получим $d(V_1, V_2) = 4 + 3 + 2 = 9$.

Наибольшее возможное значение функции $d(V_j, V_k) = 2C_m^2$ будет тогда, когда значения расстояния для любой пары номеров показателей ранжировки показателей в ранжировках V_j и V_k противоположны.

Тогда мера рассогласования интересов групп $h_{j,k}$ должна вычисляться как

$$h_{j,k} = \frac{1}{2C_m^2} d(V_j, V_k).$$

В нашем примере пар, различающихся хотя бы одним номером показателей, $C_4^2 = 6$. Тогда $h_{1,2} = \frac{1}{2 \cdot 6} 9 = 0,75$, т.е. имеет место согласие лишь четверть от общего числа пар. Такая характеристика говорит о низком уровне согласования ценностей показателей двумя группами.

Заключение

Предложенный комплекс методов обеспечивает максимальный учет мнений как населения, так и профессионального сообщества. Данный подход позволяет повысить качество планирования и прогнозирования в государственном управлении. Дальнейшие исследования могут быть посвящены разработке технологий взаимодействия с социальными структурами и использованию других методов определения меры согласования интересов различных групп, например на методах, основанных на аксиомах Эрроу.

Список литературы

1. **Орлов, А. О.** Автоматизация процессов повышения достоверности обработки информации и принятия решений в контуре систем диспетчерского управления : автореф. дис. ... канд. тех. наук / Орлов А. О. – М. : МАДИ, 2013. – 25 с.
2. **Хубаев, Г. Н.** Процедура выбора согласованного упорядочения вариантов дизайна объекта / Г. Н. Хубаев. – URL: http://gnh.rsue.ru/pdf/Choose_a_disign_object.pdf (дата обращения: 20.06.2015).
3. **Родина, О. В.** Пошаговое упорядочение множества показателей, составляющих совокупную стоимость владения информационной системой налогового учета / О. В. Родина. – URL: <http://www.uecs.ru/uecs-24-242010/item/257-2011-03-24-13-08-08> (дата обращения: 20.06.2015).
4. **Лавреш, И. И.** Самоорганизация объектов управления и меры согласования интересов субъекта и объекта управления / И. И. Лавреш // Автоматизация и современные технологии. – 2011. – № 3. – С. 36–41.
5. **Робертс, Ф. С.** Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам / Ф. С. Робертс. – М. : Наука, 1986. – 496 с.

References

1. Orlov A. O. *Avtomatizatsiya protsessov povysheniya dostovernosti obrabotki informatsii i prinyatiya resheniy v konture sistem dispetcherskogo upravleniya: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Automation of data processing and decision making reliability improvement in monitoring systems: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of engineering sciences]. Moscow: MADI, 2013, 25 p.
2. Khubaev G. N. *Protsedura vybora soglasovannogo uporyadocheniya variantov dizayna ob"ekta* [Choosing a coordinated sorting of object design variants]. Available at: http://gnh.rsue.ru/pdf/Choose_a_disign_object.pdf (accessed June 20, 2015).
3. Rodina O. V. *Poshagovoe uporyadochenie mnozhestva pokazateley, sostavlyayushchikh sovokupnuyu stoimost' vladeniya informatsionnoy sistemoy nalogovogo ucheta* [Step-by-step sorting of a set of indicators, making up an aggregate cost of owing a tax accounting data system]. Available at: <http://www.uecs.ru/uecs-24-242010/item/257-2011-03-24-13-08-08> (accessed June 20, 2015).
4. Lavresh I. I. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii* [Automation and modern technologies]. 2011, no. 3, pp. 36–41.
5. Roberts F. S. *Diskretnye matematicheskie modeli s prilozheniyami k sotsial'nyim, biologicheskim i ekologicheskim zadacham* [Discrete mathematical models with applications to social, biological and ecological problems]. Moscow: Nauka, 1986, 496 p.

Лавреш Иван Иванович

кандидат технических наук, доцент,
Сыктывкарский лесной институт
(филиал) Санкт-Петербургского
государственного лесотехнического
университета имени С. М. Кирова (СЛИ)
(Россия, Республика Коми,
г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39)

E-mail: ilavresh@mail.ru

Lavresh Ivan Ivanovich

Candidate of engineering sciences,
associate professor, Syktyvkar Forest
Institute (branch) of Saint-Petersburg
State Forest Technical University
named after S. M. Kirov (39 Lenina street,
Syktyvkar, Komi Republic, Russia)

Трифонов Александр Викторович

заведующий лабораторией,
Сыктывкарский лесной институт
(филиал) Санкт-Петербургского
государственного лесотехнического
университета имени С. М. Кирова (СЛИ)
(Россия, Республика Коми,
г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39)

E-mail: Alex.34nov@yandex.ru

Trifonov Aleksandr Viktorovich

Head of laboratory, Syktyvkar Forest
Institute (branch) of Saint-Petersburg
State Forest Technical University
named after S. M. Kirov (39 Lenina street,
Syktyvkar, Komi Republic, Russia)

УДК 353.2 +004.021

Лавреш, И. И.

Совершенствование технологии работы с внешними источниками информации из социальных структур в системах поддержки принятия решений / И. И. Лавреш, А. В. Трифонов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 4 (36). – С. 27–36.

Ю. В. Дубенко, Е. Е. Дышкант

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Аннотация.

Актуальность и цели. Объектом исследования являются электрические сети энергосистемы РФ. Предметом исследования является автоматизация процесса определения, прогнозирования и контроля потерь электроэнергии. Цель – разработка структурной схемы автоматизированной системы определения и прогнозирования потерь электроэнергии.

Материалы и методы. Важнейшим элементом автоматизированной системы является блок управления, выполненный в виде микроконтроллера, в функции которого входит анализ текущих показателей работы электросети, прогнозирование на их основе значений потерь электроэнергии на заданный период, выработка управляющих воздействий для электросетевого оборудования с целью корректировки показателей их работы, т.е. используется принцип «обратной связи». В качестве элементов системы предлагается использовать новейшие цифровые датчики и интеллектуальные электросетевые устройства, связанные с блоком управления беспроводной сетью посредством GSM-модемов.

Результаты. Разработана структурная схема автоматизированной системы определения и прогнозирования потерь электроэнергии, а также входящего в ее состав блока прогнозирования.

Выводы. Реализация и практическое применение предложенной автоматизированной системы определения и прогнозирования потерь электроэнергии будет способствовать снижению и стабилизации объема потерь электроэнергии, минимизации финансовых издержек электросетевых компаний.

Ключевые слова: потери электроэнергии, автоматизированная система, определение, прогнозирование, электросетевое устройство, датчик.

Yu. V. Dubenko, E. E. Dyshkant

AN AUTOMATED SYSTEM OF DETERMINATION AND PREDICTION OF ELECTRICITY LOSSES

Abstract.

Background. The object of the study is the electric power system network of the Russian Federation. The subject of the study is automation of determination, prediction and control of electricity losses. The goal of the research is to develop a block diagram of the automated system of determination and prediction of electricity losses.

Materials and methods. The most important element of the automated system is the control unit in the form of a microcontroller, the function of which is to analyze the power network current performance, to forecast electricity losses for a specified period on the basis of the performance values, to develop control actions for power grid equipment in order to adjust their performance. The authors suggest to use the latest digital sensors and intelligent power grid devices, connected to the wireless network control unit through the GSM-modem, as elements of the system.

Results. The researchers have developed a block diagram of the automated system of determination and prediction of electricity losses, as well as a block diagram of its constituent prediction block.

Conclusions. Implementation and practical application of the proposed automated system of determination and prediction of electricity losses will help reduce and stabilize the volume of electricity losses, minimize the financial costs of power supply companies.

Key words: power losses, automated system, definition, forecasting, power line device, sensor.

Введение

Наличие потерь электроэнергии – это явление, обусловленное физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии по линиям электропередачи, поэтому для электроэнергетики абсолютно обыденное. Но величина потерь электроэнергии не является постоянной и зависит от большого количества факторов, воздействуя на которые, можно способствовать ее снижению, так как уменьшение объема потерь электроэнергии будет способствовать снижению финансовых убытков электроэнергетической компании.

Как указывается в [1], значение объема потерь электроэнергии ПАО «Россети» колеблется вблизи отметки в 10 %. Это ниже, чем в 1990-е гг., но при этом выше, чем в 1980-е гг., когда объем потерь в сетях Министерства энергетики СССР достигал 9 % [1]. Цифра в 10 % является максимальной с точки зрения физики, нормальным считается уровень в 4–5 % [2]. При этом 10 % – это лишь средний объем потерь электроэнергии по стране, но при этом в отдельных дочерних и зависимых обществах в 2013 г. уровень потерь достигал 13–14 % («Кубаньэнерго» и «МРСК Северного Кавказа»), а то и 19 % («Янтарьэнерго»). Очевидно, что без перехода с экстенсивного пути развития на путь качественного совершенствования электроэнергетического комплекса дальнейшего прогресса в снижении потерь электроэнергии достичь не удастся.

Для решения проблемы потерь электроэнергии может быть полезна автоматизированная система определения и прогнозирования потерь электроэнергии.

1. Структура автоматизированной системы определения и прогнозирования потерь электроэнергии

Структура автоматизированной системы определения и прогнозирования потерь электроэнергии представлена на рис. 1, где приняты следующие условные обозначения:

1 – блок управления, представляющий микроконтроллер, включающий блок прогнозирования 2, постоянное запоминающее устройство 3, интеллектуальный блок принятия решений 5, блок анализа текущих показателей 6, SCADA-систему 7;

4 – автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора, представляющее персональный компьютер с монитором;

8 – приемопередающее устройство;

9 – беспроводная сеть;

10 – электрическая сеть;

11, 13, 19 – передающие устройства;

12, 14 – 1-й и *n*-й датчики, счетчики и измерительные устройства, в качестве которых должны выступать цифровые датчики тока, напряжения, тем-

пературы проводников, измерительные устройства реактивной мощности, счетчики электроэнергии, отпущенной с подстанций, счетчики электроэнергии, расположенные у потребителей, дополнительно обладающие функциями измерения напряжения и реактивной мощности;

15, 17 – приемные устройства;

16, 18 – интеллектуальные электросетевые устройства, обладающие функцией дистанционного управления путем обработки поступивших на них управляющих воздействий, в качестве которых могут выступать регуляторы напряжения, компенсаторы реактивной мощности, различные коммутационные аппараты, трансформаторы;

20 – датчик температуры окружающей среды;

21 – автоматизированная система управления (АСУ) электростанции.

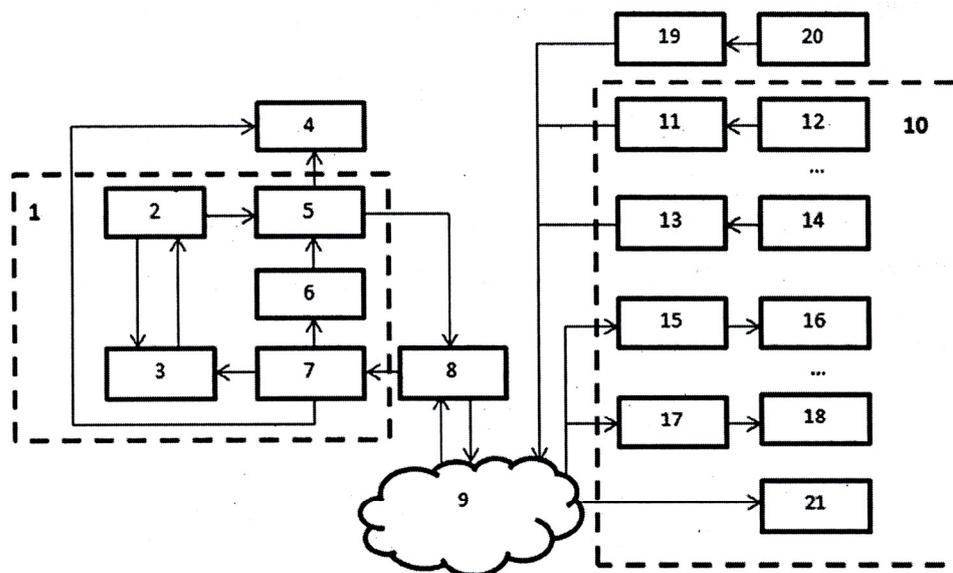


Рис. 1. Схема автоматизированной системы определения и прогнозирования потерь электроэнергии

Приемные, передающие, а также приемопередающие устройства представляют GSM-модемы.

Блок принятия решений, входящий в состав блока управления, обладает адаптивной функцией самообучения. При его проектировании использовались следующие технологии искусственного интеллекта: экспертные системы, нейронные сети, нечеткая логика и генетические алгоритмы.

Рассмотрим подробнее принцип функционирования разрабатываемой системы. Показатели датчиков, счетчиков и измерительных устройств 12, 14, располагающихся в электрической сети 10, датчика температуры 20 посредством передающих устройств через беспроводную сеть передаются на приемопередающее устройство 8 блока управления 1, с которого поступают на блок 7, представляющий SCADA-систему. С блока 7 данные записываются в постоянное запоминающее устройство 3, отправляются на АРМ оператора 4 и на блок анализа текущих показателей 6. Блок 6 в случае обнаружения отклонения показателей от определенных эталонных значений посылает соот-

ветствующий сигнал на блок принятия решений 5. Блок прогнозирования 2 запрашивает у постоянного запоминающего устройства 3 хранящиеся там показатели работы электрической сети, а также значения температуры окружающей среды, на основании которых производит прогнозирование потерь электроэнергии на заданный период времени для сети в целом и для каждого ее участка в отдельности. В случае если спрогнозированный результат превзошел заданное пороговое значение, с блока прогнозирования 2 подается сигнал на блок принятия решений 5. В блоке принятия решений на основании информации, поступившей с блоков 2 и 6, производится выработка управляющих воздействий для электросетевых устройств. Далее управляющие воздействия через приемопередающее устройство 8 отправляются на приемные устройства 15, 17, подключенные к интеллектуальным электросетевым устройствам 16, 18. В случае если принято решение о переводе неиспользуемых генераторов электростанций в режим синхронного компенсатора [3], соответствующая директива отправляется АСУ электростанции. Информация о сгенерированных управляющих воздействиях также с блока принятия решений 5 поступает на АРМ оператора 4.

Основным требованием к алгоритму прогнозирования, используемым в соответствующем блоке (рис. 1), является высокая точность результата, достичь которой можно путем применения наиболее эффективных алгоритмов прогнозирования (данный вопрос подробно рассмотрен в [2]), возможно, и нескольких одновременно. Одним из вариантов решения данной проблемы может являться применение модели многофакторного прогнозирования нечетких временных рядов потерь электроэнергии, описанной в [4].

2. Структура блока прогнозирования

Рассмотрим данную модель прогнозирования более подробно. Общая структура модели многофакторного прогнозирования нечетких временных рядов потерь электроэнергии приведена на рис. 2.

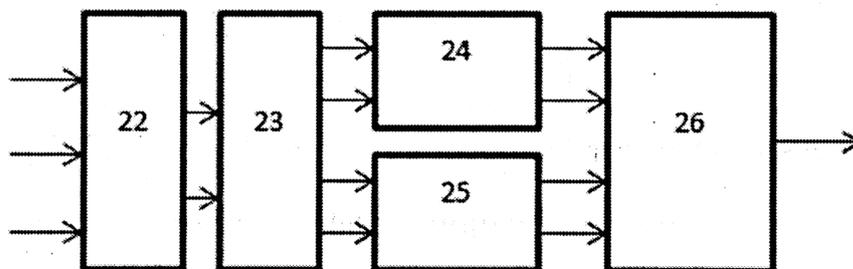


Рис. 2. Общая структура модели многофакторного прогнозирования нечетких временных рядов потерь электроэнергии

На рис. 2 приняты следующие условные обозначения:

22 – блок анализа факторов, где производится отбор вторичных факторов, от которых первичный фактор – потери электроэнергии – имеет стохастическую зависимость по величине коэффициента корреляции с первичным фактором. Количество вторичных факторов неограниченно, но для удобства на рис. 2 приводятся два, один из которых после прохождения блока анализа факторов отсеивается. В качестве вторичного фактора может выступать вели-

чина отпуска электроэнергии в сеть, температура окружающей среды и т.д. Подробно величины, оказывающие влияние на величину потерь электроэнергии, рассмотрены в [2].

23 – блок разложения временных рядов первичного и вторичных факторов на трендовые и сезонные составляющие;

24 – блок прогнозирования приведенной к нечеткому виду трендовой составляющей первичного фактора на основе временного ряда самого первичного фактора временных рядов вторичных факторов;

25 – блок прогнозирования приведенной к нечеткому виду сезонной составляющей первичного фактора на основе временного ряда самого первичного фактора и временных рядов вторичных факторов;

26 – блок определения конечного результата в действительном виде.

Структура блока прогнозирования приведенной к нечеткому виду трендовой составляющей первичного фактора на основе временного ряда самого первичного фактора временных рядов вторичных факторов (блок 24 на рис. 2) приводится на рис. 3.

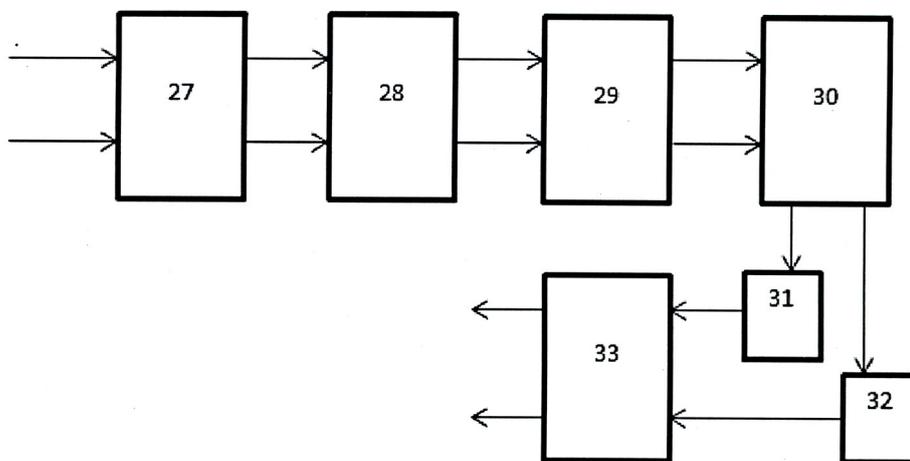


Рис. 3. Структура блока прогнозирования приведенной к нечеткому виду трендовой составляющей первичного фактора на основе временного ряда самого первичного фактора временных рядов вторичных факторов

На рис. 3 приняты следующие условные обозначения:

27 – блок вычисления приращений для каждого $(i + 1)$ -го элемента временных рядов, где $i = 1, 2, \dots, N$; N – количество элементов временного ряда;

28 – блок определения на временном ряду приращений трендовой составляющей универсального множества (для первичного и вторичного факторов по отдельности) вида

$$UM_{\text{тренд}} = [el_{\min} - d_1, el_{\max} + d_2], \quad (1)$$

где el_{\min} и el_{\max} – минимальный и максимальный элементы временного ряда приращений трендовой составляющей; d_1 и d_2 – неотрицательные целые числа;

29 – блок разбиения универсума $UM_{\text{тренд}}$ на n интервалов $um_{\text{тренд}1}, um_{\text{тренд}2}, \dots, um_{\text{тренд}n}$;

30 – блок частотной оптимизации границ интервалов [5] $um_{\text{тренд}1}, um_{\text{тренд}2}, \dots, um_{\text{тренд}n}$ универсальных множеств $UM_{\text{трендПФ}}$ и $UM_{\text{трендВФ1}}$;

31 – блок перевода в нечеткий вид элементов временного ряда приращений трендовой составляющей первичного фактора и формирования нечетких отношений по формулам:

$$F_{\text{тренд},1} = \frac{1}{um_{\text{тренд}1}} + \frac{0,5}{um_{\text{тренд}2}} + \frac{0}{um_{\text{тренд}3}} + \dots + \frac{0}{um_{\text{тренд}n}}; \quad (2)$$

$$F_{\text{тренд},2} = \frac{0,5}{um_{\text{тренд}1}} + \frac{1}{um_{\text{тренд}2}} + \frac{0,5}{um_{\text{тренд}3}} + \dots + \frac{0}{um_{\text{тренд}n}}; \quad (3)$$

...

$$F_{\text{тренд},M-1} = \frac{0}{um_{\text{тренд}1}} + \dots + \frac{0,5}{um_{\text{тренд}n-2}} + \frac{1}{um_{\text{тренд}n-1}} + \frac{0,5}{um_{\text{тренд}n}}; \quad (4)$$

$$F_{\text{тренд},M} = \frac{0}{um_{\text{тренд}1}} + \dots + \frac{0}{um_{\text{тренд}n-2}} + \frac{0,5}{um_{\text{тренд}n-1}} + \frac{1}{um_{\text{тренд}n}}, \quad (5)$$

$$F_{\text{трендПФ},i}(t) \rightarrow F_{\text{трендПФ},j}(t+1), \quad (6)$$

где $F_{\text{трендПФ},i}(t)$ – элемент временного ряда приращений трендовой составляющей первичного фактора под номером t ; $F_{\text{трендПФ},j}(t+1)$ – элемент временного ряда приращений трендовой составляющей первичного фактора под номером $t+1$; i и j – номера интервалов универсального множества $UM_{\text{трендПФ}}$, к которым отнесены данные элементы;

32 – блок перевода в нечеткий вид элементов временного ряда приращений трендовой составляющей вторичного фактора и формирования нечетких отношений по формулам (2)–(5) и следующей:

$$F_{\text{трендВФ1},i}(t) \rightarrow F_{\text{трендПФ},j}(t+1), \quad (7)$$

где $F_{\text{трендВФ1},i}(t)$ – элемент временного ряда приращений трендовой составляющей вторичного фактора под номером t ; $F_{\text{трендПФ},j}(t+1)$ – элемент временного ряда приращений трендовой составляющей первичного фактора под номером $t+1$; i и j – номера интервалов универсальных множеств $UM_{\text{трендПФ}}$, $UM_{\text{трендВФ1}}$, к которым отнесены данные элементы;

33 – блок получения результатов прогнозирования приращений трендовой составляющей первичного фактора на основе анализа временного ряда первичного фактора и результатов прогнозирования приращений трендовой составляющей первичного фактора на основе анализа временного ряда вторичного фактора. Результат определяется как совокупность нечетких мно-

жеств, расположенных в правой части нечетких отношений, соответствующих элементу временного ряда под номером t (последний элемент временного ряда).

Структура блока 25 (см. рис. 2) примерно соответствует структуре, приводимой на рис. 3, за исключением блока 27, а также с оптимизацией границ интервалов разбиения универсальных множеств с помощью алгоритмов GA (genetic algorithms), ACO (ant colony optimization), PSO (particle swarm optimization) (блок 30) [4].

На рис. 4 приводится структура блока определения конечного результата в действительном виде (блок 26, см. рис. 2).

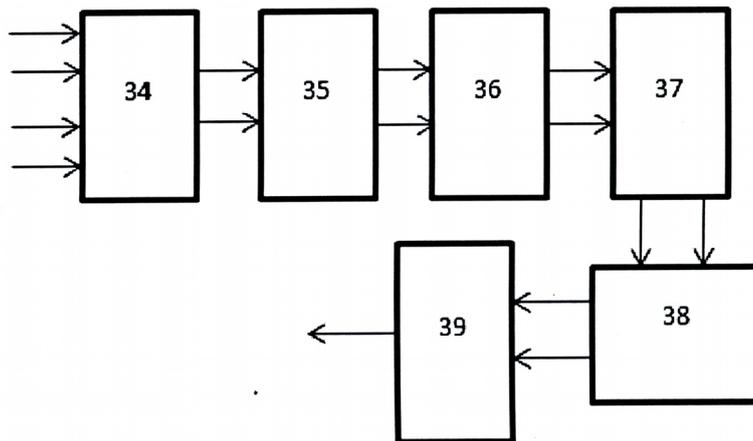


Рис. 4. Структура блока определения конечного результата в действительном виде

На рис. 4 приняты следующие условные обозначения:

34 – блок сбора данных, на который поступают множество вариантов результата прогнозирования приращения трендовой составляющей первичного фактора (на рис. 4 для удобства приведены два варианта), а также множество вариантов результата прогнозирования сезонной составляющей первичного фактора (приведены также два варианта);

35 – блок оценки элементов множеств;

36 – формирование новых множеств с учетом оценок их элементов (кластеризация);

37 – блок оптимизации значений функции принадлежности кластеров;

38 – блок оценки кластеров, в котором определяются кластеры приращения трендовой, а также сезонной составляющей первичного фактора с максимальной оценкой;

39 – блок получения конечного результата прогнозирования.

Заключение

Основными преимуществами предложенной автоматизированной системы определения и прогнозирования потерь электроэнергии являются:

– полная автоматизация процесса ее функционирования, оператор лишь выполняет надзорную функцию;

– использование новейших цифровых датчиков, счетчиков и измерительных устройств;

– наличие функции прогнозирования, позволяющей заблаговременно принять меры по недопущению достижения спрогнозированных значений потерь электроэнергии;

– наличие обратной связи между электрической сетью и системой: устройство не только получает показания датчиков, счетчиков и измерительных устройств, но также формирует и отправляет управляющие воздействия для электросетевых устройств;

– использование у потребителей счетчиков с передающими устройствами позволит минимизировать издержки, которые несет компания при потерях электроэнергии;

– возможность реализации системы как в масштабах города, так и отдельно взятого предприятия.

Реализация и практическое применение автоматизированной системы определения и прогнозирования потерь электроэнергии будет способствовать снижению и стабилизации объема потерь электроэнергии, минимизации финансовых издержек электросетевых компаний.

Список литературы

1. **Дубенко, Ю. В.** Анализ текущего состояния электроэнергетического комплекса в РФ / Ю. В. Дубенко, Е. Е. Дышкант, А. С. Ручкин // Научные труды КубГТУ. – 2015. – № 6, июнь. – URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/466> (дата обращения: 12.10.2015).
2. **Дубенко, Ю. В.** Прогнозирование потерь электроэнергии в энергосистеме России / Ю. В. Дубенко, О. А. Сумская, Е. Е. Дышкант, А. С. Ручкин // Научные труды КубГАУ. – 2015. – № 05 (109). – URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/64.pdf> (дата обращения: 15.10.2015).
3. **Железко, Ю. С.** Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. – М. : Энас, 2009. – 456 с.
4. **Дубенко, Ю. В.** Модель многофакторного прогнозирования нечетких временных рядов потерь электроэнергии / Ю. В. Дубенко, Е. Е. Дышкант, А. С. Ручкин // Научные труды КубГАУ. – 2015. – № 06 (110). – URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/06/pdf/06.pdf> (дата обращения: 15.10.2015).
5. **Chen, S. M.** A New Method to Forecast Enrollments Using Fuzzy Time Series / S. M. Chen, C. C. Hsu // International Journal of Applied Science and Engineering. – 2004. – Vol. 2, № 3. – С. 234–244.

References

1. Dubenko Yu. V., Dyshkant E. E., Ruchkin A. S. *Nauchnye trudy KubGTU* [Proceedings of KubSTU]. 2015, no. 6, june. Available at: <http://ntk.kubstu.ru/file/466> (accessed October 12, 2015).
2. Dubenko Yu. V., Sumsкая O. A., Dyshkant E. E., Ruchkin A. S. *Nauchnye trudy KubGAU* [Proceedings of KubSTU]. 2015, no. 05 (109). Available at: <http://ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/64.pdf> (accessed October 15, 2015).
3. Zhelezko Yu. S. *Poteri elektroenergii. Reaktivnaya moshchnost'. Kachestvo elektroenergii: Rukovodstvo dlya prakticheskikh raschetov* [Electric power losses. Reactive power. Electric power quality: guide for practical calculations]. Moscow: Enas, 2009, 456 p.
4. Dubenko Yu. V., Dyshkant E. E., Ruchkin A. S. *Nauchnye trudy KubGAU* [Proceedings of KubSTU]. 2015, no. 06 (110). Available at: <http://ej.kubagro.ru/2015/06/pdf/06.pdf> (accessed October 15, 2015).

5. Chen S. M., Hsu C. C. *International Journal of Applied Science and Engineering*. 2004, vol. 2, no. 3, pp. 234–244.
-

Дубенко Юрий Владимирович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра внутриводского
электрооборудования и автоматике,
Армавирский механико-технологический
институт (филиал) Кубанского
государственного технологического
университета (Россия, г. Армавир,
ул. Кирова, 127)

E-mail: scorpioncool1@yandex.ru

Dubenko Yuriy Vladimirovich

Candidate of engineering sciences, associate
professor, sub-department of in-plant
electrical equipment and automatic devices,
Armavir Mechanical and Technological
Institute (branch) of Kuban State
Technological University (127 Kirova
street, Armavir, Russia)

Дышкант Евгений Евгеньевич

аспирант, Армавирский механико-
технологический институт (филиал)
Кубанского государственного
технологического университета
(Россия, г. Армавир, ул. Кирова, 127)

E-mail: ed0802@yandex.ru

Dyshkant Evgeniy Evgen'evich

Postgraduate student, Armavir Mechanical
and Technological Institute (branch)
of Kuban State Technological University
(127 Kirova street, Armavir, Russia)

УДК 004.021

Дубенко, Ю. В.

Автоматизированная система определения и прогнозирования потерь электроэнергии / Ю. В. Дубенко, Е. Е. Дышкант // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 4 (36). – С. 37–45.

МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СРЕДСТВАХ ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ (Часть 1. Варианты структур адаптивного средства обнаружения)

Аннотация.

Актуальность и цели. Объектом исследования являются адаптивные средства обнаружения движущихся наземных объектов. Предметом исследования являются методы построения адаптивных алгоритмов обработки информации. Цель – разработка методов, составляющих основу методологии построения адаптивных средств обнаружения движущихся наземных объектов.

Материалы и методы. Исследования выполнены с использованием методов распознавания образов и математической статистики.

Результаты. На основе экспериментальных данных показано влияние помеховых факторов на изменение признаков описаний классов. Предложены варианты структуры построения адаптивных средств обнаружения.

Выводы. Предложенные подходы составляют основу методологии построения адаптивных средств обнаружения движущихся наземных объектов и могут быть использованы при разработке новых и модернизации существующих средств обнаружения для повышения их эффективности при работе в условиях воздействия изменяющихся внешних факторов.

Ключевые слова: средства обнаружения, решающие правила, предсказание.

М. А. Mitrokhin

METHODOLOGY OF BUILDING ADAPTIVE ALGORITHMS OF INFORMATION PROCESSING FOR MOVING GROUND OBJECT SENSORS (Part 1. Structure variants of adaptive sensors)

Abstract.

Background. The research object is moving ground object adaptive sensors. The research subject is methods of building adaptive algorithms of information processing. The aim of the work is develop methods, forming a foundation of the methodology of building moving ground object adaptive sensors.

Materials and methods. The research was carried out using methods of image recognition and mathematical statistics.

Results. On the basis of experimental data the author has shown the influence of interference on changes of class tags. The article suggests structure variants of adaptive sensors.

Conclusions. The suggested approaches form the foundation of the methodology of building moving ground object adaptive sensors and may be used in development of new sensors and modernization of the existing ones for efficiency improvement, when operating under the influence of changing external factors.

Key words: detection unit, decision rule, prediction.

Введение

Средства обнаружения (СО), входящие в состав охранных систем, являются важнейшей их частью. Особенность работы таких систем – автоном-

ность и длительный период функционирования (от месяца до нескольких лет). Основным назначением СО [1] является определение факта несанкционированного вторжения в охраняемую зону человека, группы людей или транспортного средства. Задача обнаружения чаще всего ставится как задача двухклассовой классификации с классами «помехи» и «объекты обнаружения». Существует два типа СО – активные и пассивные. Активные генерируют поля различной физической природы в пределах зоны обнаружения и регистрируют изменение параметров полей под воздействием объекта обнаружения. Пассивные СО регистрируют параметры окружающей среды и обнаруживают нарушителя по изменению этих параметров. Для этого СО непрерывно анализирует информацию, поступающую с чувствительных элементов, выделяя информативные параметры, называемые признаками, по значениям которых принимается решение об обнаружении объекта. Основным достоинством пассивных СО перед активными является скрытность их функционирования [2], а существенным недостатком – невысокая помехоустойчивость. Каждое из оцениваемых значений информативного параметра включает информативную и шумовую составляющие, причем шумовая составляющая может быть сравнима по мощности с информативной. В отличие от активных СО, в пассивных отсутствует возможность увеличивать мощность информативной составляющей. Шумы являются суммой воздействующих помеховых факторов, в числе которых наиболее существенное влияние оказывают метеорологические явления (ветер, осадки, грозы и т.д.) [3]. Если рассматривать значения признаков как случайные величины, то распределения, построенные для одного признака, при различных воздействующих факторах могут существенно отличаться. Кроме того, характеристики некоторых из воздействующих помех могут существенно изменяться с течением времени, особенно на длительных интервалах времени, что приводит к «размыванию» классов в пространстве признаков и, как следствие, к изменению зоны чувствительности пассивных СО и появлению ложных срабатываний.

1. Влияние внешних факторов на вариацию информативных параметров

Рассмотрим на примере задачи обнаружения движущегося нарушителя (человека и группы людей) по сейсмическому сигналу, как влияют внешние факторы на вариацию информативных параметров.

В качестве информативных параметров сейсмических сигналов для решения задачи обнаружения могут быть выбраны логарифм амплитуды огибающей сигнала и количество локальных экстремумов в окне сигнала конечной длительности, отнесенное к длине окна. Амплитуда огибающей является энергетической характеристикой сигнала, а количество экстремумов характеризует частотный состав сигнала.

Экспериментальные данные получены на лугу за пределами города (в 9 км от г. Пензы). Место установки записывающего оборудования располагается на расстоянии 2,3 и 2,9 км от федеральных автомобильных трасс Р-209 и Р-158 соответственно. Запись производилась сейсмическими датчиками геофонного типа. Записи сигналов человека и группы людей производились при проходах на расстояниях 1–150 м от места установки датчиков; способы

передвижения – медленная и быстрая ходьба, бег. Запись сигналов помех производилась в течение двух недель. За период записи сигналов помех средняя скорость ветра не превышала 4 м/с, наблюдались осадки в виде дождя различной интенсивности.

Выборочные плотности распределения логарифма амплитуды огибающей сигналов помех и объектов показаны на рис. 1,а, количества экстремумов – на рис. 1,б.

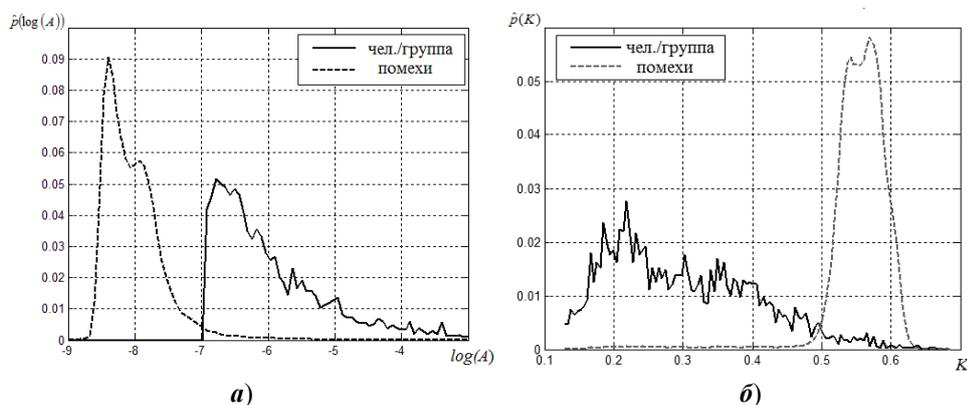


Рис. 1. Выборочные плотности распределения логарифма амплитуды огибающей сигналов (а) и количества экстремумов (б), вычисленные по сигналам объектов и помех

Из рис. 1 видно, что распределения признаков значительно пересекаются, что приводит при применении алгоритмов распознавания образов в задаче классификации к высокому значению суммарной вероятности ошибки принятия решения, определяемой как сумма вероятностей пропуска цели и ложного срабатывания $P_{\text{ош}} = P_{\text{лс}} + P_{\text{шл}}$.

Признаки класса «помехи» вычислялись по сигналам, полученным при воздействии различных помеховых факторов (сейсмический фон, ветер, дождь), каждый из которых вносит вклад в изменение распределения класса. Изменение признаков описаний классов при воздействии внешних факторов будем называть смещением концепта.

Если рассматривать распределения помеховых факторов по отдельности (рис. 2), то можно заметить, что при решении задачи классификации по отдельным составляющим класса «помехи» может быть получено меньшее значение суммарной вероятности ошибки принятия решения.

Анализ изменения признаков во времени показывает, что факторы, вносящие наибольший вклад в суммарную вероятность ошибки классификации, действуют значительно более короткое время. Так, например за 330 ч записи помеховых сигналов ветер со скоростью более 2 м/с воздействовал в течение менее 40 ч, осадки в виде дождя наблюдались в течение менее 30 ч. Следовательно, суммарную вероятность ошибки принятия решения в отдельные моменты времени можно значительно уменьшить, если правило принятия решения формировать на основе текущей информации, а не «средней», имеющейся на этапе разработки алгоритма.

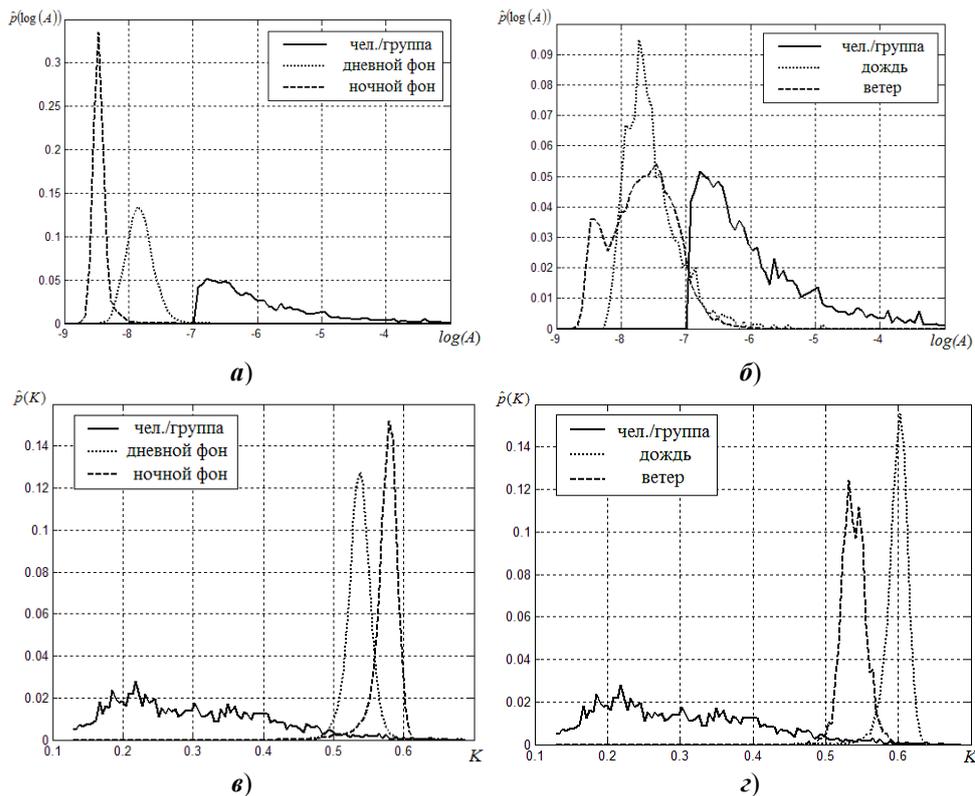


Рис. 2. Выборочные плотности распределения логарифма амплитуды огибающей сигналов (а, б) и количества экстремумов (в, г), вычисленные по сигналам при воздействии различных факторов класса «помехи» и объектов

Таким образом, при наличии смещения концепта возникает задача адаптации алгоритма принятия решения, заложенного в СО к текущим условиям функционирования. Методология построения адаптивных СО в настоящее время отсутствует.

Цель методологии построения адаптивных СО можно сформулировать следующим образом: организация процесса создания СО и обеспечение управления этим процессом для того, чтобы обеспечить оптимальные значения тактико-технических характеристик СО, функционирующего в изменяющихся условиях в том числе при воздействии помеховых факторов. Оптимальное значение при этом может доставляться одному из показателей эффективности СО – вероятности обнаружения, ложных срабатываний, размерам зоны обнаружения и т.д., а созданное в рамках методологии СО должно обеспечивать экстремальное значение выбранного критерия в текущих условиях функционирования.

Основные задачи, решение которых должна обеспечивать методология создания адаптивных СО:

- создание СО, отвечающих поставленным целям и задачам;
- гарантия создания СО, функционирующего в течение заданного времени с параметрами, обеспечивающими оптимальные по какому-либо критерию значения тактико-технических характеристик;

– обеспечение возможности использования создаваемого СО в составе существующих систем. Так как СО должны функционировать автономно без непосредственного вмешательства оператора, то не могут быть использованы методы переобучения с учителем.

Средства обнаружения объектов при функционировании регистрируют параметры окружающей среды, изменяющиеся под воздействием объектов обнаружения и внешних факторов с течением времени, поэтому признаки описания классов «помехи» и «объекты» представляют собой совокупность траекторий (взаимосвязанных точек). В общем случае методология построения адаптивного СО при использовании в нем в качестве элемента, принимающего решения, алгоритмов распознавания образов, может включать несколько подходов.

Первый подход основан на предобработке траекторий динамических описаний объектов для вычисления «статических» признаков описаний классов и использовании стандартных методов теории распознавания образов.

Второй подход предполагает разработку новых или модификацию существующих алгоритмов теории распознавания образов, способных менять свои параметры или структуру для учета динамики функционирования СО.

2. Структура адаптивных средств обнаружения движущихся наземных объектов

Типовая схема средств обнаружения движущихся объектов (рис. 3) содержит элементы, структура и параметры которых определяются на этапе разработки. Параметры таких элементов корректируются под конкретные условия в момент установки СО и остаются неизменными в течение всего периода функционирования. Будем называть такие элементы статическими.

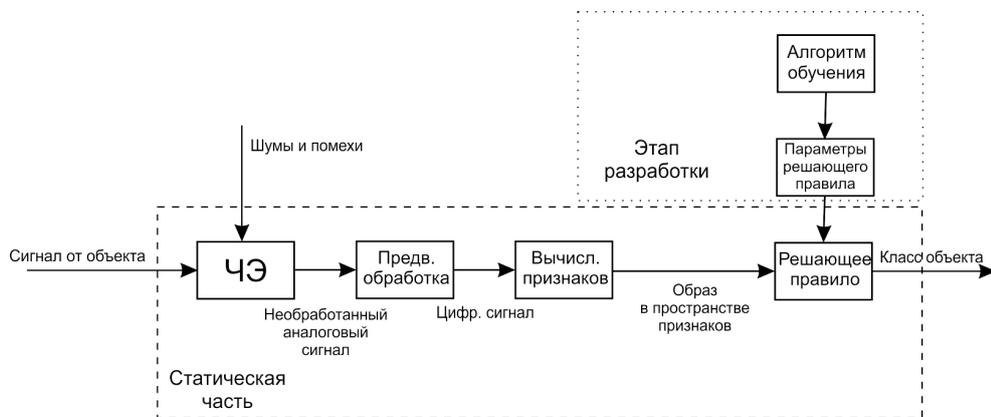


Рис. 3. Типовая структурная схема средств обнаружения движущихся наземных объектов

Изменяющиеся условия функционирования и воздействующие помехи приводят к неоптимальному функционированию СО в некоторые моменты времени, так как на этапе разработки параметры и структура элементов СО определялись исходя из минимизации средней по имеющейся информации ошибки принятия решения. Поступающая при функционировании информация должна быть использована для изменения параметров элементов СО для

минимизации текущей ошибки принятия решения, т.е. в структуре СО должны выделяться динамические элементы. Кроме того, необходимы методы, позволяющие определять значимость поступающей информации и необходимость ее использования для изменения параметров элементов СО.

Таким образом, в структурной схеме адаптивного СО можно выделить статическую и динамическую части. При этом возможны два варианта реализации структурной схемы.

Первый вариант (рис. 4) предполагает использование подхода, основанного на приведении изменяющихся под воздействием внешних условий признаков описаний классов к статическому виду, т.е. устранению смещения концепта на этапе вычисления признаков. Так как признаки представляют собой изменяющиеся во времени последовательности значений, являющиеся суммой полезного сигнала и сигнала, вызванного воздействием помеховых факторов, то данный вариант адаптивного СО предусматривает «очищение» признаков от составляющих, являющихся результатом действия помеховых факторов и применение стандартных методов теории распознавания образов к полученным статическим описаниям классов.

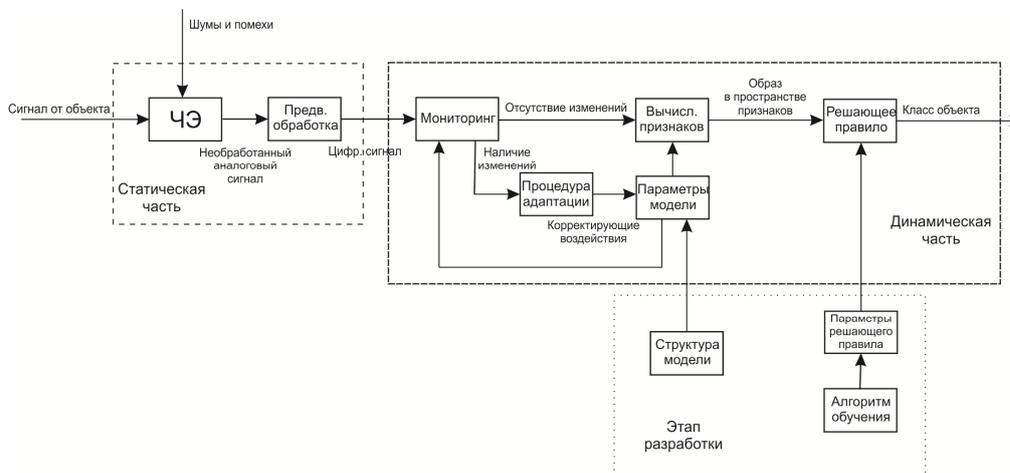


Рис. 4. Обобщенная структурная схема адаптивного СО, основанного на предобработке траекторий динамических описаний объектов

Процедура вычисления статических признаков может осуществляться с использованием модели изменения признака при воздействии помех. Структура такой модели должна определяться на этапе проектирования СО на основе априорной информации или теоретических предпосылок, а ее параметры могут корректироваться в процессе функционирования. Так, например, если признак подвержен воздействию периодической помехи, то модель должна содержать периодическую компоненту, период которой будет уточняться по текущим данным, полученным на этапе функционирования СО. Процедура адаптации заключается в корректировке параметров модели. Для определения несоответствия параметров модели текущей информации в структуре СО выделяется элемент, реализующий процедуру мониторинга.

Таким образом, для реализации данного варианта структуры адаптивного СО необходимо определить критерии несоответствия модели текущей

информации, методы определения структуры модели и корректировки ее параметров.

Второй вариант реализации структуры адаптивного СО (рис. 5) основан на использовании адаптивных решающих правил, подстраиваемых под условия функционирования.

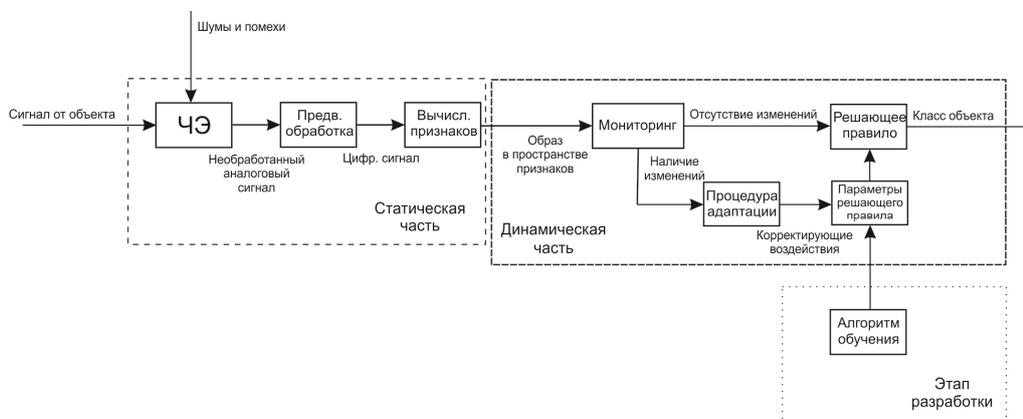


Рис. 5. Обобщенная структурная схема адаптивного СО, основанного на адаптивном правиле принятия решений

В данном варианте структуры адаптивного СО устанавливается факт изменения признакового описания классов (т.е. смещения концепта) и процедура адаптации подстраивает параметры решающего правила под текущий концепт. Процедура мониторинга должна содержать индикаторы смещения концепта и критерии отнесения его к одному из видов (скачкообразный, эволюционный, циклический или виртуальный). Адаптация в данном случае заключается в изменении параметров решающего правила в соответствии со специально разработанными методами.

Заключение

В первой части статьи проведен анализ влияния внешних факторов на вариацию информативных параметров и показатель эффективности решения задачи классификации. В результате анализа установлено, что внешние факторы вызывают смещения концепта, что приводит к неоптимальному решению задачи классификации. Предложены два подхода к построению адаптивных СО движущихся наземных объектов, функционирующих в изменяющихся условиях и структурные схемы для их реализации.

Список литературы

1. Магауенов, Р. Г. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения : учеб. пособие / Р. Г. Магауенов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 367 с.
2. Звездинский, С. С. Проблема выбора периметровых средств обнаружения / С. С. Звездинский // Безопасность Деловой Информации. – 2002. – № 4 (44). – С. 36–41.
3. Двойрис, Л. И. Результаты полигонных испытаний по исследованию устойчивости современных средств обнаружения к воздействию метеорологических по-

мех / Л. И. Двойрис, Д. В. Луценко, Р. А. Михайлов, В. С. Завьялов // Радиотехника. – 2013. – № 2. – С. 95–97.

References

1. Magauev R. G. *Sistemy okhrannoy signalizatsii: osnovy teorii i printsipy postroeniya: ucheb. posobie* [Intrusion protection systems: theoretical bases and construction principles: tutorial]. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2007, 367 p.
2. Zvezhinskiy S. S. *Bezopasnost' Delovoy Informatsii* [Business information safety]. 2002, no. 4 (44), pp. 36–41.
3. Dvoyris L. I., Lutsenko D. V., Mikhaylov R. A., Zav'yalov V. S. *Radiotekhnika* [Radio engineering]. 2013, no. 2, pp. 95–97.

Митрохин Максим Александрович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра автономных информационных
и управляющих систем, Пензенский
государственный университет (Россия,
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: aius@pnzgu.ru

Mitrohin Maksim Aleksandrovich

Candidate of engineering sciences, associate
professor, sub-department autonomous
information and control systems,
Penza State University (40 Krasnaya
street, Penza, Russia)

УДК 004.93::004.942

Митрохин, М. А.

Методология построения адаптивных алгоритмов обработки информации в средствах обнаружения движущихся наземных объектов (Часть 1. Варианты структур адаптивного средства обнаружения) / М. А. Митрохин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 4 (36). – С. 46–53.

ОРГАНИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МНОГОАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ИЗ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Аннотация.

Актуальность и цели. Объектом исследования являются распределенные базы данных систем автоматизированного проектирования, имеющих различную структуру данных. Предметом исследования является процесс извлечения знаний из таких баз данных. Цель – разработка архитектуры подсистемы извлечения знаний из распределенных гетерогенных баз данных.

Материалы и методы. Распределенность источников данных, гетерогенность представленных в них данных и вычислительная сложность анализа данных большого объема обуславливают применение агентно-ориентированного подхода к достижению поставленной цели.

Результаты. Разработана организационная модель многоагентной системы извлечения знаний из распределенных гетерогенных баз данных. Описаны основные модели ролей агентов и их взаимодействие между собой.

Выводы. Основная часть архитектуры подсистемы извлечения знаний из распределенных гетерогенных источников определяется подсистемой подготовки набора данных и подсистемой интеллектуального анализа данных. Основные проблемы при разработке подсистем такого класса обусловлены различной структурой данных, представленных в локальных источниках, а также различной точностью, надежностью и полнотой данных.

Ключевые слова: база данных, интеллектуальный анализ данных, САПР, многоагентная система, извлечение знаний, слияние данных.

I. B. Bondarenko, A. I. Ivanov

AN ORGANIZATIONAL MODEL OF A MULTI-AGENT KNOWLEDGE DISCOVERY SYSTEM FROM DISTRIBUTED HETEROGENEOUS CAD-DATABASES

Abstract.

Background. The research deals with distributed databases of computer-aided design systems with different data structures. The subject of the research is a process of knowledge discovery from these databases. The purpose of the study is to develop a subsystem's structure of knowledge discovery from distributed heterogeneous databases.

Materials and methods. The state of distribution of data sources, the heterogeneity of data within them and the computational complexity of the analysis of large data stipulate implementation of the agent-based approach to achieving this goal.

Results. The organizational model of a multi-agent system of knowledge discovering from distributed heterogeneous databases is developed. The basic roles of agents and their interactions with each other are described.

Conclusions. The main part of the architecture of a subsystem of knowledge discovering from distributed heterogeneous sources is determined by two subsystems: a dataset preparing subsystem and a data mining subsystem. The main problems in

development of this sub-class are due to different structures of data presented in local sources, as well as different accuracy, reliability and completeness of data.

Key words: data base, data mining, CAD, multi-agent systems, knowledge discovery, data fusion.

Введение

Широкое распространение автоматизированных информационных систем в различных сферах человеческой деятельности порождает огромное количество данных [1]. При проектировании сложных объектов в базах данных (БД) систем автоматизированного проектирования (САПР) накапливается большое количество данных, которые после определенного анализа могут быть полезны в будущем при эксплуатации изделия или проектировании усовершенствованных аналогов. Под анализом в данной статье понимается извлечение знаний из данных – итерационный процесс извлечения ранее неизвестных, практически полезных и доступных интерпретаций знаний из наборов данных, ядром которого являются методы интеллектуального анализа данных (ИАД) [1–3]. В качестве знаний могут выступать: кластеры, ассоциативные правила, продукционные правила, математические модели, графы решений, нейронные сети и др.

В условиях современного производства на этапе проектирования сложного изделия может быть задействовано несколько территориально отдаленных друг от друга организаций, использующих специализированные САПР для решения некоторой части общей задачи. Данные в таком случае хранятся в различных распределенных структурированных (базы данных, хранилища данных и др.) и неструктурированных (Интернет, текстовые файлы и др.) источниках. Извлечение знаний из подобных источников является сложной задачей ввиду [4]:

- различной структуры данных в локальных источниках;
- неполноты, противоречивости и других ошибок в данных;
- различной физической природы данных, различной точности и надежности;
- больших объемов и размерности данных;
- сложности извлечения знаний из неструктурированных источников.

К настоящему времени известны три подхода к извлечению знаний из распределенных источников [5]. В одном из них в процесс ИАД вовлекаются все данные из локальных источников, объединенные в единый набор данных. В другом подходе алгоритмы ИАД применяются независимо к локальным наборам данных с последующим объединением частных результатов. Третий подход, который является объединением первых двух, можно разделить на четыре этапа:

- 1) объединение локальных наборов данных в единый набор данных;
- 2) поиск и устранение ошибок в наборе данных;
- 3) распараллеливание вычислений по задачам или данным;
- 4) объединение частных результатов.

В данной работе рассматривается третий из названных подходов, поскольку он позволяет получить более качественные результаты за приемлемое время за счет распределения вычислений и более объемной обучающей выборки, очищенной от найденных ошибок.

Распределенность источников данных и распределенность вычислений при ИАД обуславливают выбор многоагентного подхода [6–8] к извлечению знаний, в котором каждый отдельный агент имеет частичное представление о задаче и способен решить некоторую ее часть. При этом агенты, взаимодействуя между собой, способны решать сложную задачу.

Согласно методологии Gaia [9] разработка прикладных многоагентных систем (МАС) состоит из двух этапов: этап анализа предметной области и этап проектирования прикладной системы. При этом целью этапа анализа является достижение понимания системы и ее структуры без описания каких-либо деталей разработки, а целью этапа проектирования – трансформация абстрактных решений и понятий, описанных на этапе анализа, в модели более низкого уровня абстракции, которые затрагивают уже описание деталей разработки.

Целью данной статьи является первый этап разработки МАС – анализ предметной области, на котором решается задача построения организационной модели МАС, состоящая из описания моделей ролей агентов и описания их взаимодействия.

1. Анализ предметной области

Процесс извлечения знаний из БД согласно методологии, предложенной Григорием Пятецким – Шапиро и Усама Файадом [10], можно разделить на четыре этапа:

- постановка задачи извлечения знаний;
- подготовка набора данных для анализа;
- ИАД;
- сохранение, применение и визуализация извлеченных знаний.

На этапе постановки задачи определяются цель извлечения знаний, источники данных для извлечения знаний, вид требуемых знаний и требования к их качеству.

На следующем этапе решается задача подготовки качественного набора данных для анализа, которая заключается в сборе данных из различных источников, их объединения и обогащения. Основная проблема на данном этапе обоснована гетерогенностью источников данных, которая заключается в необходимости обеспечения глобальной однозначности семантики терминов, используемых при спецификации данных локальных источников [4].

Следствием того, что набор данных для анализа формируется путем объединения данных из нескольких источников, является наличие в нем большого количества ошибок, которые могут повлиять на производительность алгоритмов анализа и качество извлеченных знаний. Для получения адекватных знаний из имеющихся данных применяются методы по их первичной обработке. Они включают в себя две стадии: обнаружение и устранение ошибок. На первом шаге данные исследуются на предмет «загрязненности», устанавливается, есть ли в них ошибки и к какому виду они относятся. В зависимости от обнаруженных недостатков на следующем шаге применяются различные алгоритмы очистки, объединения дубликатов, устранения противоречий, заполнения пропущенных значений и др.

После первичной обработки набора данных производится выбор задачи ИАД. Выделяют две главные задачи ИАД: прогнозирование (классификация,

регрессия) и описание (кластеризация, визуализация и поиск ассоциативных правил). Для сравнения работы алгоритмов и выбора оптимального результата, в зависимости от задачи анализа, выбирается один или несколько алгоритмов ИАД.

Каждый алгоритм ИАД имеет свои особенности применения, зависящие от имеющихся исходных данных, вычислительных ресурсов, а также от требуемого вида и качества получаемых закономерностей. В целях преобразования набора данных к определенному представлению, формату или виду, оптимальному с точки зрения применяемого алгоритма, производится вторичная обработка данных, к которой относятся процессы:

- поиска аномальных значений;
- кодирования и нормализации;
- выбора наиболее весомых (значимых) атрибутов;
- понижения размерности пространства атрибутов;
- группировки, фильтрации и агрегирования;
- подготовки обучающей и тестовой выборки для решения задачи прогнозирования.

На выходе процесса подготовки набора данных образуется набор данных, приведенный к формату, оптимальному с точки зрения решаемой задачи, очищенный от найденных ошибок и пригодный для применения выбранных алгоритмов ИАД.

На этапе ИАД выбранные алгоритмы могут применяться несколько раз с различными параметрами до тех пор, пока не будет достигнут желаемый результат. Для определения качества примененного алгоритма ИАД на исходном наборе данных производится оценка и интерпретация полученных зависимостей с учетом поставленных на первом этапе целей. На данном этапе выполняется проверка извлеченных знаний на их адекватность и значимость – не являются ли полученные знания случайными для использованного набора данных и нехарактерными для данной предметной области в целом. Для получения независимой оценки адекватности модели выполняется тестирование на новых данных, не участвующих при ее построении, при этом данные, применяемые для тестирования, должны соответствовать сигнатуре модели.

Заключительным этапом является применение и визуализация извлеченных знаний, на котором полученные знания применяются для решения новых задач путем подачи на вход модели некоторых исходных данных и получения приемлемого результата на выходе. При применении модели пользователь должен иметь возможность уточнить, какая информация ему нужна при применении модели. Это позволит оптимизировать применение модели к новым данным.

2. Описание моделей ролей и их взаимодействия

Многоагентная архитектура системы извлечения знаний из распределенных гетерогенных баз данных САПР состоит из: компонент, которые отвечают за отдельные этапы извлечения знаний, рассмотренные в разд. 1, и компонент, отвечающих за координацию работы всей системы (рис. 1).

На первом этапе подготовки набора данных для анализа – постановки цели извлечения знаний – МАС состоит из двух координирующих агентов (рис. 2) – пользователя и интерфейсного агента.



Рис. 1. Организационная структура MAC извлечения знаний из БД

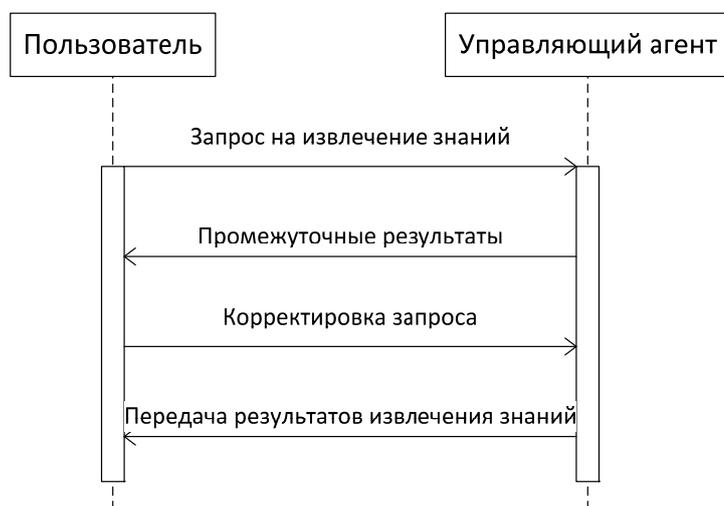


Рис. 2. Взаимодействие пользователя и управляющего агента

Пользователь – эксперт в предметной области – формирует цель извлечения знаний, передает запрос интерфейсному агенту на извлечение знаний и анализирует промежуточные результаты работы отдельных этапов извлечения знаний.

Интерфейсный агент (управляющий агент) – интеллектуальный агент, в задачи которого входит получение запросов от пользователя, управление процессом извлечения знаний и предоставление пользователю промежуточных результатов работы MAC.

2.1. MAC сбора, объединения и обогащения данных

На этапе сбора, объединения и обогащения данных MAC состоит из (рис. 3):

– *агента онтологий* – ответственен за анализ и сопоставление структур данных локальных источников с терминами онтологии предметной области;

– *агентов управления БД* – обладает информацией о структуре данных локального источника и исполняет роль шлюза, через который предоставляется доступ к данным локального источника;

– *агентов поиска* – ответственны за последовательный (один агент) или параллельный (несколько агентов) поиск данных в локальных источниках. Достоинством параллельного поиска данных является высокая производительность, так как поиск осуществляется одновременно во всех базах данных несколькими агентами. К недостатку параллельного извлечения данных можно отнести высокую нагрузку на сеть в момент передачи набора данных от поискового агента управляющему агенту;

– *агента объединения данных* – ответственен за объединение нескольких наборов данных в один.

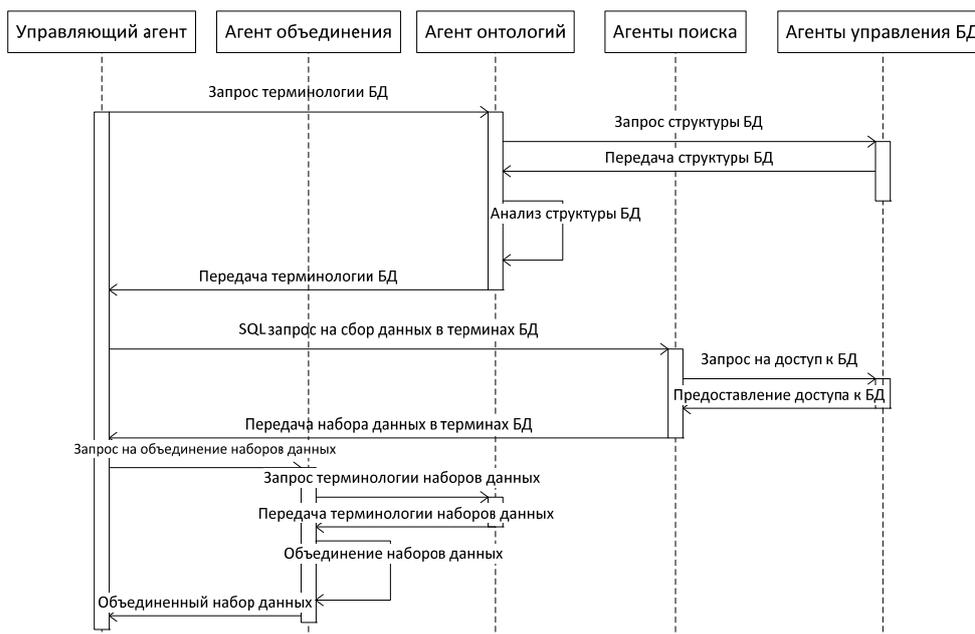


Рис. 3. МАС сбора и объединения данных для анализа

Задача внешнего обогащения набора данных может решаться МАС сбора и объединения данных с отличными от первоначальных критериями поиска и/или источниками данных.

2.2. МАС первичной обработки набора данных

На этапе первичной обработки набора данных МАС (рис. 4) состоит из:

– *агентов поиска ошибок* – ответственны за последовательный (один агент) или параллельный (несколько агентов) поиск выбранных ошибок в наборе данных;

– *агентов устранения ошибок* – ответственны за последовательное (один агент) или параллельное (несколько агентов) устранение выбранных ошибок;

– агента объединения результатов – ответственен (при параллельном устранении ошибок) за объединение частных результатов устранения ошибок в единый набор данных.

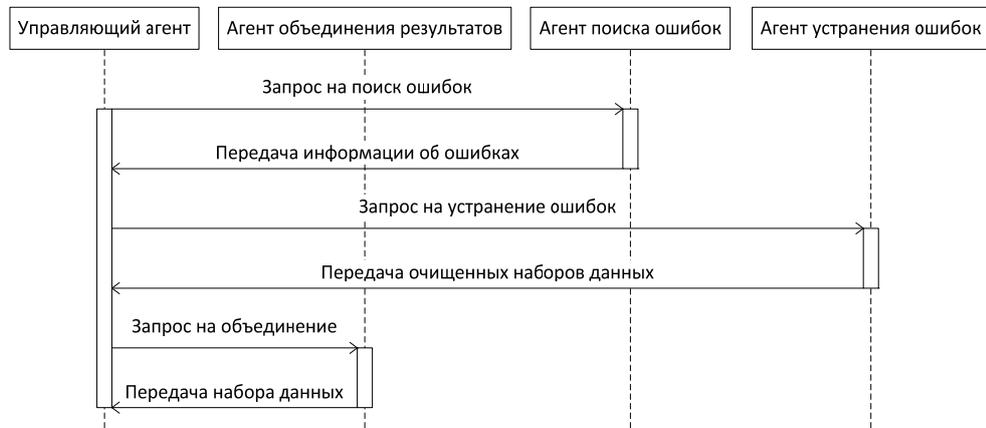


Рис. 4. MAC первичной обработки набора данных

Стоит отметить, что на выходе качество набора данных может отличаться в зависимости от последовательности, в которой производится устранение каждого из видов ошибки. Для повышения качества набора данных следует провести первичную обработку с различной последовательностью устранения ошибок с целью определения оптимальной последовательности для конкретного набора данных. Критерием оценки качества в данном случае может выступать экспертная оценка качества наборов данных.

2.3. MAC вторичной обработки набора данных

На этапе вторичной обработки набора данных (рис. 5) управляющий агент передает агенту вторичной обработки запрос на обработку набора данных. Количество агентов вторичной обработки определяется количеством алгоритмов, выбранных пользователем для анализа.



Рис. 5. MAC вторичной обработки набора данных

Агенты вторичной обработки данных получают информацию от управляющего агента о том, в каком виде должен быть представлен набор данных,

производят с ним соответствующие изменения и передают обратно для дальнейшего анализа.

2.4. МАС интеллектуального анализа данных

На этапе интеллектуального анализа данных (рис. 6) МАС состоит из:

- *агентов ИАД* – ответственны за последовательный (один агент) или параллельный (несколько агентов) анализ набора данных (в соответствии с параметрами одного или нескольких выбранных алгоритмов), декомпозицию вычислений и объединение результатов распределенных вычислений;
- *вычислительных агентов* – предоставляют агенту ИАД свои вычислительные ресурсы;
- *агента сравнения результатов анализа* – ответственен за сравнение результатов анализа по выбранному критерию;
- *агента управления базой знаний* – предоставляет доступ управляющему агенту к базе знаний для сохранения извлеченных знаний.

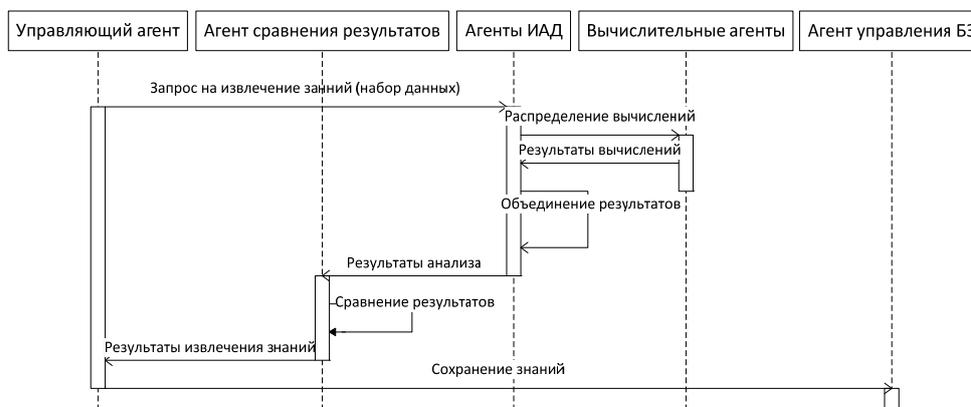


Рис. 6. МАС ИАД

Заключение

По существу основная часть архитектуры подсистемы извлечения знаний из распределенных источников определяется подсистемой подготовки набора данных и подсистемой ИАД. Основные проблемы при проектировании подсистем такого класса обусловлены распределенностью источников данных, гетерогенностью данных, представленных в источниках, и вычислительной сложностью анализа больших объемов данных. Для разработки системы, решающей проблемы подобного класса, в данной работе предлагается использовать агентно-ориентированный подход. В работе произведен первый этап согласно методологии Gaia разработки многоагентной системы – анализ предметной области, который заключается в построении организационной модели, определении ролей агентов и взаимодействия между ними.

Конечной целью данной работы является автоматизированное наполнение базы знаний интеллектуальной САПР. Извлеченные из базы данных САПР знания могут быть использованы для принятия проектных решений при разработке новых изделий методом совершенствования аналогов и заимствования удачных проектных решений.

Список литературы

1. **Maimon, O.** Data Mining and Knowledge Discovery Handbook / O. Maimon, L. Rokach. – 2nd ed. // Springer, Science+Business Media, 2010. – 1285 p.
2. **Han, J.** Data Mining: Concepts and techniques / J. Han, M. Kamber. – 2nd ed. – Morgan Kaufmann, 2006. – 743 p.
3. **Larose, D. T.** Data mining methods and models / Daniel T. Larose. – Wiley-IEEE Press, 2006. – 344 p.
4. **Городецкий, В.** Многоагентная технология принятия решений в задачах объединения данных / В. Городецкий, О. Карсаев, В. Самойлов // Труды СПИИРАН. – 2003. – № 1. – С. 12–37.
5. **Куприянов, М. С.** Интеллектуальный анализ распределенных данных на базе облачных вычислений / М. С. Куприянов. – СПб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – 148 с.
6. **Шевцов, А. Н.** Агентно-ориентированные системы: основные модели : моногр. / А. Н. Шевцов. – Вологда : ВоГТУ, 2012. – 189 с.
7. **Ющенко, С. П.** Многоагентные системы информационной поддержки управленческих решений / С. П. Ющенко. – Ростов н/Д. : Изд-во СКНЦ ВШ, 2004. – 376 p.
8. **Тарасов, В. Б.** От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б. Тарасов. – М. : Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
9. **Wooldridge, M.** The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design / M. Wooldridge, N. R. Jennings, D. Kinny // Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. – 2000. – Vol. 3, № 3. – P. 285–312.
10. **Usama Fayyad.** From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases / Usama Fayyad, Gregory Piatetsky-Shapiro, Padhraic Smyth // AI Magazine. – 1996. – Vol. 17, № 3. – P. 37–54.

References

1. Maimon O., Rokach L. *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*. 2nd ed. Springer, Science+Business Media, 2010, 1285 p.
2. Han J., Kamber M. *Data Mining: Concepts and techniques*. 2nd ed. Morgan Kaufmann, 2006, 743 p.
3. Larose D. T. *Data mining methods and models*. Wiley-IEEE Press, 2006, 344 p.
4. Gorodetskiy V., Karsaev O., Samoylov V. *Mnogoagentnaya tekhnologiya prinyatiya resheniy v zadachakh ob"edineniya dannykh* [Multi-agent technology of decision making in pooled data problems]. SPIIRAS Proceedings. 2003, no. 1, pp. 12–37.
5. Kupriyanov M. S. *Intellektual'nyy analiz raspredelennykh dannykh na baze oblachnykh vychisleniy* [Intelligent analysis of distributed data on the basis of cloud computing]. Saint-Petersburg: Izd-vo SPBGETU «LETI», 2011, 148 p.
6. Shevtsov A. N. *Agentno-orientirovannye sistemy: osnovnye modeli: monogr.* [Agent-oriented systems: basic models: monograph]. Vologda: VoGTU, 2012, 189 p.
7. Yushchenko S. P. *Mnogoagentnye sistemy informatsionnoy podderzhki upravlencheskikh resheniy* [Multi-agent systems of managerial decision information support]. Rostov-on-Don: Izd-vo SKNTs VSh, 2004, 376 p.
8. Tarasov V. B. *Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiyam: filozofiya, psikhologiya, informatika* [From multi-agent systems towards intelligent organizations: philosophy, psychology, informatics]. Moscow: Editorial URSS, 2002, 352 p.
9. Wooldridge M., Jennings N. R., Kinny D. *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 2000, vol. 3, no. 3, pp. 285–312.
10. Usama Fayyad, Gregory Piatetsky-Shapiro, Padhraic Smyth *AI Magazine*. 1996, vol. 17, no. 3, pp. 37–54.

Бондаренко Игорь Борисович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра проектирования и безопасности
компьютерных систем, Санкт-
Петербургский национальный
исследовательский университет
информационных технологий,
механики и оптики (Россия, г. Санкт-
Петербург, Кронверкский пр. 49)

E-mail: igorlitmo@rambler.ru

Bondarenko Igor Borisovich

Candidate of engineering sciences,
associate professor, sub-department
of computer system engineering and safety,
Saint-Petersburg National Research
University of Information Technologies,
Mechanics and Optics (49 Kronverksky
avenue, Saint-Petersburg, Russia)

Иванов Алексей Игоревич

аспирант, Санкт-Петербургский
национальный исследовательский
университет информационных
технологий, механики и оптики
(Россия, г. Санкт-Петербург,
Кронверкский пр. 49)

E-mail: 145732@niuitmo.ru

Ivanov Aleksey Igorevich

Postgraduate student, Saint-Petersburg
National Research University
of Information Technologies, Mechanics
and Optics (49 Kronverksky avenue,
Saint-Petersburg, Russia)

УДК 004.896

Бондаренко, И. Б.

Организационная модель многоагентной системы извлечения знаний из распределенных гетерогенных баз данных систем автоматизированного проектирования / И. Б. Бондаренко, А. И. Иванов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 4 (36). – С. 54–63.

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЗВУКОВ ПОТОКА ОСМЫСЛЕННОЙ РЕЧИ ДИКТОРА¹

Аннотация.

Актуальность и цели. Основными проблемами при разработке алгоритмов и программ, реализующих аутентификацию по голосу, являются следующие: вариации голоса пользователя (голос способен изменяться в зависимости от состояния здоровья, возраста, настроения и т.д.); наличие шумовой компоненты. Решение этих проблем позволит применять голосовую технологию аутентификации, которая обеспечит наилучшую защиту персональных данных, простоту в применении, и которая является наиболее дешевой среди существующих технологий идентификации личности.

Материалы и методы. В работе использованы численные и цифровые методы обработки сигналов, спектральные методы, методы математической статистики и временных рядов, а также искусственного интеллекта и распознавания образов. В основу построения фрагментатора положена континуально-дискретная модель обработки речи, которая в сочетании с узкополосным фильтром позволяет определять среднюю длительность звука.

Результаты. Показано, что качественный классификатор речи тон/шум должен давать выходные данные «0» и «1», длительность которых описывается континуально-дискретным распределением значений длительности интервалов между участками тональных звуков, распределенных по нормальным законам. Дискретная часть распределения образуется дискретным характером потока появления в речи тональных и шумовых звуков, а также их сочетаний (пар, троек, четверок и т.д.). Непрерывная (континуальная) часть распределения значений длин звуков обусловлена нестабильностью речи при смене темпа произношения. Приведен метод вычисления средней длины одного звука осмысленной речи. Данное исследование позволило построить автомат по определению средней длины звука на различных участках звукового сигнала.

Выводы. Предложен численный алгоритм идентификации речи отдельного диктора, позволяющий производить синхронизацию участков речи. Использование разработанного алгоритма позволило уточнять значения параметров, характеризующих статистическое описание длительности интервалов между шумовыми звуками речи и между тональными звуками. Проведенное исследование позволило построить автомат по определению средней длины звука на различных участках звукового сигнала. Полученные результаты являются базой для построения нейросетевых технологий аутентификации.

Ключевые слова: численные методы, цифровая обработка сигналов, биометрические системы, голосовая аутентификация.

I. V. Boykov, A. I. Ivanov, D. M. Kalashnikov

AN ALGORITHM FOR CONSTRUCTING A STATISTICAL DISCRETE-CONTINUUM DESCRIPTION

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 16-01-00594).

OF SOUND DURATION OF ANNOUNCER'S MEANINGFUL SPEECH FLOW

Abstract.

Background. Main problems in development of algorithms and software for implementing voice authentication are the following: user's voice variations (voice can vary depending on health conditions, age, mood etc.); presence of a noise component. Solving these problems will allow to use the voice authentication technology to ensure the best protection of personal data, ease of usage. Besides, it is the cheapest among the existing identification technologies.

Materials and methods. The authors used numerical methods, digital signal processing, spectral methods, methods of mathematical statistics and time-series, as well as artificial intelligence and pattern recognition. A fragmentating device is based on a continuous-discrete model of speech processing, which, in combination with a narrow-band filter, allows to determine the average duration of sound.

Results. It is shown that the qualitative tone/noise speech qualifier should give the output of "0" and "1", the duration of which is described by the continuum-discrete distribution of values of duration of the intervals between sections of tonal sounds, distributed according to normal laws. The discrete part of the distribution is formed by the discrete nature of the flow of tone sounds and noise appearance in speech, as well as their combinations (pairs, triples, quadruples, and etc). The continuous (continuum) part of sound length values distribution is conditioned by the instability of speech by changing a pronunciation pace. The article describes a method of calculating the average length of one sound of a meaningful speech. This study has allowed to build a machine to determine the average length of sound in different parts of an audio signal.

Conclusions. The article suggests a numerical algorithm for identification of individual speaker's speech, allowing to sync speech areas. Usage of the developed algorithm has allowed to specify parameter values that characterize the statistical description of duration of the intervals between speech sounds and noise between tonal sounds. The study has made it possible to build a machine to determine the average length of sound in different parts of an audio signal. The results are the basis for building neural network authentication technologies.

Key words: numerical methods, digital signal processing, biometric systems, voice authentication.

Введение

В настоящее время активно идут процессы информатизации современного общества. В России и за рубежом объявлено о создании электронного правительства. Каждая из федеральных служб России (Налоговая инспекция, ГИБДД, Пенсионный фонд РФ и др.) создают на своих сайтах личные кабинеты для взаимодействия с гражданами РФ. Каждый личный кабинет должен быть защищен уникальным логином и длинным паролем из случайных знаков. К сожалению, многие пользователи не могут запомнить множество логинов и множество длинных паролей доступа из 32 случайных знаков.

По мнению экспертов, выход из создавшегося положения состоит в использовании преобразователей личной биометрии человека в его логин и длинный пароль доступа. В США и странах Евросоюза эту проблему решают с помощью «нечетких экстракторов» [1, 2]. В России и Казахстане развивается технология использования больших искусственных нейронных сетей [3, 4].

Для преобразования в логин и код пароля доступа может быть использована любая биометрическая технология, однако для доступа в личные кабинеты желательно использовать анализ особенностей голоса, так как микрофон является самым распространенным и самым простым средством ввода биометрии.

Обычно для преобразователя голосовой биометрии в контролируемые параметры используют линейные предсказатели [5, 6]. Линейный предсказатель строится на основе анализа нескольких рядом расположенных отсчетов изменения значений давления волны звука, по которым предсказывается следующее значения отсчета.

Линейные предсказатели работают по следующему алгоритму. Пусть на линейную модель системы воздействует сигнал возбуждения $x(n)$, а на ее выходе формируется сигнал $y(n)$. Параметры системы неизвестны, а вход и выход связаны разностным уравнением

$$y(n) = b_0x(n) - \sum_{k=1}^{M-1} a_k y(n-k), \quad n = M, M+1, \dots, \quad (1)$$

где b_0 – известный коэффициент, а коэффициенты a_k , $k = 1, 2, \dots, M-1$, неизвестны.

Требуется определить коэффициенты $\{a_k\}$, $k = 1, 2, \dots, M-1$.

Нахождение коэффициентов системы уравнений (1) сводится к решению линейной системы уравнений

$$y(l) = b_0x(l) - \sum_{k=1}^{M-1} a_k y(l-k), \quad l = 1, 2, \dots, M-1,$$

если известны начальные значения

$$y(0), y(-1), \dots, y(-M+2).$$

Если начальные значения неизвестны, то задача сводится к решению линейной системы уравнений

$$y(n) = b_0x(n) - \sum_{k=1}^{M-1} a_k y(n-k), \quad n = M, M+1, \dots, 2M-1,$$

относительно неизвестных значений $\{a_k\}$.

В случае предсказания голосовых сигналов используется следующий алгоритм. Выделяется фраза (или ее фрагмент) и разбивается на кадры. Каждые два следующие друг за другом кадры связаны системой разностных уравнений

$$s(n) = \sum_{k=1}^L a_k s(n-k) + \varepsilon_n, \quad n = L+1, L+2, \dots, 2L, \quad (2)$$

где ε_n – погрешность; s_n – значения сигнала $s(t)$ на выбранной сетке узлов.

Для решения системы (2) относительно коэффициентов $\{a_k\}$, $k = 1, 2, \dots, L$, можно использовать численные методы.

В результате решения системы уравнений (2) на последовательности кадров каждому кадру начиная с первого ставится в соответствие вектор $A^l = \{a_1^l, a_2^l, \dots, a_L^l\}$, где l – номер кадра. Из векторов A^l , $l=1, 2, \dots$, составляются различные логины, идентифицирующие диктора.

Алгоритмы идентификации звуковых сигналов

Линейный предсказатель звуковых сигналов определяется как линейная система, на выходе которой имеем

$$s(n) = \sum_{k=1}^{12} a_k s(n-k) + e(n), \quad (3)$$

где $a_1, a_2, a_3, \dots, a_l$ – неизвестные коэффициенты линейного предсказания в пределах обрабатываемого сегмента речевого сигнала; $e(n)$ – ошибка предсказания; $s(n)$ – значение отсчета звука, предсказанное по l предыдущим отсчетам; n – текущий номер отсчета обрабатываемого звукового файла.

1. В качестве значения обрабатываемого сегмента выбирается число, при котором удастся решать систему линейных уравнений в реальном времени. Так, в стандартном вокодере LPC-12 используется 12 коэффициентов линейного предсказания. Число коэффициентов линейного предсказателя не может быть велико, так как обусловленность решаемой системы линейных уравнений ухудшается с ростом ее размерности.

Ниже рассматривается линейный предсказатель с коэффициентами $\{\alpha_k\}$, который определяется как линейная система с заданным параметром $l=12$.

Для преодоления негативных свойств вычислительных процессов, связанных с плохой обусловленностью матриц линейных предсказателей, ниже предлагаются и обосновываются итерационные методы.

2. В линейных системах параметры $\{\alpha_k\}$ линейного предсказателя находят, минимизируя ошибку $e(n)$:

$$\sum_{m=1}^{12} s(n+m-i)s(n+m) = \sum_{k=1}^{12} a_k \sum_{m=1}^{12} s(n+m-i)s(n+m-k), \quad i \leq i \leq 12. \quad (4)$$

Система уравнений (3) является линейной относительно неизвестных коэффициентов $\{\alpha_k\}$, $k=1, 2, \dots, 12$, системой алгебраических уравнений.

Введем обозначения:

$$\sum_{m=1}^{12} s_n(m-i)s_n(m-k) = R_{ik}^n,$$

$$\sum_{l=1}^{12} s_n(m-i)s_n(m) = R_i^n,$$

где R_{ik}^n – коэффициенты автокорреляции.

3. Запишем систему (4) в виде

$$\sum_{k=1}^{12} \alpha_k R_{ik}^n = R_i^n, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Замечание. Выше было использовано 12 отчетов, так как эта размерность принята в большинстве технических реализаций линейных предсказателей. Отметим, что результаты, полученные в данной работе, справедливы для произвольного L числа отсчетов.

Система уравнений (5) является системой с теплоцевой матрицей. Как известно, теплоцевы матрицы плохо обусловлены и решение системы уравнений (5) с экспериментально полученными данными методами линейной алгебры может привести к значительным ошибкам.

Более предпочтительными являются итерационные методы.

Так как $R_{ik} = R_{ki}$, $1 \leq k, i \leq 12$, то матрица системы (5) является самосопряженной. Напомним, что матрица M называется самосопряженной, если $MM^* = M^*M$, где M^* – матрица, сопряженная матрице M .

Изложим итерационный метод решения систем линейных алгебраических уравнений с самосопряженными матрицами. Напомним, что оператор K называется самосопряженным, если $KK^* = K^*K$, где K^* – оператор, сопряженный оператору K .

Для общности рассуждений рассмотрим операторное уравнение

$$Kx = f \quad (6)$$

с самосопряженным оператором K в гильбертовом пространстве H ($K \in [H, H]$).

Известно [7], что спектр самосопряженного оператора K неотрицательный ($0 \leq \sigma(K)$). Здесь через $\sigma(K)$ обозначен спектр оператора K . Пусть $\gamma = 1/(2\|K\|)$, где $\|K\|$ – норма оператора K , и уравнению (6) поставим в соответствие уравнение

$$\gamma Kx = \gamma f. \quad (7)$$

Уравнение (7) будем решать итерационным методом:

$$x_{n+1} = \lambda_n x_n + (1 - \lambda_n)(x_n - \gamma(Kx_n - f)), \quad (8)$$

$n = 0, 1, \dots$; $0 < \lambda_* \leq \lambda_n \leq \lambda^* < 1$. Естественно положить $\lambda_n = 1/2, n = 0, 1, \dots$

Справедливо следующее утверждение.

Утверждение 1. Пусть K – самосопряженный оператор в рефлексивном пространстве H . Тогда итерационный процесс (8) сходится к решению уравнения (7) и, следовательно, к решению уравнения (6). Если известно, что спектр оператора K положительный ($0 < \beta < \sigma(K)$), то итерационный процесс (8) сходится к решению x^* уравнения (5) со скоростью геометрической прогрессии со знаменателем $q = (1 - (1 - \lambda_*)\beta/2)$ и справедлива оценка $\|x^* - x_{n+1}\| = q^n \|x_1 - x_0\|$.

В случае, если $0 \in \sigma(K)$, то задача решения системы уравнений (7) является некорректной и необходимо использовать методы регуляризации. Остановимся на регуляризации по Тихонову. В этом случае естественно реализовать следующий итерационный процесс:

$$x_{n+1} = \lambda_n x_n + (1 - \lambda_n) (x_n - \gamma(\beta x_n + Kx_n - f)), \quad n = 0, 1, \dots, n_x, n, \dots, \quad (9)$$

где $0 < \lambda_* \leq \lambda_n \leq \lambda^* < 1$, $\beta > 0$ – параметр регуляризации.

Сходимость итерационного процесса (9) доказывается по аналогии с доказательством сходимости итерационного процесса (8).

Возвращаясь к системе уравнений (2), отметим, что к ней применимы итерационные схемы (8) и (9).

Представляет интерес сравнение итерационной схемы (8) для системы уравнений (2) с известным методом Левинсона – Дарбина [8].

Нетрудно видеть, что число арифметических действий при реализации итерационной схемы (8) для решения уравнения $Kx = f$, где $\min \sigma(K) > 0$, значительно меньше, чем в методе Левинсона – Дарбина. Кроме того, метод (8) дает гарантированную оценку погрешности. Из проведенных рассуждений следует перспективность использования итерационных методов в случае матриц большой размерности.

Сходимость вычислительных схем (8)–(9) доказана в рефлексивных пространствах. Среди наиболее распространенных пространств к рефлексивным пространствам относятся гильбертовы пространства L_2 , l_2 и евклидово пространство E_n . В частности, в случае линейного предсказателя уравнение (4) решается в пространстве E_{12} векторов $A = (\alpha_1, \dots, \alpha_{12})$ с нормой

$$\|A\| = \left[\sum_{k=1}^{12} |\alpha_k|^2 \right]^{1/2}.$$

Отметим, что итерационная схема (9) используется в случае, когда нуль принадлежит спектру оператора K . В этом случае вводится дополнительный регуляризирующий оператор βx , который «сдвигает» спектр оператора K вправо. Выбор параметра регуляризации представляет собой сложную задачу, требующую анализа априорной информации об исследуемом процессе.

Поэтому представляет интерес рассмотрение других методов решения уравнений на спектре. В частности, для решения уравнения на спектре может быть использован метод Бакушинского – Страхова [9].

Рассмотрим операторное уравнение

$$K_1 x = f_1, \quad (10)$$

где $K_1 = \gamma K$, $f_1 = \gamma f$, $\gamma = 1 / \|K\|$.

В этом случае $\|K_1\| = 1$ и, так как оператор K_1 – самосопряженный, то его спектр лежит на сегменте $[0, 1]$. Из теоремы Данфорда следует, что спектр оператора $E - K_1$, где E – тождественный оператор, лежит на сегменте $[0, 1]$. Так как оператор $E - K_1$ самосопряженный, то $\|E - K_1\| = 1$.

Следовательно, для оператора K_1 выполнены условия $\|K_1\| = 1$, $\|E - K_1\| = 1$.

При этих условиях в рефлексивном банаховом пространстве справедливо следующее утверждение.

Утверждение 2 [9]. Пусть $x_0 \in B$ – произвольный элемент,

$$x_{n+1} = (E - K_1)x_n + f_1,$$

$$\bar{x}_n = \frac{1}{n+1} \sum_{k=0}^n x_k. \quad (11)$$

Последовательность \bar{x}_n сходится к решению x^* уравнения (11).

Следствие. Последовательность (11) сходится к решению уравнения (10).

4. В данной работе параметры $\{\alpha_k\}$ получают, минимизируя ошибку $e(n)$. В результате приходим к системе уравнений

$$\sum_{m=1}^{12} s_n(m-i)s_n(m) = \sum_{k=1}^{12} a_k \sum_{m=1}^{12} s_n(m-i)s_n(m-k), i \leq i \leq 12. \quad (12)$$

Алгоритм, осуществляющий классификацию участков звука на тональные и шумовые участки речи одного человека без шумов, использует вычисление автокорреляционной функции ошибки линейного предсказателя $e(n)$. На рис. 1 приведен пример автокорреляционной функции ошибок линейного предсказания.

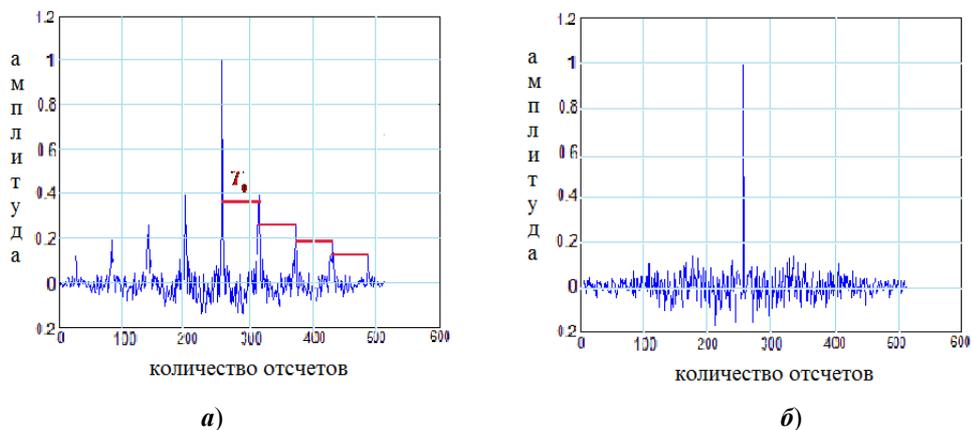


Рис. 1. Автокорреляционная функция на тональном участке звука (а), шумовом участке голосовой фразы (б)

Из рис. 1 видно, что автокорреляционные функции ошибки линейного предсказания для тональных участков звука и для шумовых участков звука существенно отличаются. В автокорреляционной функции тональных участков имеются повторяющиеся пики, расстояние T_0 между которыми соответ-

ствует периоду основного тона обрабатываемой речи человека. Шумовые участки речи человека не содержат периодической составляющей (смотри правую часть рис. 1).

Таким образом, классификация звуков речи одного человека (без посторонних шумов) на тональные и шумовые участки является уже решенной задачей. Для выделения тональных участков достаточно обнаружить периодичность пиков автокорреляционной функции ошибки линейного предсказателя. Однако как только появляется смесь речи двух или более людей или появляется значительная шумовая составляющая, линейный предсказатель перестает работать.

Дискретное статистическое описание длительности интервалов между шумовыми звуками речи и между тональными звуками

Предположим, что создан идеальный читающий робот, который читает осмысленный текст на русском языке. Будем считать, что он каждую букву текста будет воспроизводить шумовыми и тональными звуками одинаковой длительности. Кроме того, будем считать, что пробел между словами и предложениями текста будет воспроизводиться говорящим роботом как пауза, заполняемая тихим внешним шумом. В этом случае для русского языка интервалы между последовательностями тональных звуков будут описываться дискретным распределением, пример которого приведен на рис. 2.

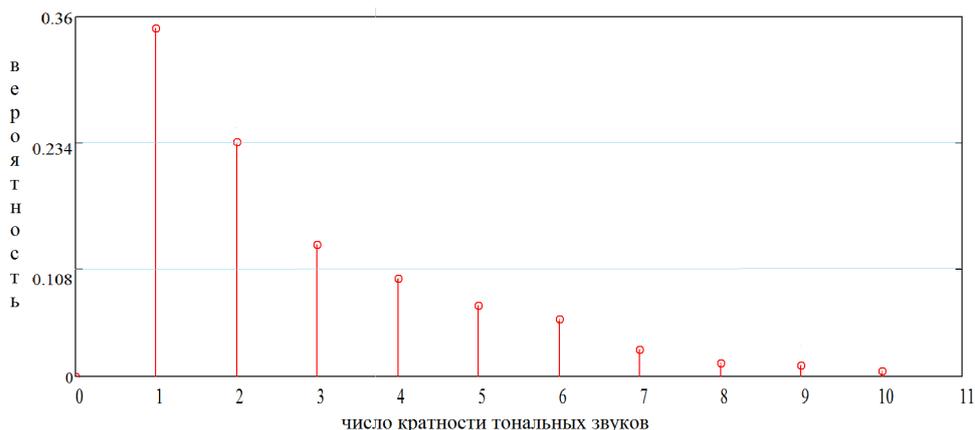


Рис. 2. Дискретное распределение значений длительности тональных звуков русской речи для монотонно читающего текст робота

Приведенное на рис. 2 дискретное распределение получено исследованием случайного русского текста, состоящего из 15 500 знаков. Шипящими звуками являются следующие фонемы: «ф», «х», «ц», «б», «п», «к», «т», «ь», «ъ», «с», «ч», «щ», «ш». При анализе текста учтены паузы. По оси y отложена вероятность появления кратных тональных звуков (число идущих подряд тональных звуков). По оси x отложена кратность тональных звуков. Как видно из рис. 2, наиболее часто встречаются одиночные тональные звуки, т.е. одна тональная фонема, находящиеся между различными вариантами шипящих. Можно сделать вывод, что вероятность появления двух тональных звуков подряд меньше чем одинарных, вероятность трех тональных меньше чем ве-

роятность парных и т.д. Максимальное число подряд стоящих тональных звуков из тестового текста не превышает десяти.

Получение классификации тон/шум на практике является исходной задачей при построении более экономичных и качественных вокодеров, а также в создании голосовой идентификации (аутентификации) пользователя. Одним из направлений совершенствования классификатора тон/шум является использование узкополосных, перестраиваемых фильтров частоты основного тона, подстраиваемого под период основного тона тестируемого диктора. В данном исследовании тестирование проходило при высокой частоте дискретизации, равной 44100 Гц. Период основного тона при данной частоте может варьироваться, поэтому требуется постоянное его уточнение на каждом участке звука. Выделение тональных участков происходило за счет обращения шума в ноль на тех участках, на которых выходной сигнал не приобретал синусоидальную форму, либо (в случае полного несоответствия) приобретал нулевое значение. Преимущество применения данного фильтра в классификации тон/шум заключается в устойчивой работе по выделению периода основного тона и возможности отделения шумовых звуков и шумовых компонент сигнала. На рис. 3 приведен пример распределения длительности тональных участков речи, полученного на базе из 500 образов. Данная гистограмма показывает, что дисперсия каждого из распределений (общей длины подряд идущих тональных звуков), полученная сочетанием различного числа звуков, примерно кратна дисперсии длины одинарного звука. Отсюда вытекает возможность в выделении средней длины звука речи отдельного человека.

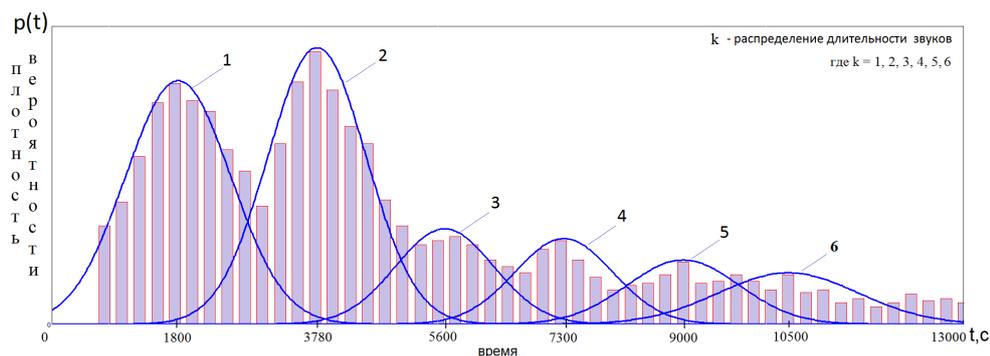


Рис. 3. Дискретно-континуальное распределение длительности интервалов между участками тональных звуков, распределенных по нормальным законам

Для той же базы было построено распределение длин шумовых звуков. Как показывает гистограмма (рис. 4), длительность кратных звуков (идущих подряд звуков) примерно кратна длительности одиночных звуков. Например, в распределении длительности двоичных звуков примерно содержится длина двух одинарных и т.д.

Рисунки 3 и 4 приведены к равному масштабу для сравнения длительности тональных и шумовых участков речи. При наложении распределения друг на друга можно заметить кратное соответствие в дисперсии длительности тональных и шумовых звуков (13). Данное утверждение говорит о правильной работе классификатора тон/шум и о возможности выделения необходимого биометрического параметра – средней длины звука:

$$\sigma_{\text{шум}} = \sigma_{\text{тон}} \quad (13)$$

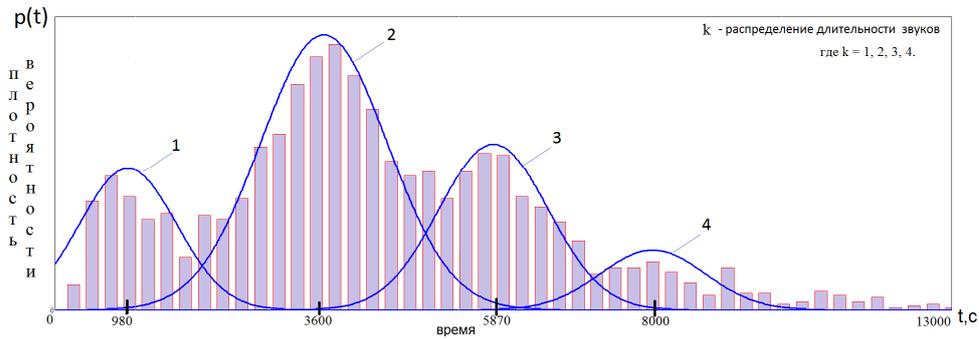


Рис. 4. Дискретно-континуальное распределение значений длительности шумовых звуков русской речи

Как уже было замечено, математическое ожидание всплесков кратно друг другу как для тональных, так и для шумовых звуков. Соответственно в первую очередь должна решаться задача нахождения данной кратности:

$$\begin{cases} E(T_1) = C_{\text{Био}}; \\ E(T_2) = 2C_{\text{Био}}; \\ \dots\dots\dots \\ E(T_n) = nC_{\text{Био}}, \end{cases} \quad (14)$$

где $C_{\text{Био}}$ – средняя длительность звука.

Средняя длительность звука является величиной статистической и может варьироваться при смене темпа речи, поэтому после нахождения кратности вычисляется данный параметр. Для определения длительности возможных вариантов сочетаний звуков должен осуществляться непрерывный подсчет данного параметра согласно системе

$$\begin{cases} E_{\text{тон}}(T_n) = (n-1)E_{\text{тон}}(T_{n-1}) = (n-2)E_{\text{тон}}(T_{n-2}) = \dots = nE_{\text{тон}}(T_1); \\ E_{\text{шум}}(T_n) = (n-1)E_{\text{шум}}(T_{n-1}) = (n-2)E_{\text{шум}}(T_{n-2}) = \dots = nE_{\text{шум}}(T_1); \\ \sigma = \frac{(E_{\text{шум}}(T_1) + E_{\text{тон}}(T_1))}{2}. \end{cases} \quad (15)$$

На рис. 5 представлено исследование пауз на той же тестируемой базе. Распределение не показало никакой закономерности в гистограмме при корреляции тональных и шумовых звуков.

Данный параметр необходим в получении наиболее устойчивой синхронизации при выделении индивидуальных голосовых параметров человека.

В первую очередь параметр средней длины звука необходим для синхронизации классификатора тон/шум при повторном произношении парольной голосовой фразы. На рис. 6 представлен пример работы синхронизации при 9-кратном произношении одной и той же фразы, принадлежащей одному диктору.

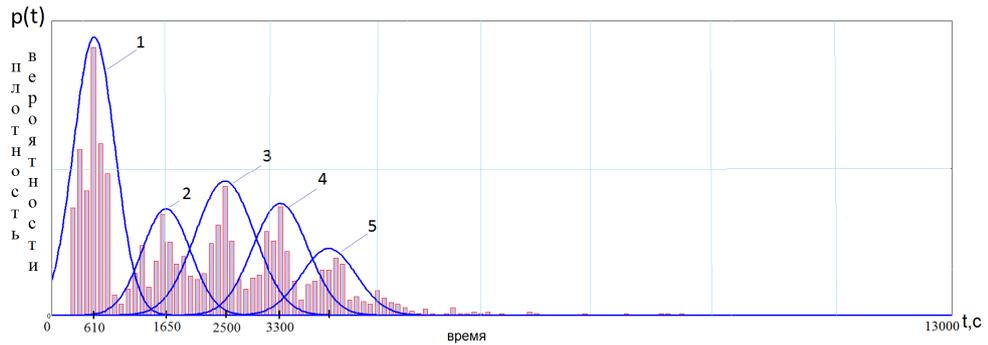


Рис. 5. Дискретное распределение длительности интервалов между участками пауз и шумовых/тональных звуков для русской речи

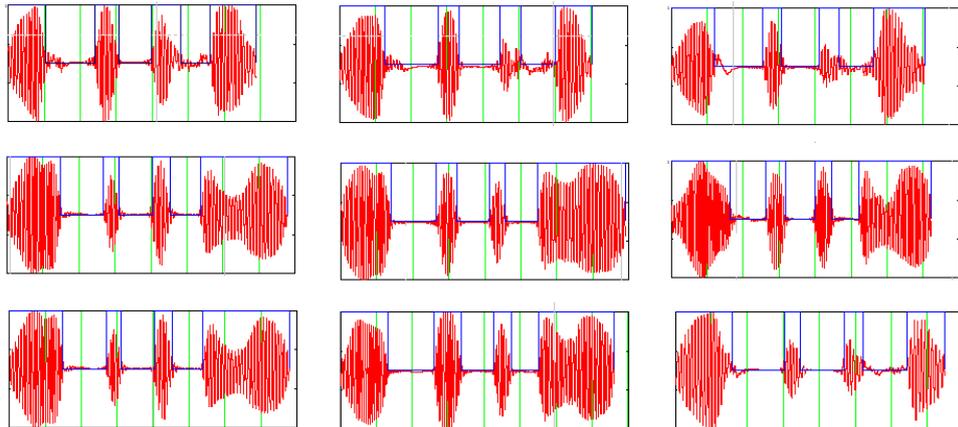


Рис. 6. Графики выходных сигналов после процесса синхронизации классификатора тон/шум на голосовой фразе

На графиках изображен сигнал, прошедший через узкополосный фильтр и построены прямые, огибающие данный сигнал. Прямые получены в результате классификации тон/шум (участки, на которых выявлена детерминированная часть сигнала, представлены единицей, участки, на которых выявлен шум, представлены нулем).

Как видно из рис. 6, длина каждого тонального участка варьируется в различных пределах. Значение каждого из участков уточняется при добавлении речевых образцов. В каждом звуковом фрагменте может содержаться несколько фонем. Точное определение количества взятых образцов зависит от точности определения средней длины звука.

На рис. 7 представлен пример конечного процесса синхронизации фонем в обрабатываемой голосовой фразе.

Приведем доказательство утверждения 1.

Доказательство сходимости итерационного процесса (8) основано на следующем утверждении [10]. Пусть B – рефлексивное банахово пространство, K – линейный оператор из B в B и $\|K\| = 1$.

Замечание. Евклидово пространство векторов является рефлексивным.

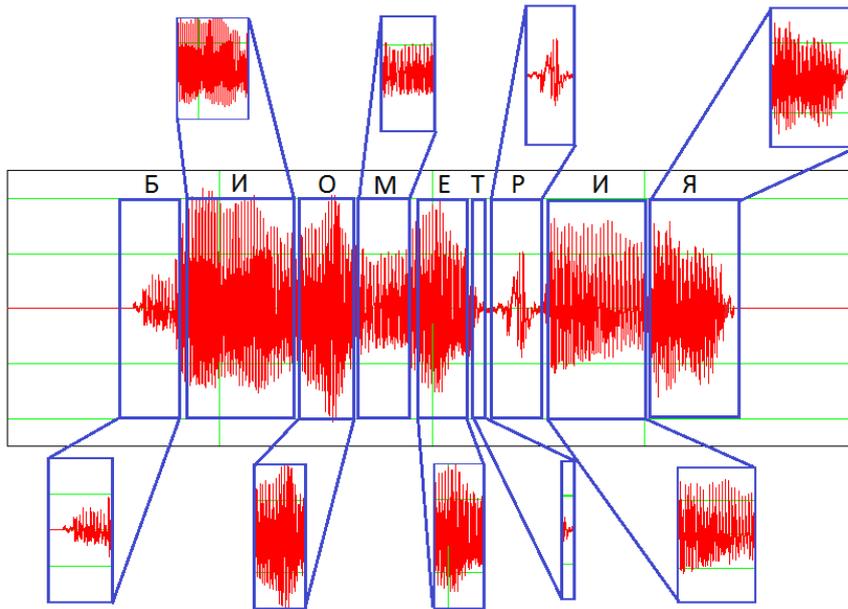


Рис. 7. Фрагментация заданного парольного слова

Итерационный процесс

$$x_{n+1} = \lambda_n x_n + (1 - \lambda_n) Kx_n, \quad 0 < \lambda_* \leq \lambda_n \leq \lambda^* < 1, \quad n = 0, 1, \dots,$$

сходится к решению x^* уравнения $Kx = 0$, если последнее разрешимо.

Для применимости теоремы 1 к доказательству сходимости итерационного процесса (8) нужно показать, что $\|I - \gamma K\| \leq 1$. Так как оператор K самосопряженный, то его спектр находится на положительной полуоси (включая, возможно, начало координат). Так как $\gamma = 1 / (2\|K\|)$, то спектр γK расположен в сегменте $[0, 1/2]$, а по теореме Данфорда [11] спектр оператора $I - \gamma K$ расположен в сегменте $[\frac{1}{2}, 1]$. Следовательно, $\|I - \gamma K\| = 1$ и условия теоремы 1 выполнены. Итерационный процесс (8) сходится.

В случае, если известно, что спектр оператора K положительный ($0 < \beta < \sigma(K)$), то можно получить более сильное утверждение.

Из проведенных выше утверждений следует, что спектр оператора $I - \gamma K$ расположен в сегменте $[\frac{1}{2}, 1 - \frac{\beta}{2}]$. Следовательно, $\|I - \gamma K\| = 1 - \frac{\beta}{2}$.

Это позволяет оценить скорость сходимости итерационного процесса (8). В самом деле,

$$\begin{aligned} \|x_{n+1} - x_n\| &\leq \lambda_n \|x_n - x_{n-1}\| + (1 - \lambda_n) \|(x_n - x_{n-1} - \gamma K(x_n - x_{n-1}))\| \leq \\ &\leq \lambda_n \|x_n - x_{n-1}\| + (1 - \lambda_n) \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) \|x_n - x_{n-1}\| \leq \end{aligned}$$

$$\leq 1 - (1 - \lambda_n) \frac{\beta}{2} \|x_n - x_{n-1}\|, n = 0, 1, \dots \quad (16)$$

Из теоремы Банаха [12] и неравенства (9) следует, что итерационный процесс (8) сходится к решению x^* уравнения (6) со скоростью геометрической прогрессии со знаменателем $q = (1 - (1 - \lambda_*)\beta / 2)$ и справедлива оценка

$$\|x^* - x_{n+1}\| = q^n \|x_1 - x_0\|.$$

Заключение

При применении построенного алгоритма кластеризации звуковой фразы стало возможным синхронизировать и кластеризовать участки речи с наибольшей точностью. Учитывая параметры, описанные в статье, удалось построить нейросетевую технологию распознавания речи, основанную на анализе как в спектральной, так и временной области параметров строгой последовательности фрагментированных участков речи.

Для каждого фрагментированного участка речи строится нейронная сеть, которая вырабатывает биологический ключ для каждой фонемы. Вектор, составленный из биологических ключей, является идентификатором конкретной личности.

Полученное исследование позволило построить автомат по выделению средней длины звука на различных участках звукового сигнала.

Список литературы

1. **Dodis, Y.** Fuzzy Extractors: How to Generate Strong Keys from Biometrics and Other Noisy / Y. Dodis, L. Reyzin, A. Smith // EUROCRYPT. – 2004, April 13. – P. 523–540.
2. **Monrose, F.** Cryptographic key generation from voice / F. Monrose, M. Reiter, Q. Li, S. Wetzel // Proc. IEEE Symp. on Security and Privacy, 2001.
3. Нейросетевая защита персональных биометрических данных / Ю. К. Язов, В. И. Волчихин, А. И. Иванов, В. А. Фунтиков, И. Г. Назаров. – М. : Радиотехника, 2012. – 157 с.
4. Технология использования больших нейронных сетей для преобразования нечетких биометрических данных в код ключа доступа : моногр. / Б. С. Ахметов, А. И. Иванов, В. А. Фунтиков, А. В. Безяев, Е. А. Малыгина. – Алматы : Изд-во LEM, 2014. – 144 с. – URL: <http://portal.kazntu.kz/files/publicate/2014-06-27-11940.pdf>
5. **Рамишвили, Г. С.** Автоматическое опознавание говорящего по голосу / Г. С. Рамишвили. – М. : Радио и связь, 1981. – 224 с.
6. **Маркел, Дж. Д.** Линейное предсказание речи / Дж. Д. Маркел, А. Х. Грей. – М. : Радио и связь, 1980. – 248 с.
7. **Канторович, Л. В.** Функциональный анализ / Л. В. Канторович, Г. П. Акилов. – М. : Наука, 1977. – 750 с.
8. **Соломина, А. И.** Основы цифровой обработки сигналов / А. И. Соломина, Д. А. Улахович, С. М. Арбузов, Е. Б. Соловьева. – СПб., 2013. – 768 с.
9. **Бакушинский, А. Б.** О решении некоторых интегральных уравнений 1 рода методом последовательных приближений / А. Б. Бакушинский, В. Н. Страхов // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1968. – Т. 8, № 1. – С. 181–185.

10. **Обломская, Л. Я.** О методах последовательных приближений для линейных уравнений в банаховых пространствах / Л. Я. Обломская // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1968. – Т. 8, № 2. – С. 417–426.
11. **Данфорд, Н.** Линейные операторы. Т. 1. Общая теория / Н. Данфорд, Дж. Шварц. – М.: ИЛ, 1962. – 895 с.
12. **Люстерник, Л. А.** Элементы функционального анализа / Л. А. Люстерник, В. И. Соболев. – М.: Наука, 1965. – 540 с.

References

1. Dodis Y., Reyzin L., Smith A. *EUROCRYPT*. 2004, April 13, pp. 523–540.
2. Monrose, F., Reiter M., Li Q., Wetzel S. *Proc. IEEE Symp. on Security and Privacy, 2001*.
3. Yazov Yu. K., Volchikhin V. I., Ivanov A. I., Funtikov V. A., Nazarov I. G. *Neurosetevaya zashchita personal'nykh biometricheskikh dannykh* [Neural network protection of personal biometric data]. Moscow: Radiotekhnika, 2012, 157 p.
4. Akhmetov B. S., Ivanov A. I., Funtikov V. A., Bezyaev A. V., Malygina E. A. *Tekhnologiya ispol'zovaniya bol'shikh neyronnykh setey dlya preobrazovaniya nechetkikh biometricheskikh dannykh v kod klyucha dostupa: monogr.* [Technology of using large neural networks for fuzzy biometric data conversion to access key codes: monograph]. Almaty: Izd-vo LEM, 2014, 144 p. Available at: <http://portal.kazntu.kz/files/publicate/2014-06-27-11940.pdf>
5. Ramishvili G. S. *Avtomaticheskoe opoznavanie govoryashchego po golosu* [Automatic voice authentication of speakers]. Moscow: Radio i svyaz', 1981, 224 p.
6. Markel Dzh. D., Grey A. Kh. *Lineynoe predskazanie rechi* [Linear voice prediction]. Moscow: Radio i svyaz', 1980, 248 p.
7. Kantorovich L. V., G. P. Akilov *Funktsional'nyy analiz* [Functional analysis]. Moscow: Nauka, 1977, 750 p.
8. Solomina A. I., Ulakhovich D. A., Arbuzov S. M., Solov'eva E. B. *Osnovy tsifrovoy obrabotki signalov* [Basic digital signal processing]. Saint-Petersburg, 2013, 768 p.
9. Bakushinskiy A. B., Strakhov V. N. *Zhurnal vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki* [Journal of calculus mathematics and mathematical physics]. 1968, vol. 8, no. 1, pp. 181–185.
10. Oblomskaya L. Ya. *Zhurnal vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki* [Journal of calculus mathematics and mathematical physics]. 1968, vol. 8, no. 2, pp. 417–426.
11. Danford N., Shvarts Dzh. *Lineynye operatory. T. 1 Obshchaya teoriya* [Linear operators]. Moscow: IL, 1962, 895 p.
12. Lyusternik L. A., Sobolev V. I. *Elementy funktsional'nogo analiza* [Functional analysis elements]. Moscow: Nauka, 1965, 540 p.

Бойков Илья Владимирович

доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой
высшей и прикладной математики,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: boikov@pnzgu.ru

Boikov Ilya Vladimirovich

Doctor of physical and mathematical
sciences, professor, head of sub-department
of higher and applied mathematics, Penza
State University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Иванов Александр Иванович

доктор технических наук, начальник
лаборатории биометрических
и нейросетевых технологий,
Пензенский научно-исследовательский
электротехнический институт (Россия,
г. Пенза, ул. Советская, 9)

E-mail: ivan@pniei.ru

Ivanov Aleksandr Ivanovich

Doctor of engineering sciences, head
of laboratory of biometric and neural
network technologies, Penza Research
Institute of Electrical Engineering
(9 Sovetskaya street, Penza, Russia)

Калашников Дмитрий Михайлович

аспирант, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: kalashnikovdm.penza@gmail.com

Kalashnikov Dmitriy Mikhaylovich

Postgraduate student, Penza State
University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

УДК 004; 519.7; 519.6; 519.66; 612.087.1

Бойков, И. В.

Алгоритм построения статистического дискретно-континуального описания длительности звуков потока осмысленной речи диктора / И. В. Бойков, А. И. Иванов, Д. М. Калашников // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 4 (36). – С. 64–78.

ЭЛЕКТРОНИКА, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И РАДИОТЕХНИКА

УДК 57.087

А. Ю. Тычков, П. П. Чураков, А. Н. Тычкова

УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В СЛОЖНЫХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация.

Актуальность и цели. Объектом исследования является устройство измерения информативных параметров энцефалографических сигналов (ЭЭС) у людей экстремальных профессий в условиях повышенного уровня зашумления сигналов (в сложных экстремальных условиях). Предметом исследования являются алгоритмы обработки ЭЭС, позволяющие повысить быстродействие и точность обработки результатов измерений. Цель работы – проведение аналитического исследования известных устройств измерения ЭЭС, разработка блок-схемы устройства измерения информативных параметров ЭЭС и алгоритма обработки ЭЭС в условиях повышенного уровня зашумления.

Материалы и методы. Для разработки блок-схемы устройства измерения информативных параметров ЭЭС и алгоритма обработки ЭЭС в условиях повышенного уровня помех при свободной двигательной активности испытуемых использовались методы цифровой обработки сигналов (амплитудно-частотная обработка, полосовая фильтрация) и основы схемотехнического проектирования измерительных устройств.

Результаты. Проведен аналитический анализ известных решений в области измерения информативных параметров ЭЭС. Показана перспективность разработки новых решений в области развития теории цифровой обработки сигналов для целей медицинской диагностики. Разработаны новые блок-схема устройства измерения информативных параметров ЭЭС и алгоритм обработки ЭЭС в условиях повышенного уровня помех при свободной двигательной активности испытуемых. Отличительной особенностью предлагаемого решения от известных является введение в работу алгоритма новых блоков анализа и сравнения ЭЭС с нормой и отклонением от нормы и подавления синфазных помех за счет применения полосовой фильтрации.

Выводы. Предложенные устройства измерения информативных параметров ЭЭС, в отличие от существующих аналогов, позволяют повысить быстродействие устройства и его оперативность более чем в 2 раза за счет использования нового алгоритма обработки ЭЭС в условиях повышенного уровня помех при свободной двигательной активности испытуемых. Отличительная особенность предложенного алгоритма заключается в том, что анализ частотных компонент ЭЭС проводится в реальном масштабе времени с автоматическим сравнительным анализом пороговых частотных значений тэта, альфа и гамма волн в секунду.

Ключевые слова: измерение информативных параметров, обработка ЭЭС, полосовая фильтрация, анализ частотных компонент.

A MEASURING DEVICE OF EES INFORMATIVE PARAMETERS IN COMPLEX EXTREME CONDITIONS

Abstract.

Background. The research object of is a device for electroencephalographic signals' (EES) informative parameters measurement in respondents of extreme professions in conditions of an increased noise level (in complex extreme conditions). The research subject is the EES processing algorithms that improve the speed and accuracy of measurement results. The objective of the research is to carry out an analytical study of the known EES measuring devices, to develop a block diagram of the measuring device of the EES informative parameters and the EES processing algorithm in conditions of a increased noise level.

Materials and methods. To develop the block diagram of the measuring device of the EES informative parameters and the EES processing algorithm in conditions of an increased noise level during free motor activity of respondents the authors used techniques of digital signal processing (amplitude-frequency processing, band-pass filtering) and the basics of circuit design of measuring devices.

Results. An analysis of the known analytical solutions for the EES measuring informative parameters was done. The article shows development prospects of new solutions in development of the theory of digital signal processing for medical diagnosis purposes. The novel block diagram of the EES informative parameters measuring device and the EES processing algorithm in conditions of an increased noise level during free motor activity of respondents have been developed. A distinctive feature of the proposed solution is the algorithm has been supplemented with new blocks of analysis and comparison of EES with the norm and abnormality, as well as with block of suppression of the common mode noise, due to band-pass filter usage.

Conclusions. The proposed measuring device of the EES informative parameters in the biomedical practice, in contrast to the existing analog devices, can improve performance and efficiency of device more than 2 times owing to the use of the new EES processing algorithm in conditions of an increased noise level during free motor activity of respondents. A distinctive feature of the algorithm is that the analysis of the EES frequency components is conducted in real-time with an automatic comparative analysis of frequency threshold value of theta, alpha and gamma waves per second.

Key words: measurement of informative parameters, EES processing, band-pass filtering, frequency components analysis

1. Анализ предметной области

Известен способ измерения информативных параметров энцефалографических сигналов (ЭЭС) и устройство контроля и поддержания бдительности людей экстремальных профессий [1], основанное на периодической (через каждые 15–90 с) подаче оператору (машинисту, водителю автотранспорта, пилоту) измерительного (тестового) сигнала, на который формируется ответный отклик. В случае отсутствия такого ответного действия устройство подает сигнал тревоги и/или изменяет параметры движения объекта. Недостатком известного способа являются относительно низкое быстродействие (как минимум 20 с), т.е. невозможность определения кратковременных (порядка единиц секунд) выхода испытуемого из контура управления.

Известна другая группа способов и устройств измерения информативных параметров ЭЭС для контроля и поддержания бдительности испытуемых [2, 3], основанных на непрерывной регистрации (мониторинге) и автоматическом измерении различных физиологических показателей непосредственно в процессе деятельности (регистрация кожно-гальванической реакции, электрокожного сопротивления, закрывания глаз, частоты морганий). Однако точность, быстродействие и помехоустойчивость данных решений принципиально зависит от характера измеренных физиологических показателей.

Наилучшим разрешением по времени среди физиологических показателей (порядка десятков миллисекунд) обладают параметры биоэлектрической активности головного мозга – ЭЭС. Доказано, что амплитудные и частотные параметры ЭЭС наиболее достоверно характеризуют функциональное состояние человека, а некоторые из них непосредственно связаны со зрительным вниманием [4, 5].

2. Исследование известных устройств измерения информативных параметров ЭЭС

Существует множество устройств измерения информативных параметров ЭЭС и алгоритма обработки ЭЭС в условиях повышенного уровня зашумления [3, 4, 6, 7].

Известно устройство [3], основанное на современных, экспериментально доказанных научных данных о функциональном значении биоэлектрической активности головного мозга и принципах обработки зрительной сенсорной информации для определения физиологического состояния испытуемого. В качестве информативных параметров в известном устройстве [3] используются результаты автоматического (в реальном времени) анализа биопотенциалов мозга испытуемого. Для поддержания высокого уровня бдительности человека-оператора используется техника акустической ЭЭС-обусловленной биологической обратной связи [3].

Другим и наиболее близким решением в области измерения информативных параметров ЭЭС в сложных экстремальных условиях являются устройство и алгоритм его работы, приведенные в [8]. Известное устройство позволяет измерять ЭЭС с головы испытуемого, производить его обработку и сохранять полученные значения в запоминающее устройство или выводить результат на экран монитора. Преимуществом данного устройства измерения информативных параметров ЭЭС является использование адаптивных полосовых фильтров, позволяющее подавлять помехи от движения в реальном масштабе времени. Алгоритм измерения и обработки ЭЭС приведен на рис. 1.

Другое известное устройство приведено в работе [6]. Преимуществом данного устройства является то, что для контроля выхода пилота из контура управления (в условиях экстремальных ситуаций) проводят непрерывную регистрацию и автоматический анализ его ЭЭС непосредственно в процессе деятельности в реальном масштабе времени, в то время как другие известные способы предлагают проводить регистрацию в некотором интервале времени с задержкой обработки результатов измерения.

Разнообразие существующих устройств измерения информативных параметров ЭЭС и алгоритма обработки ЭЭС в условиях повышенного уровня зашумления обусловлено как важностью проблемы, так и отсутствием доста-

точно эффективных подходов ее решения. В настоящее время существует множество устройств измерения и обработки ЭЭС в медицинских целях, но отсутствуют устройства для мониторинга деятельности центральной нервной системы испытуемых в условиях сложных экстремальных ситуаций, которые фиксировали бы отклонения от нормы и предупреждали оператора о физиологическом состоянии его здоровья [9].



Рис. 1. Алгоритм измерения и обработки ЭЭС

Блок-схема известного устройства измерения информативных параметров ЭЭС отражена на рис. 2.

3. Разработка устройства измерения информативных параметров ЭЭС и контроля выхода испытуемого из контура управления

На основе анализа известных устройств измерения информативных параметров ЭЭС [1, 4, 7, 10] предложены новое устройство и алгоритм обработки ЭЭС в условиях повышенного уровня помех для контроля выхода пилота из контура управления.



Рис. 2. Блока-схема известного устройства измерения информативных параметров ЭЭС

Алгоритм обработки ЭЭС представлен на рис. 3, блок-схема предложенного устройства измерения информативных параметров ЭЭС представлена на рис. 4.

Рассмотрим подробнее основные этапы работы устройства. Данное устройство позволяет измерять электрический потенциал на коже головы испытуемого через волосяной покров без какой-либо подготовки кожи головы или нанесения токопроводящего геля между кожей головы и датчиком. Измеренные электрические потенциалы на коже головы предварительно усиливаются с высоким входным импедансом и коэффициентом усиления, фазой и задержкой для формирования измеренных и усиленных замеров электрических потенциалов головного мозга.



Рис. 3. Предложенный алгоритм обработки ЭЭС

На следующем этапе работы устройства осуществляется оцифровка электрического потенциала на коже головы с ограниченной полосой пропускания, применяется для формирования последовательности оцифрованных значений электрического потенциала на коже головы в виде ЭЭС.

Последующая обработка ЭЭС основывается на анализе частотных компонент ЭЭС в реальном масштабе времени с автоматическим сравнительным анализом пороговых частотных значений тэта, альфа и гамма волн в секунду.

Далее согласно работе устройства происходит формирование и сохранение формы ЭЭС с последующей передачей сигнала на экран монитора.



Рис. 4. Блок-схема предложенного устройства измерения информативных параметров ЭЭС

Анализ частотных характеристик ЭЭС проводится в реальном масштабе времени методом периодометрического анализа с определением числа волн тэта, альфа и гамма активностей центральной нервной системы испытуемого с последующим автоматическим сравнительным анализом нормы и

отклонения ЭЭС. Анализатор ЭЭС преобразует комбинацию полученных значений в сенсорный сигнал и подает в автоматическом режиме предупреждающий звуковой сигнал на стерео-гарнитуру, установленную в комнате испытуемого, и световой сигнал на экран монитора. Также согласно предложенной блок-схеме устройства данная информация автоматически передается в диспетчерский (информационный) центр о нарушении работы головного мозга испытуемого.

Заключение

В работе проведен анализ известных решений в области измерения информативных параметров ЭЭС. Разработаны новые блок-схема устройства измерения информативных параметров ЭЭС и алгоритм обработки ЭЭС в условиях повышенного уровня помех при свободной двигательной активности испытуемых в условиях экстремальных ситуаций. Предложенные устройства измерения информативных параметров ЭЭС, в отличие от существующих аналогов, позволяют повысить быстродействие устройства и его оперативность более чем в 2 раза за счет анализа частотных компонент ЭЭС в реальном масштабе времени с автоматическим сравнительным анализом пороговых частотных значений θ , α и γ волн в секунду.

Список литературы

1. Патент № 2539004 Российская Федерация. Способ контроля выхода человека-оператора из контура управления / Изнак А. Ф., Чайнов Н. В. – опубл. 10.01.2015.
2. **Венцевич, Л. Е.** Локомотивные устройства обеспечения безопасности движения поездов и расшифровка информационных данных их работы / Л. Е. Венцевич. – М. : Маршрут, 2006. – 328 с.
3. **Гусельников, В. И.** Ритмическая активность в сенсорных системах / В. И. Гусельников, А. Ф. Изнак. – М. : Изд-во МГУ, 2008. – 198 с.
4. Патент № 2332160 Российская Федерация. Способ исследования электроэнцефалограммы человека и животных / Туровский Я. А., Семенов А. Г., Максимов А. В., Кургалин С. Д. – опубл. 27.08.2008.
5. **Рыбина, И. Я.** Электроэнцефалография / И. Я. Рыбина, Л. А. Коренко, Т. А. Скоромец. – СПб. : Логос, 2004. – 53 с.
6. **Коханов, В. П.** Психиатрия катастроф и чрезвычайных ситуаций (теория и практика) / В. П. Коханов, В. Н. Краснов. – М. : Практическая медицина, 2008. – С. 445–448.
7. Патент № 2444275 Российская Федерация. Способ и устройство определения пространственного положения глаз для вычисления линии взгляда / Шевчик С. А., Величковский Б. М., Величковский Б. Б., Вартанов А. В., Шаповалова В. В. – опубл. 10.03.2012.
8. Патент № 2479252 Российская Федерация. Способ и устройство для измерения электрического потенциала на коже головы / Отто Э., Бонджерс Д. – опубл. 20.04.2013.
9. Специфика и проблемы диагностики психогенных состояний / А. Ю. Тычков, П. П. Чураков, В. Б. Калистратов, А. Н. Тычкова, А. В. Агейкин // Психическое здоровье. – 2015. – № 8 (111). – С. 40–44.
10. **Tychkov, A. Yu.** Development and Study of a Virtual Encephalograph / A. Yu. Tychkov // Biomedical Engineering. – 2015. – Vol. 49, Issue 1, P. 37–41.

References

1. Patent № 2539004 Russian Federation. *Sposob kontrolya vykhoda cheloveka-operatora iz kontura upravleniya* [A method of controlling human-operator's exit from a control loop]. Iznak A. F., Chayanov N. V. Publ. Jan. 10, 2015.
2. Ventsevich L. E. *Lokomotivnye ustroystva obespecheniya bezopasnosti dvizheniya poezdov i rasshifrovka informatsionnykh dannykh ikh raboty* [Locomotive devices of train operation safety and decoding of performance data thereof]. Moscow: Marshrut, 2006, 328 p.
3. Gusel'nikov V. I., Iznak A. F. *Ritmicheskaya aktivnost' v sensorykh sistemakh* [Rhythmic activity in sensor systems]. Moscow: Izd-vo MGU, 2008, 198 p.
4. Patent № 2332160 Russian Federation. *Sposob issledovaniya elektroentsefalogrammy cheloveka i zhivotnykh* [A method of electroencephalogram examination of people and animals]. Turovskiy Ya. A., Semenov A. G., Maksimov A. V., Kurgalin S. D. Publ. Aug. 27, 2008.
5. Rybina I. Ya., Korenko L. A., Skoromets T. A. *Elektroentsefalografiya* [Electroencephalography]. Saint-Petersburg: Logos, 2004, 53 p.
6. Kokhanov V. P., Krasnov V. N. *Psikhiatriya katastrof i chrezvychaynykh situatsiy (teoriya i praktika)* [Disaster and emergency psychiatry (theory and practice)]. Moscow: Prakticheskaya meditsina, 2008, pp. 445–448.
7. Patent № 2444275 Russian Federation. *Sposob i ustroystvo opredeleniya prostanstvennogo polozheniya glaz dlya vychisleniya linii vzglyada* [A method and device for eye spatial position determination to calculate a line of sight]. Shevchik S. A., Velichkovskiy B. M., Velichkovskiy B. B., Vartanov A. V., Shapovalova V. V. Publ. March 10, 2012.
8. Patent № 2479252 Russian Federation. *Sposob i ustroystvo dlya izmereniya elektricheskogo potentsiala na kozhe golovy* [A method and device for electric potential measurement on scalp]. Otto E., Bondzhers D. Publ. Apr. 20, 2013.
9. Tychkov A. Yu., Churakov P. P., Kalistratov V. B., Tychkova A. N., Ageykin A. V. *Psikhicheskoe zdorov'e* [Mental health]. 2015, no. 8 (111), pp. 40–44.
10. Tychkov A. Yu. *Biomedical Engineering*. 2015, vol. 49, issue 1, pp. 37–41.

Тычков Александр Юрьевич

кандидат технических наук, заместитель директора научно-исследовательского института фундаментальных и прикладных исследований, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: tychkov-a@mail.ru

Tychkov Aleksandr Yur'evich

Candidate of engineering sciences, deputy director of the Research Institute of Fundamental and Applied Studies, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Чураков Петр Павлович

доктор технических наук, профессор, кафедра информационно-измерительной техники и метрологии, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: iit@pnzgu.ru

Churakov Petr Pavlovich

Doctor of engineering sciences, professor, sub-department of information-measuring equipment and metrology, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Тычкова Анна Николаевна

начальник инновационно-аналитического отдела, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: tychkov-a@mail.ru

Tychkova Anna Nikolaevna

Head of innovation analytical department, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 57.087

Тычков, А. Ю.

Устройство измерения информативных параметров энцефалографических сигналов в сложных экстремальных условиях / А. Ю. Тычков, П. П. Чураков, А. Н. Тычкова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 4 (36). – С. 79–88.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОТКАЗА ДАТЧИКА УГЛА МАРШЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Аннотация.

Актуальность и цели. Объектом исследования являются датчики угла маршевых двигателей ракет-носителей. Цель работы – определение причин отказа датчиков при проведении периодических испытаний.

Материалы и методы. Исследование проводилось методами растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа, позволившими проанализировать микроструктуру контактной пары датчика и определить химический состав продуктов износа.

Результаты. Были получены данные по износу контактной пары датчика, вызванного попаданием абразивных частиц на рабочую контактную поверхность. На основе полученных данных были сделаны практические рекомендации с целью предотвращения отказов датчика, вызванных повышенным износом его резистивного элемента.

Выводы. В процессе исследования были выявлены причины отказов датчиков, вызванных повышенным износом резистивных элементов из-за попадания абразивных частиц на рабочую контактную поверхность.

Ключевые слова: потенциометр, резистивный элемент, подвижный контакт, контактная пара, износ, продукты износа.

A. I. Tsygankov

INVESTIGATING CAUSES OF ANGLE SENSOR FAILURES IN SUSTAINER ENGINES OF LAUNCH-VEHICLES

Abstract.

Background. The research object is angle sensors sustainer engines of launch-vehicles. The aim of the work is to determine the cause of sensor failures during periodic testing.

Materials and methods. The study was conducted by scanning electron microscopy and X-ray microanalysis that allowed to analyze the microstructure of a contact pairs of a sensor and to determine the chemical composition of wear debris.

Results. The author obtained data on sensor's contact pair wear, caused by appearance of abrasive particles on the working contact surface. Based on the data the researcher made practical recommendations to prevent failures of the sensor, caused by excessive wear and tear of its resistive element.

Conclusions. The study identified the causes of failures of sensors due to increased wear of resistive elements, caused ingress of abrasive particles on the working contact surface.

Key words: potentiometer, resistive element, movable contact, contact pair, wear, wear products.

Введение

В ракетно-космической технике широко используются датчики угла. Из-за жестких условий эксплуатации в качестве датчиков угла на ракетах-носителях, как правило, используются резистивные проволочные потенцио-

метры. Потенциометр является регулируемым делителем электрического напряжения, представляющим собой резистор с подвижным отводным контактом – движком, при этом коэффициент деления потенциометра является функцией угла поворота движка относительно резистивного элемента [1]. Предметом исследования данной статьи является потенциометр П-75, используемый в качестве датчика угла поворота маршевых двигателей ракет-носителей «Союз» и «Протон». С целью подтверждения параметров надежности в соответствии с техническими условиями¹ потенциометры П-75 проходят периодические испытания и в случае отказа в процессе испытания хотя бы одного потенциометра испытания останавливаются до выяснения и устранения причин возникновения отказа.

Основная часть

Несмотря на то, что потенциометры П-75 (рис. 1) изготавливаются с 1966 г. и прошли не один десяток периодических испытаний, иногда случаются их отказы. Один из таких отказов произошел в 2015 г. После 15 тысяч циклов работы произошло резкое уменьшение сопротивления потенциометра. Для выяснения причины отказа потенциометров на предприятии ОАО «НИИЭМП» при помощи растрового электронного микроскопа (РЭМ) [2], снабженного системой рентгеноспектрального микроанализа, было проведено исследование резистивного элемента и подвижного контакта как отказавшего потенциометра, так и потенциометров из той же выборки, прошедших испытание.



Рис. 1. Изображение потенциометра П-75

Первичный осмотр резистивного элемента отказавшего потенциометра подтвердил, что на контактных дорожках действительно имеются продукты износа, удерживаемые смазкой в межвитковом пространстве (рис. 2).

Была выдвинута гипотеза, что причиной уменьшения сопротивления может быть наличие на контактной дорожке продуктов износа контактной пары, которые замыкают витки между собой [3]. Была проведена тщательная промывка резистивного элемента в спирте при помощи кисти с жесткой щет-

¹ ТУ ОДС.534.080 «Потенциометр П-75».

тиной. Однако очистка контактной дорожки от продуктов износа и смазки не вернула сопротивление потенциометра в заданные пределы.

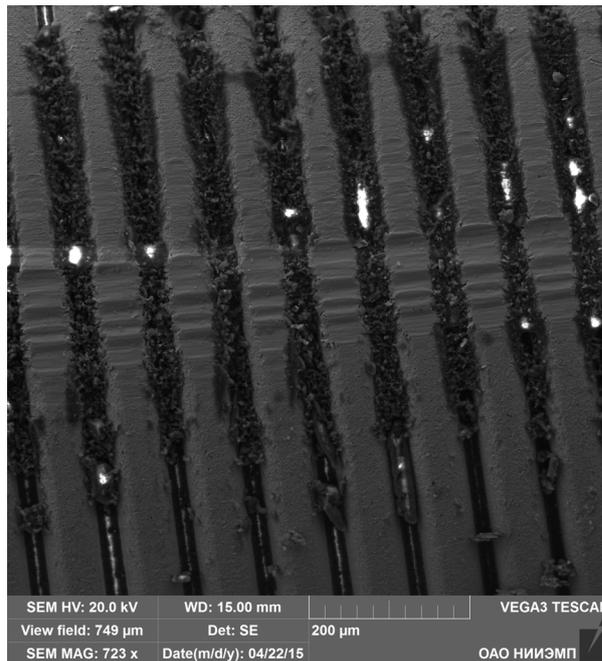


Рис. 2. Изображение резистивного элемента со смазкой, содержащей частицы износа, полученное при помощи РЭМ

После этого был проведен повторный осмотр резистивного элемента при помощи РЭМ, который показал, что резистивная проволока имеет значительные деформации в месте соприкосновения с подвижным контактом. В результате чего возникают наплывы материала проволоки в межвитковом пространстве, похожие на заусенцы (рис. 3), образующиеся при механической обработке металлов. Эти заусенцы удерживают свободные частицы износа и препятствуют их удалению. Таким образом, между витками проволоки образуются перемычки, что и приводит к уменьшению сопротивления резистивного элемента. В процессе очистки удалить эти заусенцы при помощи кисти не получается, так как они имеют значительную жесткость.

Изучение резистивных элементов потенциометров из той же выборки, прошедших испытание, не выявило такого характера износа проволоки, как у бракованного образца.

Одной из возможных причин такого износа резистивной проволоки могло стать превышение давления контактной пружины. Однако эта величина строго оговорена требованиями технических условий и тщательно контролировалась в процессе сборки.

Второй наиболее вероятной причиной износа резистивной проволоки мог быть некачественный материал контактной пружины. При нарушении химического состава контактной пружины она могла иметь излишнюю твердость, что, в свою очередь, привело бы к увеличению износа резистивной проволоки. Для проверки данной гипотезы был проведен рентгеноспектральный микроанализ контактных пружин, который не выявил отклонений в хи-

мическом составе марки материала, из которого были изготовлены контактные пружины. Однако в процессе проведения микроанализа были найдены посторонние включения в материал контактных пружин (рис. 4).

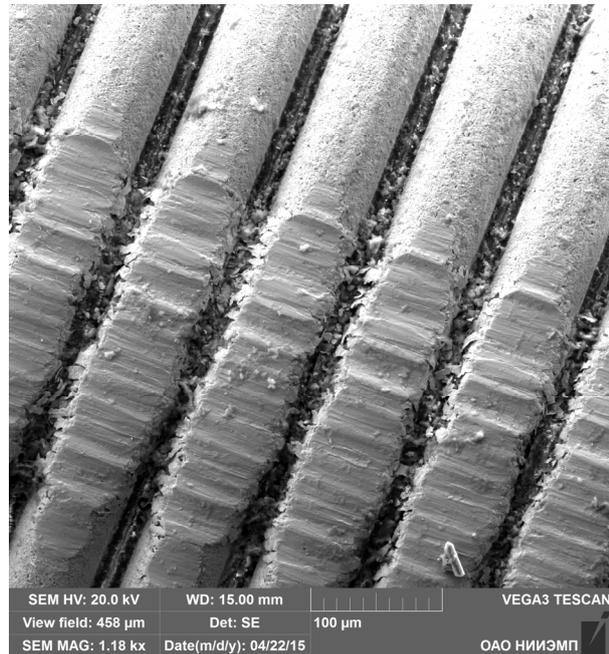


Рис. 3. Изображение резистивного элемента после очистки, полученное при помощи РЭМ

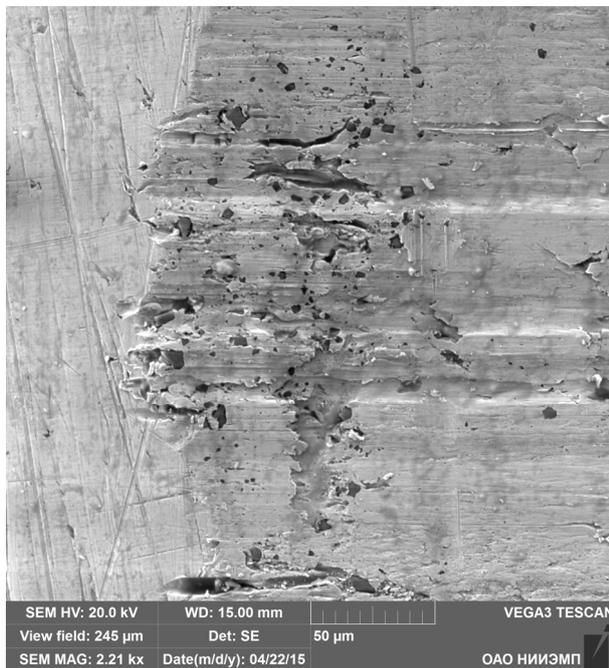


Рис. 4. Изображение контактной пружины с посторонними включениями, полученное при помощи РЭМ

Анализ химического состава включений в материале пружин показал (рис. 5), что это кристаллы оксида алюминия (корунд), которые применяются для зачистки проволоки от изоляции в процессе изготовления.

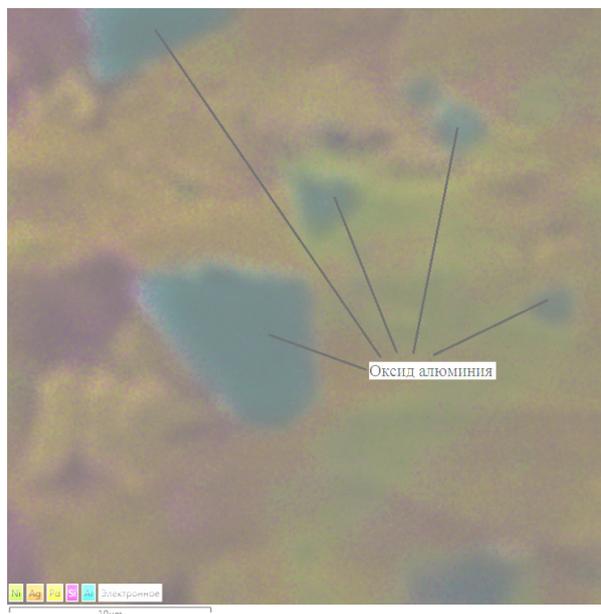


Рис. 5. Карта распределения химических элементов в контактной пружине, полученная при помощи РЭМ

Несмотря на то, что в процессе изготовления резистивной проволоки предусмотрены процедуры его очистки, частицы оксида алюминия не только остались на его поверхности, но и проникли в матрицу основного материала контактной пружины. Таким образом, контактная пружина была снабжена абразивными частицами, которые вызвали повышенный износ резистивной проволоки. При этом от резистивной проволоки стали отделяться частицы, покрытые слоем окислов, так как условия для этого благоприятны: происходит сильная деформация частиц в процессе трения, что приводит к их повышенному окислению (фрикционное окисление) [4]. Любая частица металла, полученная за счет его износа, может стать абразивной, особенно если она затвердела за счет наклепа или окислилась. А из-за того что частицы износа обладают большей твердостью, чем основной металл, они, выступая в качестве дополнительного абразивного материала, увеличивают износ контактной пружины и проволоки еще больше. При этом применяемая смазка удерживает и накапливает все большее количество абразивных частиц, мешая им упасть с поверхности контактной дорожки, что также увеличивает износ контактной пары.

Заключение

Проведенное исследование позволило выявить причины отказа потенциометра П-75. С целью предотвращения повторения подобных отказов предприятию-изготовителю потенциометров П-75 были даны следующие рекомендации:

1. Следует проводить более тщательную очистку резистивного элемента от посторонних частиц. Для этих целей рекомендуется применять многоэтапную промывку резистивного элемента с использованием различных типов моечных машин (ультразвуковые, струйные) с последующей продувкой сжатым обеспыленным воздухом. После операций очистки следует проводить контроль каждого резистивного элемента при помощи микроскопа при большом увеличении.

2. Следует подобрать оптимальные размеры формы контактной пружины, а также определить минимальное допустимое давление контактной пружины на резистивную проволоку, что может снизить износ контактной пары потенциометра при сохранении его надежной работы в течение всего срока службы.

3. Следует изучить возможность применения способов зачистки резистивной проволоки от изоляции без применения абразивных порошков. В качестве альтернативных способов снятия изоляции может подойти химическая, ультразвуковая или лазерная зачистка.

4. Следует рассмотреть возможность неприменения смазки для контактной пары, так как это обеспечит более легкое удаление продуктов износа с контактной дорожки потенциометра. Относительно малый ресурс работы потенциометра, всего 15 тысяч циклов, позволяет это сделать.

5. Следует рассмотреть возможность исключения операции зачистки резистивной проволоки от изоляции из технологического процесса изготовления потенциометра. Это возможно сделать при помощи замены проволоки с изоляцией на проволоку без изоляции, однако при этом придется строго выдерживать шаг намотки с последующим контролем качества раскладки проволоки по каркасу.

Список литературы

1. **Белевцев, А. Т.** Потенциометры / А. Т. Белевцев. – М. : Машиностроение, 1968. – 328 с.
2. **Недорезов, В. Г.** Особенности контроля микроструктур методами электронной микроскопии / В. Г. Недорезов, А. И. Цыганков // Надежность и качество : тр. Междунар. симпозиума / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2014. – Т. 2. – С.
3. **Кузнецов, Е. А.** О причинах устойчивого нарушения контакта потенциометров / Е. А. Кузнецов // *Авиационная промышленность*. – 1965. – № 2.
4. **Крагельский, И. В.** Трение и износ / И. В. Крагельский. – М. : Машгиз, 1962. – 384 с.

References

1. Belevtsev A. T. *Potentsiometry* [Potentiometers]. Moscow: Mashinostroenie, 1968, 328 p.
2. Nedorezov V. G., Tsygankov A. I. *Nadezhnost' i kachestvo: tr. Mezhdunar. simpoziuma* [Reliability and quality: proceedings of the International symposium]. Penza: Izd-vo PGU, 2014, vol. 2, S.
3. Kuznetsov E. A. *Aviatsionnaya promyshlennost'* [Aircraft industry]. 1965, no. 2.
4. Kragel'skiy I. V. *Trenie i iznos* [Friction and wear]. Moscow: Mashgiz. 1962, 384 p.

Цыганков Алексей Игоревич

аспирант, Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: cygankv-aleksejj@rambler.ru

Tsygankov Aleksey Igorevich

Postgraduate student, Penza State
University (40 Krasnaya street, Penza,
Russia)

УДК 629.7.05

Цыганков, А. И.

Исследование причин отказа датчика угла маршевых двигателей ракет-носителей / А. И. Цыганков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 4 (36). – С. 89–95.

АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ИММИТАНСА ДЛЯ УНИФИЦИРОВАННОГО КАНАЛА ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Аннотация

Актуальность и цели. При разработке информационно-измерительных и управляющих систем часто возникают задачи определения свойств материальных объектов, в частности диэлектрических, магнитных, электрохимических, биологических. Наиболее информативной характеристикой таких объектов является иммитанс (комплексное сопротивление или проводимость), определяющий реакцию объекта на гармоническое электрическое воздействие. Иммитанс выражается через ряд своих параметров, которые функционально связаны с параметрами объекта измерения (управления). Для измерения каждого параметра иммитанса разрабатывается специализированный измерительный канал системы. Цель исследования – разработка унифицированного канала информационно-измерительных и управляющих систем для измерения методом иммитансометрии различных параметров широкого круга объектов измерения и управления.

Материалы и методы. Исследование выполнено методом моделирования путем синтеза и анализа электрических и математических моделей объекта иммитансометрии и структурной модели канала информационно-измерительных и управляющих систем.

Результаты. Предложена комбинированная модель, объединяющая электрическую модель объекта иммитансометрии и математическую модель в виде совокупности уравнений связи, составляющих комплексного сопротивления объекта и его искомых параметров. Синтезирована структурная схема унифицированного канала измерения параметров объекта измерения (управления) методом иммитансометрии на основе измерительной схемы, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) иммитанса и вычислительного устройства канала. АЦП иммитанса состоит из АЦП напряжения, АЦП фазового сдвига, АЦП температуры, цифроаналогового преобразователя для формирования гармонического напряжения питания измерительной схемы и вычислительного устройства.

Выводы. Использование комбинированной модели объекта измерения (управления) вместо модели в виде многоэлементной линейной двухполюсной электрической цепи позволит существенно расширить область применения иммитансометрии в науке и технике, поскольку открывается возможность измерения параметров нелинейных объектов и объектов с термозависимым иммитансом. Предложенная структура АЦП иммитанса, включающая в себя АЦП напряжения, АЦП фазового сдвига, АЦП температуры и цифроаналогового преобразователя гармонического напряжения, при реализации по интегральной технологии позволит унифицировать аппаратную часть каналов измерения иммитанса информационно-измерительных и управляющих систем, эффективно используя вычислительные средства канала при решении измерительных задач. При разработке АЦП напряжения и АЦП фазового сдвига за основу следует принять структуру преобразователей информации с сигма-дельта-архитектурой, которые в настоящее время обладают наивысшей линейностью функции преобразования и могут быть полностью реализованы по интегральной технологии.

Ключевые слова: аналого-цифровой преобразователь, информационно-измерительная система, управляющая система, иммитанс, иммитансометрия, цифровая обработка сигнала, сигма-дельта-архитектура.

V. N. Ashanin, V. A. Baranov, E. A. Lomtev, B. V. Tsypin

AN ANALOG-TO-DIGITAL IMMITANCE CONVERTER FOR A UNIFORM CHANNEL OF INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

Abstract.

Background. In development of information and measurement and control systems there often occur problems of determining properties of material objects, in particular, dielectric, magnetic, electrochemical, biological objects. The most informative characteristic of such objects is immitance (impedance or conductivity), which reflects object's reaction on the harmonic electric effect. Immitance expressed in terms of quite a few of parameters which are functionally related to the parameters of measured (controlled) object. A special measuring channel of a system must be developed to measure each parameter of an object. The purpose of the work is to develop a unified information channel of measurement and control systems to measure various parameters of immitance of a measured object or of a controlled object.

Materials and methods. The research was performed using the methods of simulation through the analysis and synthesis of a mathematical model of an electrical object and a structural model of a channel of information-measuring and control systems.

Results. The combined model was developed, which embraced the electrical model and the mathematical model of the object as a set of equations. Those equations link components of the complex impedance of the object and its required parameters. A block diagram of the unified channel for measurement of parameters of the measured object (controlled object) was synthesized. The unified channel consists of a measuring circuit, an analog-digital converter (ADC) of immitance and a channel computing device. The immitance ADC consists of ADC voltage, ADC phase shift, ADC temperature, a digital - analog converter for generating harmonic voltage and a computing device.

Conclusions. The usage of the combined model of an object instead of a model in the form of a multi-element linear electrical circuit significantly expands the scope of immitance measurement in science and technology, as it opens a possibility of measuring parameters of non-linear objects and objects with immitance, which depends on temperature. The proposed structure of the immitance ADC can be realized by the integrated or hybrid technology. This will standardize hardware of measuring channels of measurement and control systems. A sigma-delta architecture of ADC has the highest linearity of conversion function and can be completely implemented by the integrated technology. This is the reason why this architecture should be used as a basis for design of voltage ADC and phase shift ADC.

Key words: analog-to-digital converter, information-measuring system, control system, immitance, immitance measurement, digital signal processing, sigma-delta architecture.

Введение

При разработке информационно-измерительных и управляющих систем часто возникают задачи определения свойств материальных объектов,

в частности диэлектрических, магнитных, электрохимических, биологических. Наиболее информативной характеристикой таких объектов является иммитанс, который определяется как составом и структурой материала, так и внешними условиями, которые влияют на параметры объекта измерения или управления (температура, давление, влажность и т.д.).

Иммитанс, комплексное сопротивление \dot{Z} (импеданс), или проводимость \dot{Y} (адмиттанс), описывает реакцию объекта на гармоническое электрическое воздействие

$$u(t) = U_m \sin \omega t \Rightarrow U_m e^{j\omega t} = \dot{U}_m,$$

где U_m и ω – амплитудное значение и круговая частота напряжения; t – время.

Математическая модель импеданса имеет четыре основные формы:

$$\dot{Z} = \frac{1}{\dot{Y}} = |\dot{Z}| e^{j\varphi} = R + jX = X(\operatorname{tg} \delta \pm j) = X \left(\frac{1}{Q} \pm j \right),$$

где $|\dot{Z}|$ – модуль комплексного сопротивления; φ – аргумент комплексного сопротивления (фазовый сдвиг между напряжением на объекте измерения и током через него); $R = |\dot{Z}| \cos \varphi$ и $X = |\dot{Z}| \sin \varphi$ – активная и реактивная составляющие комплексного сопротивления; $\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{R}{X}$ – тангенс угла потерь; $Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}$ – добротность.

В настоящее время моделью объекта измерения иммитанса является линейная пассивная многоэлементная двухполюсная электрическая цепь (ДЭЦ), составляемая из пассивных электрических сопротивлений, емкостей и индуктивностей [1].

В операторной форме иммитанс ДЭЦ определяется как коэффициент пропорциональности между изображениями по Лапласу напряжения $U(p)$, приложенного к ДЭЦ, и протекающего через нее тока $I(p)$:

$$U(p) = Z(p)I(p) \text{ или } I(p) = Y(p)U(p),$$

где $Z(p)$ и $Y(p)$ – операторные сопротивление и проводимость цепи; p – оператор преобразования Лапласа.

Аналитическое выражение $Z(p)$ представляют собой дробно-рациональную операторную функцию и является математической моделью ДЭЦ:

$$Z(p) = \frac{c_n p^n + c_{n-1} p^{n-1} + \dots + c_1 p + c_0}{c_{2n} p^n + c_{2n-1} p^{n-1} + \dots + c_{n-1} p},$$

где $c_i = u_i(x)$ – непрерывно дифференцируемые функции параметров x_i ; $x_i = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор параметров ДЭЦ; n – число независимых контуров двухполюсника [2].

Значения сопротивления R , емкости C , индуктивности L соответствующих элементов ДЭЦ определяют частотно независимые коэффициенты полиномов числителя и знаменателя и подлежат определению в процессе измерительного эксперимента. Существует однозначное соответствие между составом и структурой ДЭЦ и ее иммитансом.

1. Выбор математической модели двухполюсной электрической цепи

Основными требованиями к модели являются адекватность (соответствие объекту), простота для пользователя и ингерентность (степень согласованности модели с научной средой, в которой она используется) [3]. Электрическая модель в виде многоэлементной линейной пассивной ДЭЦ полностью адекватна объекту исследования только при измерениях параметров пассивных электронных компонентов, например при поэлементном контроле узлов электронной аппаратуры [4, 5]. Во всех других областях использования импедансометрии с большей или меньшей остротой возникает проблема адекватности параметров модели в виде ДЭЦ исследуемым свойствам объекта измерения или управления.

У большого числа объектов иммитансометрии в выражении для амплитудно-фазовой характеристики (АФХ) частота имеет дробную степень в диапазоне $\{0,1\}$. Так, наиболее общей моделью АФХ относительной диэлектрической проницаемости $\dot{\epsilon}$ является уравнение Гаврильяка – Негами [6]:

$$\dot{\epsilon} = \frac{\epsilon_S - \epsilon_D}{\left[1 + (j\omega\tau_0)^{1-\alpha}\right]^{1-\beta}},$$

где ϵ_D – оптическая (динамическая) диэлектрическая проницаемость ($\omega \gg 1/\tau_0$); ϵ_S – статическая диэлектрическая проницаемость ($\omega \rightarrow 0$); τ_0 – наиболее вероятное значение времени релаксации; α – коэффициент распределения, $\alpha \in \{0,1\}$; β – коэффициент несимметричности, $\beta \in \{0,1\}$.

Оценивание относительной диэлектрической проницаемости $\dot{\epsilon} = \epsilon_1 - j\epsilon_2$ объекта из диэлектрического материала может осуществляться путем помещения его в диэлькометрический датчик (воздушный конденсатор с известной емкостью C_0). Здесь ϵ_1 – диэлектрическая проницаемость, ϵ_2 – диэлектрические потери.

При использовании в качестве электрической модели диэлектрической среды двухэлементной резистивно-емкостной ДЭЦ с параллельным соединением элементов модель диэлькометрического датчика с объектом измерения имеет вид, представленный на рис. 1.

Комплексное сопротивление \dot{Z}_X датчика можно представить в виде

$$\dot{Z}_X = \frac{1}{j\omega C_0(\epsilon_1 - j\epsilon_2)} = \frac{1}{\omega C_0\epsilon_2 + j\omega C_0\epsilon_1}.$$

Комплексное сопротивление моделирующей ДЭЦ определяется выражением

$$\dot{Z}_M = \frac{1}{1/R_X + j\omega(C_0 + C_X)}$$

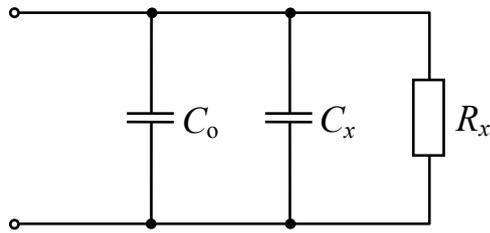


Рис. 1. ДЭЦ, моделирующая диэлектрический датчик с объектом измерения

Равенство $Z_X = Z_M$ имеет место при одновременном выполнении равенств $\omega C_0 \varepsilon_2 = 1/R_X$ и $\omega C_0 \varepsilon_1 = \omega(C_0 + C)$. Отсюда $\varepsilon_1 = (C_0 + C)/C_0$ и $\varepsilon_2 = 1/\omega R_X C_X = 1/\omega \tau_X$. Таким образом, модель диэлектрической среды в виде двухэлементной ДЭЦ позволяет оценить составляющие относительной диэлектрической проницаемости при определенной частоте приложенного гармонического напряжения. Однако АФХ относительной диэлектрической проницаемости при использовании этой модели не соответствует уравнению Гаврильяка – Негами.

В связи с этим в ДЭЦ, моделирующую объект исследования, часто вводятся виртуальные элементы в виде программно реализуемых математических моделей: элемент W (импеданс Варбурга), элемент G (импеданс Геришера), элемент CPE (импеданс постоянной фазы) [7].

Импеданс Варбурга определяется выражением

$$\dot{Z}_W = \frac{A_W}{\omega^{0,5}} - j \frac{A_W}{\omega^{0,5}},$$

где A_W – коэффициент Варбурга, Ом/с^{0,5},

$$A_W = \frac{N\Theta}{\sqrt{2}n^2FA} \left[\frac{1}{\sqrt{D_O}C_{S,O}} + \frac{1}{\sqrt{D_O}C_{S,R}} \right],$$

где N – универсальная газовая постоянная; Θ – абсолютная температура; F – постоянная Фарадея; A – площадь поверхности электрода; D_O – коэффициент диффузии электроактивных слоев, $C_{S,O}$, $C_{S,R}$ – поверхностные концентрации окисированной и ослабленной форм. Импеданс Варбурга часто используется при моделировании объектов с существенной зависимостью иммитанса от температуры.

Импеданс Геришера имеет два параметра Y_G и K_G и задается выражением

$$\dot{Z}_G = \left(Y_G \cdot (K_G + j\omega)^{0,5} \right)^{-1}.$$

Импеданс постоянной фазы описывается выражением

$$\dot{Z}_{CPE} = \frac{1}{(j\omega)^k C},$$

где C – электрическая емкость; k – безразмерный показатель степени, $0 < k \leq 1$.

При $k = 1$ CPE -элемент эквивалентен электрической емкости и создает фазовый сдвиг тока относительно напряжения 90° . При $k < 1$ CPE -элемент сохраняет постоянный фазовый сдвиг меньше 90° при изменениях частоты воздействия.

Необходимость использования этих и других, в том числе нелинейных и термозависимых, виртуальных элементов в электрических моделях обусловлена следующими проблемами, возникающими при исследованиях объектов и процессов различной природы методом иммитансометрии:

– невозможность синтеза модели в виде ДЭЦ, адекватной по АФХ объекту исследования, поскольку амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) объектов в ряде областей исследования имеет спад с крутизной менее 20 дБ/дек ($1/\omega$);

– у ряда видов физических объектов имеет место существенная нелинейность иммитанса, т.е. его зависимость от амплитуды приложенного гармонического напряжения;

– модель в виде ДЭЦ не отражает зависимость исследуемых свойств объекта от условий, в которых находится объект, прежде всего температуры, что на практике всегда имеет место в той или иной степени.

Анализ проблем исследования объектов различной природы методом иммитансометрии позволил сформулировать следующие задачи, требующие решения при проектировании каналов измерения иммитанса информационно-измерительных и управляющих систем:

– синтез модели объекта измерения иммитанса, пригодной для использования в любой области науки и техники;

– синтез структурной схемы аналого-цифрового преобразователя (АЦП), позволяющего осуществлять совокупное и совместное преобразование составляющих иммитанса, действующего значения и частоты гармонического напряжения на объекте, температуры объекта и других величин, влияющих в общем случае на иммитанс.

В качестве универсальной модели объекта иммитансометрии предлагается комбинированная модель [8]. Модель является комбинацией электрического и математического компонентов. Электрический компонент представляет собой двухполюсный элемент с комплексным сопротивлением $\dot{Z} = R + jX$, а математический компонент – систему уравнений связи между составляющими комплексного сопротивления R , X и искомыми параметрами объекта исследования. На рис. 2 представлен электрический компонент комбинированной модели диэлькометрического датчика с объектом измерения.

Электрический компонент комбинированной модели, в отличие от моделей в виде многоэлементной ДЭЦ, остается неизменным при решении измерительных задач, отличающихся видом и числом определяемых парамет-

ров объекта. Изменениям подвергается только математический компонент, но поскольку он реализуется программно, это не ограничивает универсальность устройства для измерения иммитанса.

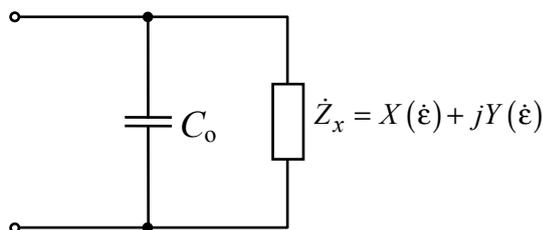


Рис. 2. Электрический компонент комбинированной модели дельтометрического датчика с объектом измерения

Комбинированная модель объекта ингерентна иммитансометрии, поскольку процедура измерения составляющих иммитанса объекта эквивалентна процедуре измерения параметров элементов двухэлементной ДЭЦ при известной частоте гармонического напряжения на объекте. Адекватность комбинированной модели объекту измерений и ее ингерентность конкретной области исследований при внедрении иммитансометрии достигается использованием математических моделей, уже используемых в данной области знания.

2. Разработка унифицированного канала измерения иммитанса для информационно-измерительных и управляющих систем

Для измерений импеданса разработано достаточно большое количество реальных и виртуальных измерительных устройств [9, 10]. Однако существующие средства измерений не позволяют решить ряд измерительных задач, возникающих при расширении сферы использования иммитансометрии. Дальнейшее расширение номенклатуры средств измерений данного вида не решит, а лишь усугубит проблему. Наиболее перспективным путем представляется разработка универсального устройства для измерений иммитанса, первый этап которой должен состоять в синтезе универсальных моделей объекта и процесса измерения иммитанса.

Возможность разработки унифицированной аппаратной части канала измерения методом иммитансометрии для информационно-измерительных и управляющих систем основывается на адекватности и ингерентности комбинированной модели для всех областей применения иммитансометрии, неизменности электрического компонента, возможности использования математических моделей непосредственно в процессе измерения благодаря применению цифровых методов обработки измерительной информации средствами вычислительной техники.

Учитывая также, что физические процессы в объектах исследования являются непрерывными во времени, известные преимущества обработки информации в цифровом виде преопределили тенденцию преобразования измерительных сигналов в цифровую форму на возможно ранних стадиях процедуры измерения [11]. Это нашло отражение при разработке структурной схемы унифицированного канала информационно-измерительных и

управляющих систем для измерения параметров объекта исследования (управления) методом иммитансометрии, представленной на рис. 3.

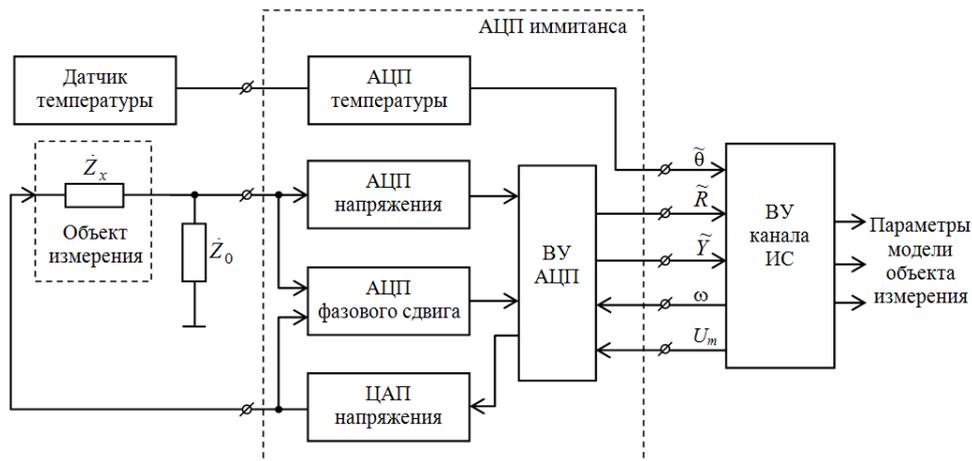


Рис. 3. Структурная схема унифицированного канала информационно-измерительных и управляющих систем для измерения параметров объекта исследования (управления) методом иммитансометрии

Унифицированный канал состоит из следующих основных компонентов:

- измерительная схема в виде делителя напряжения, как показано на рис. 3, или моста переменного тока, образуемая электрически соединенными объектом измерения (управления) в виде двухполюсника с сопротивлением \dot{Z}_x и опорной ДЭЦ с сопротивлением \dot{Z}_0 , которое может быть как регулируемым, так и нерегулируемым;

- АЦП иммитанса, включающий АЦП действующего значения гармонического напряжения, АЦП фазового сдвига напряжений на элементах измерительной схемы, АЦП температуры и вычислительное устройство (ВУ), осуществляющее вычисление составляющих иммитанса по значениям амплитуды и фазового сдвига напряжений на элементах измерительной схемы;

- программируемое вычислительное устройство (ВУ канала), осуществляющее вычисление значений искомых параметров объекта исследования или управления в соответствии с математическим компонентом комбинированной модели по значениям кодов результатов преобразования составляющих иммитанса и температуры и заданным ВУ канала информационно-измерительной или управляющей системы частоте и амплитуде гармонического напряжения на объекте измерения.

АЦП иммитанса функционирует в составе измерительного канала информационно-измерительной или управляющей системы следующим образом. ВУ канала передает ВУ АЦП информацию об амплитуде U_m и частоте ω гармонического напряжения питания $u_X(t)$ измерительной схемы. ВУ задает эти параметры подпрограмме управления цифроаналоговым преобразователем (ЦАП) и формирует сигнал начала генерирования напряжения питания. На входы АЦП иммитанса начинают поступать выходное напряжение

$u_X(t)$ измерительной схемы и выходной сигнал датчика температуры объекта исследования обычно также в виде напряжения. Выходными сигналами АЦП являются коды значений составляющих R и X иммитанса \dot{Z}_X и температуры Θ объекта измерения.

Очевидно, что область применения унифицированного канала будет расширяться по мере повышения точности измерения составляющих иммитанса. В связи с этим при разработке АЦП напряжения и АЦП фазового сдвига за основу следует принять структуру преобразователей информации с $\Sigma\Delta$ -архитектурой, которые обладают уникальными метрологическими и эксплуатационными характеристиками: высокими линейностью функции преобразования и помехоустойчивостью, низким энергопотреблением [12, 13]. Однако при этом необходимо учитывать, что они относятся к сигнальным АЦП и имеется проблема привязки результата измерения к моменту окончания процедуры измерения, возникающая из-за цифровой фильтрации выходного сигнала $\Sigma\Delta$ -модулятора [14]. Возможным вариантом исключения этой проблемы видится применение ΣT -АЦП [12, 15, 16].

Измерение составляющих иммитанса при алгебраической форме представления комплексной величины $\dot{Z} = R + jX$ можно рассматривать как совокупные измерения однородных величин R и X , при показательной форме – как совместные измерения разнородных величин $|\dot{Z}|$ и φ . Снять различие между совместными и совокупными измерениями в отношении размерности при разработке универсального измерителя и свести все измерения к совокупным позволяет переход от абсолютных измерений к относительным. При относительных измерениях все величины являются безразмерными. Отличительной особенностью совместных измерений является математическая модель в виде системы уравнений измерения, число которых не меньше числа измеряемых величин. Показательная форма комплексного числа представляется предпочтительной для относительных измерений, поскольку аргумент φ уже является относительной величиной:

$$\varphi = \frac{2\pi\Delta T}{T} = \omega\Delta T,$$

где ΔT – длительности интервала времени между равными мгновенными фазами периодических сигналов равной частоты; T – длительность периода гармонических сигналов.

Измерение аргумента φ комплексного сопротивления осуществляется АЦП фазового сдвига путем аналого-цифрового преобразования длительности ΔT интервала времени между равными мгновенными фазами напряжения питания измерительной схемы и напряжения на опорной ДЭЦ. Результат этого аналого-цифрового преобразования $N_{\Delta T} = \Delta T/1T$ и код $N_T = T/1T$ периода T гармонических напряжений используются для формирования кода $N_\varphi = 2\pi N_{\Delta T}/N_T$ аргумента φ .

Аналого-цифровое преобразование при относительном измерении модуля комплексного сопротивления определяется выражением

$$N_Z = \frac{|\dot{Z}_X|/1_Z}{|\dot{Z}_0|/1_Z},$$

где \dot{Z}_0 – известное комплексное сопротивление опорной ДЭЦ с модулем $|\dot{Z}_0|$ и аргументом φ_0 , 1_Z – единица комплексного сопротивления, Ом.

Единица 1_Z комплексного сопротивления может быть определена в трех формах:

$$1_Z = 1_{ZR} = 1_{ZC} = 1_{ZL},$$

где 1_{ZR} – единица с размерностью [ОмГцГц⁻¹], производная от единицы 1_R сопротивления R ; 1_{ZC} – единица с размерностью [Гц⁻¹С⁻¹], производная от единицы 1_C емкости C ; 1_{ZL} – единица с размерностью [ГцГн], производная от единицы 1_L индуктивности L .

Если комплексное сопротивление объекта нелинейно, единице 1_Z приписывается размерность [ОмГцГц⁻¹ВВ⁻¹]. В случаях, когда комплексное сопротивление объекта термозависимо, единице 1_Z приписывается размерность [ОмГцГц⁻¹ΘΘ⁻¹] и т.д.

Размерность, приписываемая единице комплексного сопротивления, указывает, мера какой пассивной электрической величины используется для воспроизведения единицы. Размерность, приписываемая значениям составляющих комплексного сопротивления, указывает, что они получены при приложении к объекту измерения гармонического напряжения и должны сопровождаться значениями величин, составивших размерность (частота напряжения, амплитуда напряжения, температура объекта измерения и т.д.) и влиявших на объект исследования в процессе измерения.

В задачах, где требуется определение трех и более параметров объекта исследования, связанных с иммитансом, дополнительные уравнения измерения могут синтезироваться следующими способами:

- изменение параметров элементов опорной ДЭЦ измерительной схемы;
- изменение частоты гармонического напряжения, приложенного к объекту;
- изменение амплитуды гармонического напряжения, приложенного к объекту (при нелинейности объекта исследования);
- изменение температуры объекта исследования;
- изменение других величин, влияющих на иммитанс объекта исследования.

Заключение

Использование комбинированной модели объекта измерения (управления) вместо модели в виде многоэлементной линейной ДЭЦ позволит существенно расширить область применения иммитансометрии в различных областях науки и техники, поскольку открывается возможность измерения пара-

метров нелинейных объектов, объектов, имеющих не дробно-полиномиальную АЧХ, объектов с термозависимым иммитансом.

Предложенная структура АЦП иммитанса, включающая в себя АЦП напряжения, АЦП фазового сдвига, АЦП температуры и ЦАП гармонического напряжения, при реализации по интегральной технологии позволит унифицировать аппаратную часть каналов измерения иммитанса информационно-измерительных и управляющих систем, эффективно используя вычислительные средства канала при решении измерительных задач.

При разработке АЦП напряжения и АЦП фазового сдвига за основу следует принять структуру преобразователей информации с сигма-дельта-архитектурой, которые в настоящее время обладают наивысшей точностью преобразования и могут быть полностью реализованы по интегральной технологии.

Список литературы

1. **Мартяшин, А. И.** Преобразователи электрических параметров для систем контроля и измерения / А. И. Мартяшин, Э. К. Шахов, В. М. Шляндин. – М. : Энергия, 1976. – 392 с.
2. **Кнеллер, В. Ю.** Определение параметров многоэлементных двухполюсников / В. Ю. Кнеллер, Л. П. Боровских. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.
3. **Новиков, А. М.** Методология / А. М. Новиков, Д. А. Новиков. – М. : СИНТЕГ, 2007. – 668 с.
4. **Цыпин, Б. В.** Методы диагностики и измерительные преобразователи для приборов и систем контроля узлов электронной аппаратуры : учеб. пособие / А. И. Мартяшин, Б. В. Цыпин. – Пенза : Изд-во ППИ, 1989. – 80 с.
5. **Мартяшин, А. И.** Методы поэлементного контроля электронных схем: Обзорная информация / А. И. Мартяшин, Л. В. Орлова, Б. В. Цыпин. – Вып. 1. – М. : ЦНИИТЭИ приборостроения, 1983. – 32 с. – (Серия ТС-5. Приборы, средства автоматизации и системы управления).
6. **Ахадов, Я. Ю.** Диэлектрические параметры чистых жидкостей / Я. Ю. Ахадов. – М. : Изд-во МАИ, 1999. – 856 с.
7. URL: <http://www.abc.chemistry.bsu.by/vi/analyser/parameters.html>.
8. **Баранов, В. А.** Измерения параметров композиционных диэлектрических материалов / В. А. Баранов. – Пенза : Инф.-изд. центр ПензГУ, 2008. – 124 с.
9. **Добровинский, И. Р.** Проектирование ИИС для измерения параметров электрических цепей / И. Р. Добровинский, Е. А. Ломтев. – М. : Энергоатомиздат, 1997. – 120 с.
10. **Цыпин, Б. В.** Измерение импедансов системами с ЭВМ / Б. В. Цыпин. – Пенза : ПГУ, 2001. – 100с.
11. **Ашанин, В. Н.** Проблемы теории анализа и синтеза средств измерений гетерогенной структуры / В. Н. Ашанин // Датчики и системы. – 2011. – № 7. – С. 2–7.
12. **Ашанин, В. Н.** $\Sigma\Delta$ -аналого-цифровые преобразователи: основы теории и проектирование : моногр. / В. Н. Ашанин, Б. В. Чувькин, Э. К. Шахов. – Пенза : Инф.-изд. центр ПенГУ, 2009. – 188 с.
13. **Ашанин, В. Н.** Анализ состояния и тенденций производства интегральных преобразователей информации с $\Sigma\Delta$ -архитектурой / В. Н. Ашанин, Б. В. Чувькин, А. А. Коротков, И. А. Сидорова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2014. – № 1 (29). – С. 26–35.
14. **Ашанин, В. Н.** Метод определения длительности переходного процесса в $\Sigma\Delta$ -АЦП с однобитным Δ -модулятором высокого порядка / В. Н. Ашанин, Б. В. Чувькин, Р. Г. Тер-Аракелян // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 3 (15). – С. 70–81.

15. Шахов, Э. К. Реализация концепций $\Sigma\Delta$ -АЦП в интегрирующих АЦП с другими видами импульсной модуляции / Э. К. Шахов, В. Н. Ашанин, А. И. Надеев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Сер. Технические науки. – 2006. – № 6. – С. 226–236.
16. Ашанин, В. Н. Теория интегрирующего аналого-цифрового преобразования : моногр. / В. Н. Ашанин, Б. В. Чувькин, Э. К. Шахов. – Пенза : Инф.-изд. центр ПензГУ, 2009. – 214 с.

References

1. Martyashin A. I., Shakhov E. K., Shlyandin V. M. *Preobrazovateli elektricheskikh parametrov dlya sistem kontrolya i izmereniya* [An electrical parameters converter for measuring and control systems]. Moscow: Energiya, 1976, 392 p.
2. Kneller V. Yu., Borovskikh L. P. *Opredelenie parametrov mnogoelementnykh dvukhpolyusnikov* [Determination of parameters of multi-element two-terminal devices]. Moscow: Energoatomizdat, 1986, 144 p.
3. Novikov A. M., Novikov D. A. *Metodologiya* [Methodology]. Moscow: SIN-TEG, 2007, 668 p.
4. Tsylin B. V., Martyashin A. I. *Metody diagnostiki i izmeritel'nye preobrazovateli dlya priborov i sistem kontrolya uzlov elektronnoy apparatury: ucheb. posobie* [Diagnostics and measuring converters for electronic equipment's node control systems and devices]. Penza: Izd-vo PPI, 1989, 80 p.
5. Martyashin A. I., Orlova L. V., Tsylin B. V. *Metody poelementnogo kontrolya elektronnykh skhem: Obzornaya informatsiya* [Methods of element-by-element check of electronic systems]. Issue. 1. Moscow: TsNIITEI priborostroeniya, 1983, 32 p. (Seriya TS-5. Pribory, sredstva avtomatizatsii i sistemy upravleniya).
6. Akhadov Ya. Yu. *Dielektricheskie parametry chistykh zhidkostey* [Dielectric parameters of pure liquids]. Moscow: Izd-vo MAI, 1999, 856 p.
7. Available at: <http://www.abc.chemistry.bsu.by/vi/analyser/parameters.html>.
8. Baranov V. A. *Izmereniya parametrov kompozitsionnykh dielektricheskikh materialov* [Measuring of composite dielectric material parameters]. Penza: Inf.-izd. tsentr PenzGU, 2008, 124 p.
9. Dobrovinskiy I. R., Lomtev E. A. *Proektirovanie IIS dlya izmereniya parametrov elektricheskikh tsepey* [Designing information-measuring systems for electrical circuit parameters measuring]. Moscow: Energoatomizdat, 1997, 120 p.
10. Tsylin B. V. *Izmerenie impedansov sistemami s EVM* [Impedance measuring by computer systems]. Penza: PGU, 2001, 100 p.
11. Ashanin V. N. *Datchiki i sistemy* [Sensors and systems]. 2011, no. 7, pp. 2–7.
12. Ashanin V. N., Chuvykin B. V., Shakhov E. K. *$\Sigma\Delta$ -analogo-tsifrovye preobrazovateli: osnovy teorii i proektirovanie: monogr.* [$\Sigma\Delta$ -analog-digital converters: theory and design: monograph]. Penza: Inf.-izd. tsentr PenGU, 2009, 188 p.
13. Ashanin V. N., Chuvykin B. V., Korotkov A. A., Sidorova I. A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskije nauki* [University proceedings. Volga region. Engineering sciences]. 2014, no. 1 (29), pp. 26–35.
14. Ashanin V. N., Chuvykin B. V., Ter-Arakelyan R. G. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskije nauki* [University proceedings. Volga region. Engineering sciences]. 2010, no. 3 (15), pp. 70–81.
15. Shakhov E. K., Ashanin V. N., Nadeev A. I. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Ser. Tekhnicheskije nauki* [University proceedings. Volga region. Ser. Engineering sciences]. 2006, no. 6, pp. 226–236.
16. Ashanin V. N., Chuvykin B. V., Shakhov E. K. *Teoriya integriruyushchego analogo-tsifrovogo preobrazovaniya: monogr.* [Theory of integrating analog-digital conversion: monograph]. Penza: Inf.-izd. tsentr PenzGU, 2009, 214 p.

Ашанин Василий Николаевич

кандидат технических наук, профессор,
заведующий кафедрой
электроэнергетики и электротехники,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: eltech@pnzgu.ru

Ashanin Vasily Nikolaevich

Candidate of engineering sciences,
professor, head of sub-department
of electrical power and electrical
engineering, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Баранов Виктор Алексеевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационно-измерительной
техники и метрологии, Пензенский
государственный университет (Россия,
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: baranov_va2202@mail.ru

Baranov Viktor Alekseevich

Candidate of engineering sciences, associate
professor, sub-department of information-
measuring technology and metrology,
Penza State University (40 Krasnaya
street, Penza, Russia)

Ломтев Евгений Александрович

доктор технических наук, профессор,
кафедра информационно-измерительной
техники и метрологии, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: iit@pnzgu.ru

Lomtev Evgeniy Aleksandrovich

Doctor of engineering sciences, professor,
sub-department of information-measuring
technology and metrology, Penza State
University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Цыпин Борис Вульфович

доктор технических наук, профессор,
кафедра ракетно-космического
и авиационного приборостроения,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: cypin@yandex.ru

Tsypin Boris Vul'fovich

Doctor of engineering sciences, professor,
sub-department of space-rocket and aircraft
instrument engineering, Penza State
University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

УДК 621.3.098.2

Ашанин, В. Н.

Аналого-цифровой преобразователь иммитанса для унифицированного канала информационно-измерительных и управляющих систем / В. Н. Ашанин, В. А. Баранов, Е. А. Ломтев, Б. В. Цыпин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 4 (36). – С. 96–108.

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.7.09

Е. Н. Зык, В. В. Плешаков, А. Н. Шурпо

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ

Аннотация.

Актуальность и цели. Объектом исследования являются детали, изготовленные из высокопрочной конструкционной стали марки 30ХГСН2А. Предметом исследования являются процессы формирования остаточных напряжений в поверхностном слое деталей при наличии предварительной наработки. Цель работы – оценка эффективности повторного упрочнения деталей из стали типа 30ХГСН2А с целью восстановления после эксплуатации.

Материалы и методы. Исследование процессов формирования остаточных напряжений выполнялось посредством проведения ряда многофакторных экспериментов с применением методов неразрушающего контроля и обработки полученных данных при помощи методов регрессионного анализа.

Результаты. Результатом проведенных исследований стало получение регрессионных моделей зависимости изменения напряжений, амплитуды акустического ультразвукового сигнала и величины усталостной прочности деталей от факторов обработки поверхностного пластического деформирования и долговечности. Предложен оптимальный режим обработки.

Выводы. Анализ полученных результатов позволил подтвердить существующие теории о физической природе усталостных процессов и сделать вывод об эффективности применения процесса повторного упрочнения деталей после эксплуатации с целью восстановления.

Ключевые слова: наработка, долговечность, усталостная прочность, обработка дробью, поверхность, ремонт, неразрушающие методы контроля, ультразвуковой метод, магнитошумовой метод.

E. N. Zyk, V. V. Pleshakov, A. N. Shurpo

EFFICIENCY OF SURFACE PLASTIC DEFORMATION OF DETAILS MADE OF HIGH-STRENGTH STEELS WHILE REPAIRING

Abstract.

Background. The research object is the details made of high-strength constructional steel of 30HGSN2A grade. The research subject is a process of fatigue stress formation in a surface layer in the presence of preliminary running time. The aim of the research is to assess efficiency of repeated hardening of details from steel of 30HGSN2A grade for the purpose of repair after exploitation.

Materials and methods. A fatigue stresses formation research was carried out by means of several multifactorial experiments using methods of non-destructive testing. The research findings were processed by methods of regressive analysis.

Results. The research resulted in acquisition of regression models of dependence of changes of stresses, ultrasonic acoustic signal amplitudes and fatigue point values on processing factors and durability. The authors propose an optimal treatment schedule.

Conclusions. The analysis of the research data allowed to confirm existing theories about the physical nature of fatigue processes and to draw a conclusion about efficiency of using the repeated hardening process after exploitation for the purpose of repair.

Key words: preliminary operation time, life time, fatigue strength, treatment by shot, surface, repair, nondestructive control methods, hypersonic method, x-ray diffraction method.

Введение

Детали из высокопрочных сталей типа 30ХГСНА и 30ХГСН2А, которые работают в весьма тяжелых условиях, под воздействием знакопеременных циклических нагрузок во время эксплуатации довольно сильно изнашиваются. Выход из строя таких деталей приводит, как правило, не просто к авариям, а к катастрофам. Повышение уровня усталостной прочности таких деталей является одной из первостепенных задач.

1. Цели исследования

В 80-е гг. прошлого века на отечественных предприятиях при производстве деталей широко внедрялась упрочняющая обработка. Эффективным технологическим методом отделочно-упрочняющей обработки являются методы поверхностного пластического деформирования (ППД), в частности дробеметная обработка, которая позволяет упрочнять поверхности деталей различного сложного профиля и размеров с высокой эффективностью [1]. Многие детали, упрочняемые при производстве, пройдя свой плановый ресурс, поступают на ремонтные предприятия. Во время восстановления таких деталей при ремонте становится вопрос о целесообразности проведения повторного упрочнения.

2. Применение неразрушающих методов контроля

При восстановлении деталей из высокопрочных сталей актуальной является проблема оценки уровня накопления усталостных повреждений в поверхностном слое. Для оценки применяются неразрушающие методы контроля – ультразвуковой, рентгеноструктурный, магнитошумовой. Данные способы контроля позволяют с высокой степенью точности оценить технологические свойства изделия без разрушения металла, не сталкиваясь, таким образом, с проблемой выборочности контроля качества. В частности, магнитошумовой метод основан на эффекте Баркгаузена (магнитном явлении, заключающемся в возникновении в ферромагнетике необратимых скачкообразных смещений междоменных границ), а акустический метод – на изменении акустической проводимости вследствие изменения реологических характеристик материала [2].

2.1. Оценка технологических свойств материала после наработки при помощи неразрушающих методов контроля

При проведении экспериментов для оценки уровня накопления усталостных повреждений исследовались цилиндрические образцы диаметром $D = 18$ мм с шейкой диаметром $d = 8$ мм из стали типа 30ХГСНА, закаленной на твердость 48–50 HRCэ, шейка образца шлифовалась до $R_a = 0,16$. Усталостное нагружение осуществлялось при пульсирующем изгибе на машине МУИ-6000.

На каждом из уровней нагружения проводилось испытание последовательно в несколько этапов до определенного числа циклов. После этого наиболее нагруженная часть шейки образца исследовалась с помощью ультразвукового и рентгеноструктурного методов.

Ультразвуковой контроль образцов проводился на приборе ДУК-66 эхо-импульсивным методом в теновом варианте, при этом измерялась амплитуда сигнала в децибелах. Ультразвуковые сигналы вводились через масло от облучающей головки и принимались аналогичной головкой на противоположной торцевой поверхности. Наличие шейки в центральной части образца способствовало концентрации ультразвуковых колебаний в исследуемом месте. Рентгеноструктурный анализ материала образца проводился на дифрактометре ДРОН-05 в железном K_α -излучении. Параметром, характеризующим изменения, происходящие в поверхностном слое материала, была выбрана величина смещения линии отражения в зависимости от количества циклов нагружения по сравнению с линией отражения ненагруженного образца. Так как исследовались шлифованные образцы, имеющие различные исходные остаточные напряжения в поверхностном слое после механической обработки, фактически определялось влияние числа циклов и уровня нагружения на величину этих напряжений. Изменение же указанных напряжений может характеризовать, в свою очередь, изменения, происходящие в материале при усталости. После каждого этапа нагружения образцов и проведения контроля оценивались величины относительного изменения амплитуды сигнала ультразвуковых колебаний ($\Delta A = A_{\text{исп}} - A_0$) и величины напряжений ($\Delta \sigma_1 = \sigma_{1\text{исп}} - \sigma_{10}$) по сравнению с исходными.

Для исследования эффективности применения дробеметной обработки при восстановлении деталей был проведен многофакторный эксперимент, в ходе которого обработке подвергались образцы из высокопрочной конструкционной стали 30ХГСН2А. Обработка производилась при помощи пневмодинамического дробеметного устройства пистолетного типа. Усталостное нагружение осуществлялось при пульсирующем растяжении на машине ГМС-2 с частотой нагружения 12–15 циклов/мин на базе 50×10^3 циклов. Эксперимент проходил в следующем порядке: предварительная упрочняющая обработка → усталостное нагружение (наработка) → повторная упрочняющая обработка → нагружение до разрушения. Напряжение предварительной наработки $\sigma_a = 1,3$ ГПа.

Для оценки циклического упрочнения стали введено понятие относительной наработки Kc [3]:

$$Kc = \text{Lg } N / \text{Lg } N_p,$$

где $Lg N$ – число циклов нагружения на заданном уровне остаточных напряжений; $Lg N_p$ – число циклов нагружения до разрушения образцов.

Регрессионные модели процесса усталости и графические зависимости изменений напряжений и амплитуды ультразвукового сигнала от долговечности при различных уровнях нагружения и исходных значениях $\sigma_{исп}$ и A_0 (рис. 1, 2) имеют вид

$$\Delta\sigma_1 = -28,679Kc + 0,1287\sigma_0Kc^2 + 82,276Kc^3 - 1,3786\sigma_0Kc - 85,19Kc^2 + 0,044\sigma_{исп}Kc^2, \text{ МПа.} \quad (2)$$

Критерий информативности модели $F_{инф} = 2,3$:

$$\Delta A_0 = -221,5Kc^2 + 4,46Kc^2 A_0 + 217,7Kc - 4,38A_0Kc - 0,054\sigma_{исп}Kc. \quad (3)$$

Критерий информативности модели $F_{инф} = 1,12$.

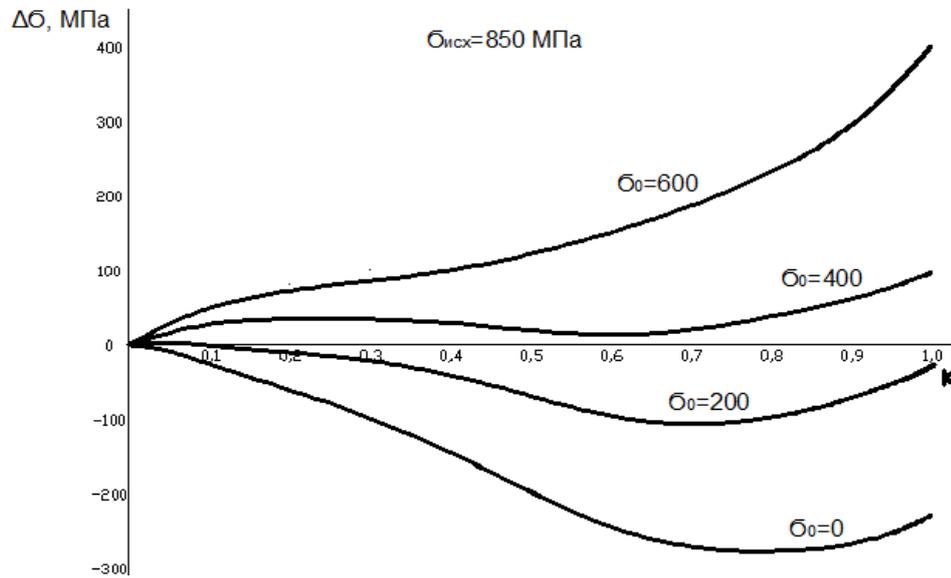


Рис. 1. Зависимость изменения остаточных напряжений в поверхностных слоях от наработки образцов при различных исходных напряжениях (при $\sigma_a = 0,85$ ГПа)

Анализируя изменения поверхностных напряжений в зависимости от долговечности образца (рис. 2) при $\sigma_{10} = -0,40$ ГПа, как часто встречающихся после обработки поверхности стальных деталей шлифованием, по долговечности можно выделить три характерных периода изменения $\Delta\sigma_1$:

I период – от момента начала нагружения до долговечности $Kc = 0,2$, в течение которого происходит снижение поверхностных сжимающих напряжений, т.е. проходят процессы разупрочнения поверхностного слоя;

II период – в пределах наработки $Kc = 0,2-0,7$. В этот период происходит нарастание сжимающих напряжений в поверхностных слоях материала, т.е. упрочнение, вызванное тренировкой при циклических нагрузках;

III период – от $Kc = 0,7$ до разрушения образца происходит повторное уменьшение величины $\Delta\sigma_1$, что может быть обусловлено реализацией поверхностных напряжений в образующихся микро- и макротрещинах.

Рассматривая эти зависимости при исходных поверхностных напряжениях $\sigma_{10} = -0,60$ и $\sigma_{10} = 0$ ГПа, можно видеть, что при их увеличении (от 0 до -60) происходит сглаживание I периода и интенсификация II периода. Исходя из этого можно предположить о большей упрочняемости материала (имевшего большие исходные сжимающие поверхностные напряжения), происходящей во время его нагружения.

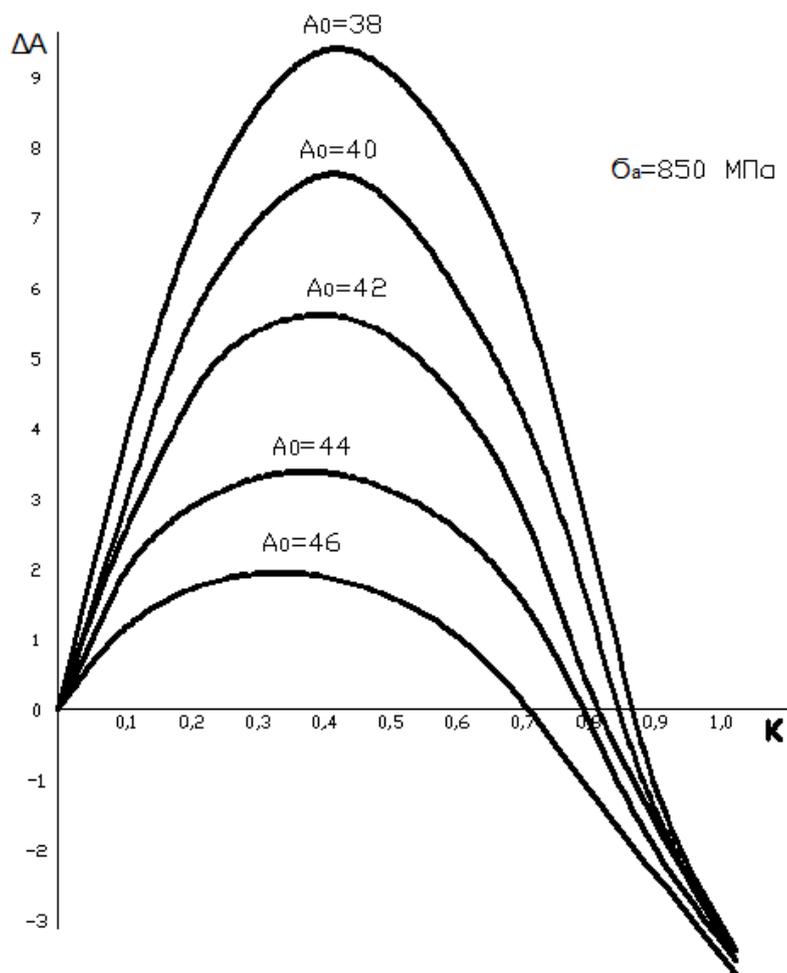


Рис. 2. Зависимость изменения амплитуды ультразвуковых колебаний от наработки при исходных амплитудах A_0 (дБ) при $\sigma_a = 0,85$ ГПа

Рассматривая зависимости изменения затухания амплитуды ультразвукового сигнала от долговечности (рис. 2), можно сделать вывод о том, что в первый момент нагружения (до $Kc = 0,4$) происходит «упорядочивание» структуры материала, приводящее к повышению амплитуды ультразвукового сигнала.

Дальнейшее нагружение вызывает появление таких дефектов в материале, которые затрудняют прохождение сигнала, и происходит уменьшение его амплитуды. Причем следует отметить, что в более «дефектном» с точки зрения ультразвуковых колебаний материале на первых стадиях нагружения процессы «упорядочивания» происходят более интенсивно.

Таким образом, характер зависимостей совпадает с теми представлениями о физической природе усталостных процессов, которые доминируют в настоящее время [4].

3. Оценка эффективности повторной упрочняющей обработки во время ремонта

На основе статистической обработки экспериментальных данных разработана регрессионная модель зависимости величины усталостной прочности от технологических факторов обработки и величины относительной наработки (P, D, T, Kc):

$$\begin{aligned} \lg N = & 4,343 - 0,03371 \cdot D + 0,2476 \cdot P \cdot D - 0,02753 \cdot D^2 - 0,1436 \cdot T - \\ & - 0,2621 \cdot PT + 0,04646 \cdot D \cdot T + 0,03247 \cdot T^2 + 1,33 \cdot Kc - 2,557 \cdot P \cdot Kc + \\ & + 0,04148 \cdot D \cdot Kc + 0,04903 \cdot T \cdot Kc - 1,228 \cdot Kc^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Данная модель обладает достаточно высокой информативной способностью, критерий информативности $F_{\text{инф}} = 4,4$.

Графическая интерпретация данной модели представлена на рис. 3.

Анализируя полученные данные, стоит отметить, что повышение давления в упрочнительной машине не приводит к соответственному повышению показателей усталостной прочности деталей. То же можно сказать и относительно диаметра дроби – его увеличение не всегда благоприятно сказывается на усталостной прочности. Таким образом, «ужесточение» режима обработки негативно влияет на прочностные свойства деталей. Одной из основных причин может быть явление «перенаклепа», при котором происходит знакопеременный процесс формирования остаточных напряжений в поверхностном слое, приводящий к разупрочнению детали.

Согласно полученным данным оптимальным режимом обработки является режим, в котором используются следующие технологические параметры:

- давление в установке 0,1 МПа;
- диаметр дроби 1 мм;
- время обработки 2 мин,

при величине относительной наработки $Kc = 0,6$.

Заключение

Использование неразрушающих методов контроля позволило выявить основные технологические свойства материала после наработки, а также определить характер протекания усталостных процессов в поверхностном слое детали во время эксплуатации. Полученные данные могут служить предпосылкой для дальнейшего исследования процессов обработки ППД с целью восстановления деталей во время ремонта.

Данные эксперимента, проведенного с целью исследования зависимости усталостной прочности от технологических факторов дробеметной обработки, подтверждают выводы, полученные в результате контроля неразрушающими методами.

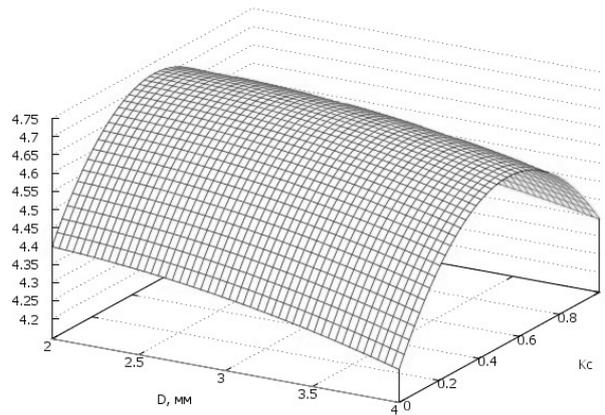
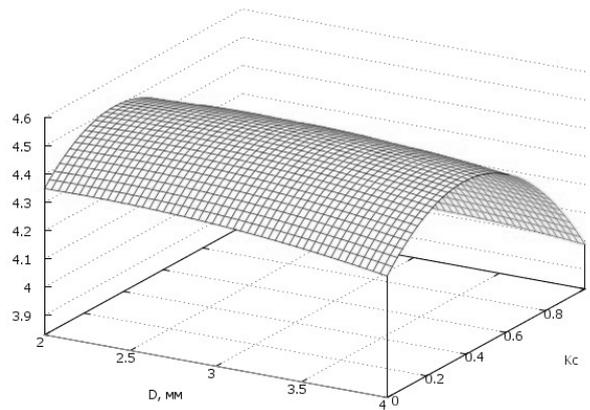
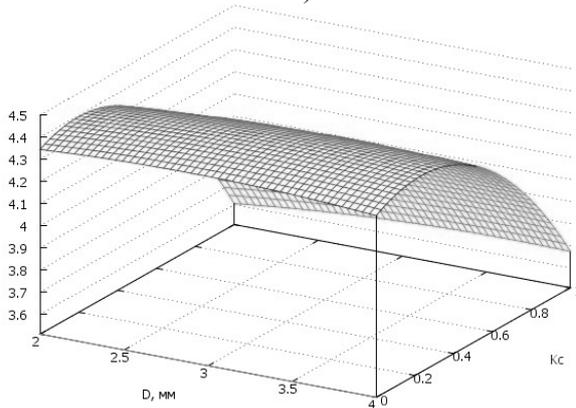
**a)****б)****в)**

Рис. 3. Зависимость усталостной прочности от технологических факторов обработки и величины относительной наработки:
a – $P = 0,1$ МПа; **б** – $P = 0,25$ МПа; **в** – $P = 0,4$ МПа

Основным выводом данной работы является доказательство эффективности применения повторной обработки методами ППД деталей, уже бывших в эксплуатации, во время ремонта. Экспериментально доказано, что при относительном уровне наработки $K_c = 0,6$, показатель усталостной прочности увеличивается на 5–7 %, что является существенным приростом.

Список литературы

1. **Плешаков, В. В.** Программное поверхностное пластическое деформирование деталей высокопрочных сталей / В. В. Плешаков, А. Г. Схиртладзе, Т. В. Никифорова, В. А. Долгов. – М. : ИНТС, 2002. – 111 с.
2. **Соколик, А. И.** Контроль технологических и эксплуатационных свойств изделий из высокопрочных сталей методом эффекта Баркгаузена : дис. ... канд. техн. наук. / А. И. Соколик. – Минск, 1984. – 164 с.
3. **Плешаков, В. В.** Повышение усталостной прочности деталей при ремонте / В. В. Плешаков, Д. А. Албагачиев, Е. Н. Зык // *Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении* : тр. II Междунар. науч. конф. – М. : ИМАШ РАН, 2012. – С. 365–368.
4. **Плешаков, В. В.** Оценка усталостных повреждений поверхностного слоя деталей / В. В. Плешаков // *Информатика и технологии* : межвуз. сб. тр. науч.-техн. конф. Моск. гос. ун-та приборостр. и информ. / под ред. к.т.н., доц. В. Г. Белова, д.т.н., проф. Н. Н. Холина. – Вып. XVII. – М. : МГУПИ, 2011. – С. 226–235.

References

1. Pleshakov V. V., Skhirtladze A. G., Nikiforova T. V., Dolgov V. A. *Programmnoe poverkhnostnoe plasticheskoe deformirovanie detaley vysokoprochnykh staley* [Programmed surface plastic deformation of detail made of high-strength steels]. Moscow: INTS, 2002, 111 p.
2. Sokolik A. I. *Kontrol' tekhnologicheskikh i ekspluatatsionnykh svoystv izdeliy iz vysokoprochnykh staley metodom effekta Barkgauzena: dis. kand. tekhn. nauk.* [Testing of technological and operational properties of products made of high-strength steels by the Barkhausen effect method: dissertation to apply for the degree of the candidate of engineering sciences]. Minsk, 1984, 164 p.
3. Pleshakov V. V., Albagachiev D. A., Zyk E. N. *Fundamental'nye issledovaniya i innovatsionnye tekhnologii v mashinostroenii: tr. II Mezhdunar. nauch. konf.* [Fundamental research and innovative technologies in machine building: proceedings of II International scientific conference]. Moscow: IMASh RAN, 2012, pp. 365–368.
4. Pleshakov V. V. *Informatika i tekhnologii: mezhvuz. sb. tr. nauch.-tekhn. konf. Mosk. gos. un-ta priborostr. i inform.* [Informatics and technologies: interuniversity proceedings of the scientific and technical conference of Moscow university of instrument engineering and informatics]. Issue. XVII. Moscow: MGUPI, 2011, pp. 226–235.

Зык Евгений Николаевич

аспирант, Московский государственный университет приборостроения и информатики (Россия, г. Москва, ул. Стромынка, 20)

E-mail: zyk.eugene@gmail.com

Zyk Evgeniy Nikolaevich

Postgraduate student, Moscow State University of Informatics and Instrument Engineering (20 Stromynka street, Moscow, Russia)

Плешаков Виктор Викторович

кандидат технических наук, профессор,
кафедра ВТ-12, Московский
государственный университет
приборостроения и информатики
(Россия, г. Москва, ул. Стромынка, 20)

E-mail: pleshakovvv@yandex.ru

Pleshakov Viktor Viktorovich

Candidate of engineering sciences,
professor, sub-department VT-12,
Moscow State University of Informatics
and Instrument Negineering (20 Stromynka
street, Moscow, Russia)

Шурпо Александр Николаевич

кандидат технических наук, старший
научный сотрудник лаборатории № 1,
Институт конструкторско-
технологической информатики РАН
(Россия, г. Москва, Вадковский
переулок, 18, строение 1а)

E-mail: a-shurpo@yandex.ru

Shurpo Aleksandr Nikolaevich

Candidate of engineering sciences, senior
staff scientist, laboratory №1, Institute
of Engineering and Design Informatics
of the Russian Academy of Sciences
(building 1a, 18 Vadkovsky lane,
Moscow, Russia)

УДК 621.7.09

Зык, Е. Н.

**Эффективность поверхностного пластического деформирования
деталей из высокопрочных сталей при ремонте / Е. Н. Зык, В. В. Плеша-
ков, А. Н. Шурпо // Известия высших учебных заведений. Поволжский реги-
он. Технические науки. – 2015. – № 4 (36). – С. 109–117.**

Внимание авторов!

Редакция журнала «Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки» приглашает специалистов опубликовать на его страницах оригинальные статьи, содержащие новые научные результаты в области информатики, вычислительной техники, управления, электроники, измерительной техники, радиотехники, машиностроения, машиноведения, а также обзорные статьи по тематике журнала.

Статьи, ранее опубликованные, а также принятые к опубликованию в других журналах, редколлегией не рассматриваются.

Редакция принимает к рассмотрению статьи, подготовленные с использованием текстового редактора Microsoft Word for Windows (тип файла – RTF, DOC).

Необходимо представить статью в электронном виде (VolgaVuz@mail.ru) и дополнительно на бумажном носителе в двух экземплярах. Оптимальный объем рукописи 10–14 страниц формата А4. Основной шрифт статьи – Times New Roman, 14 pt через полуторный интервал. Статья **обязательно** должна содержать индекс УДК, ключевые слова и развернутую аннотацию объемом от 100 до 250 слов, имеющую четкую структуру **на русском** (Актуальность и цели. Материал и методы. Результаты. Выводы) **и английском языках** (Background. Materials and methods. Results. Conclusions).

Рисунки и таблицы должны быть размещены в тексте статьи и представлены в виде отдельных файлов (растровые рисунки в формате TIFF, BMP с разрешением 300 dpi, векторные рисунки в формате Corel Draw с минимальной толщиной линии 0,75 pt). Рисунки должны сопровождаться подрисуночными подписями.

Формулы в тексте статьи **обязательно** должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Word Equation (версия 3.0) или MathType. Символы греческого и русского алфавита должны быть набраны прямо, нежирно; латинского – курсивом, нежирно; обозначения векторов и матриц прямо, жирно; цифры – прямо, нежирно. Наименования химических элементов набираются прямо, нежирно. Эти же требования **необходимо** соблюдать и в рисунках. Допускается вставка в текст специальных символов (с использованием шрифтов Symbol).

В списке литературы **нумерация источников** должна соответствовать **очередности ссылок** на них в тексте ([1], [2], ...). Номер источника указывается в квадратных скобках. **Требования к оформлению списка литературы** на русские и иностранные источники: **для книг** – фамилия и инициалы автора, название, город, издательство, год издания, том, количество страниц; **для журнальных статей, сборников трудов** – фамилия и инициалы автора, название статьи, полное название журнала или сборника, серия, год, том, номер, страницы; **для материалов конференций** – фамилия и инициалы автора, название статьи, название конференции, город, издательство, год, страницы.

К материалам статьи **должна** прилагаться следующая информация: фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание и должность, место и юридический адрес работы (на русском и английском языках), e-mail, контактные телефоны (желательно сотовые).

Обращаем внимание авторов на то, что перевод имен собственных на английский язык в списке литературы осуществляется автоматически с использованием программы транслитерации в кодировке BGN (сайт translit.ru). Для обеспечения единообразия указания данных об авторах статей во всех реферируемых базах при формировании авторской справки при подаче статьи необходимо предоставить перевод фамилии, имени, отчества каждого автора на английский язык, или он будет осуществлен автоматически в программе транслитерации в кодировке BGN.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается. Рукопись, полученная редакцией, не возвращается. Редакция оставляет за собой право проводить редакторскую и допечатную правку текстов статей, не изменяющую их основного смысла, без согласования с автором.

Статьи, оформленные без соблюдения приведенных выше требований, к рассмотрению не принимаются.