

---

---

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ  
И УПРАВЛЕНИЯ**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

---

---

**Основан в 1994 г.**

**2005  
№ 6(24)**

**Воронеж**

**Научная книга**



**2005**

**Издательство "Научная книга"**  
**Воронежский государственный технический университет**  
**Липецкий государственный технический университет**  
**Бакинский государственный университет**  
**Международный университет компьютерных технологий**

**ISSN 1813-9744**

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия

**ПИ N ФС 6-0238 от 19 сентября 2005 г.**

Журнал выходит шесть раз в год

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ**

### **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Главный редактор О.Я.Кравец**, д-р техн. наук, профессор

### **ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:**

А.А.Алиев, д-р техн. наук, профессор (БГУ, Азербайджан, г. Баку)  
С.Л.Блюмин, д-р физ.-мат. наук, профессор (ЛГТУ, Россия, г. Липецк)  
С.Л.Подвальный, д-р техн. наук, профессор (ВорГТУ, Россия, г. Воронеж)  
А.И.Шиянов, д-р техн. наук, профессор (МИКТ, Россия, г. Воронеж)

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Правила для авторов доступны на сайте журнала <http://www.sbook.ru/itmu>

Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции: 394077 Воронеж, ул. Маршала Жукова, дом 3, комн. 244  
Телефон: (0732)137653  
Факс: (0732)464265  
E-mail: [itmu@yandex.ru](mailto:itmu@yandex.ru)  
<http://www.sbook.ru/itmu>

Издатель: ООО Издательство "Научная книга"  
<http://www.sbook.ru>

Подписано в печать 15.12.2005. Заказ 106. Тираж 1000. Усл. печ. л. 7,75. Уч.-изд.л. 7,6.

## Содержание

### 1. Информационные технологии в непромышленной сфере и экономике

Avanessov G.M. Effective Management of Association .....	799
Ивлева Н.А. Разработка экспертной технологии анализа и прогнозирования регионального рынка банковских продуктов .....	803
Кильматов Т.Р. Макроэкономическая модель для имитации стратегического развития региона.....	807
Полупанов Д.В. К вопросу обеспечения адекватности гибридной нейросетевой модели налогового контроля .....	812
Полупанов Д.В. Об одном методе предобработки сильнозашумленных данных при построении нейросетевой модели налогового контроля.....	821
Черняев А.В., Полякова А.И. Информационная поддержка систем экологического менеджмента промышленных предприятий .....	827

### 2. Моделирование и анализ сложных систем

Деркачев А.Н. Модель нейронной сети со смешанным (четкие и нечеткие) типом входов .....	833
Ефимова О.С., Файзуллин Р.Т. Об использовании неравновероятной гаммы .....	837
Кавалеров М.В., Матушкин Н.Н. Применение обобщенных нестандартных ограничений реального времени в условиях планирования с фиксированными приоритетами.....	842
Рейтер А.А. Выделение периодических компонент из загрязненных «окрашенным» шумом временных рядов .....	848

### 3. Программные и телекоммуникационные системы

Mysenko D.G. An Existing Spam Filtering Solutions Study and New Solution Proposal...	854
Ефимов В.И., Щерба Е.В. Атака на систему мультиплексирования разнесенного ТСР/IP трафика на основе анализа корреляции потоков .....	859
Кравец О.Я., Платов В.В. Исследование причин самоподобия трафика в переполненном буфере активного сетевого устройства .....	864
Нижарадзе Т.З. Алгоритм оптимальной маршрутизации в сетях оптической коммутации блоков .....	872
Омаров О.М., Абдулгамидов А.А. Распределенные базы данных на основе гибридных топологий репликационных приложений.....	877
Фатуллаев Р.Э., Алиев А.А. Исследование глобального состояния распределенных систем .....	884

### 4. Системы и технологии управления в промышленности

Балдов С.В., Зубков В.П., Малафеева Т.В., Шульпин А.А. Функциональные возможности программного комплекса «АСКАЭ» .....	889
Копылов Р.В., Кравец О.Я., Солдатов Е.А. Реализация оперативного взаимодействия информационной системы с весовым оборудованием в подсистеме учета сжиженного газа на основе технологии OLE Automation .....	895
Федоренко Н.В. Адаптивно-игровой подход к оценке помехозащищенности средств инфокоммуникационных сетей.....	899
Чистякова Т.Б., Шляго Ю.И., Кузнецова Г.В., Новожилова И.В. Информационные технологии в системах управления гибким многоассортиментным производством сорбционно-каталитических материалов.....	903
Чистякова Т.Б., Новожилова И.В., Шляго Ю.И., Юдинцева Ю.Е. Технология разработки математических моделей для управления гибким многоассортиментным производством сорбционно-каталитических материалов .....	913

## 1. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕПРОМЫШЛЕННОЙ СФЕРЕ И ЭКОНОМИКЕ

**Avanessov G.M.**

### **EFFECTIVE MANAGEMENT OF ASSOCIATION**

*St.-Petersburg state University of economics and finance*

The majority of the Russian enterprises already consider introduction of ERP<sup>1</sup> system not just an IT-project, but as the business-project, which is initiated as a result of a formulation of the business-purposes and definition of the key factors of success of the enterprise. The requirements set to ERP-systems: the data centralization in the unified database, mode of operations close to real time, preservation of common model of management for the enterprises of any branches, support of the structures distributed in different territories, compatibility with wide range of hardware-software platforms and database control systems.

Any form of integration is a restriction of freedom of actions of the enterprises as it assumes voluntary delegation of greater or smaller part of the functions and rights to the integrated system organization. Materials of a conference "eBusiness Russia 2004" [5] show, that the majority of the companies consider electronic business to be a fundamental long-term business-strategy [1] with the direction to business-processes improvement [2]. The forms of integration are closely connected to forming of the contractual relationships of the industrial enterprises with the information intermediaries, creation of consumers and manufactures associations, modernization of horizontal links between the enterprises. Along to the eMarketer company information, the turnover of the market of electronic B2B<sup>2</sup>-commerce in USA achieved a cumulative volume of sales of \$ 482 billions in 2003. In 2004 volume of the B2B-market has increased 5 times. In Russian B2B-market the quantity of B2B-platforms already has passed the hedge of one hundred, and it is expected that the market will continually grow with rate of +250% p.a. (as per estimation of Brunswick Warburg [5]).

Key idea of long-term corporate strategy of the integrated information centers should be the transformation in the leading enterprise. This valid strategy allows to receive the most perspective direction of development of information centers, while using the balanced system of parameters.

As one of the steps towards strategic program realization it is necessary to centralize finance management, to execute the critical analysis of financial methods of projects evaluation (e.g. ARR/ROI, NPV, IRR and PP). Also nowadays the necessity for use of information control systems for cash-flow management on ERP class system basis has appeared [6].

Horizontally integrated centers are created for short-term tasks execution:

---

<sup>1</sup> ERP – integrated application, which supports all aspects of management activity of the enterprise in the unified information field, in complex

<sup>2</sup> B2B – electronic commerce between the enterprises (corporate portals, electronic auctions)

---

- realization of unified price policy in the market in conditions of a tough competition,
- exchange of technological experience in innovation transformations,
- reorganization of business processes,
- accomplishment of organizational transformations projects,
- introduction of ERP systems.

The vertically integrated centre is an association of the enterprises, producers, financial and information-intermediary enterprises. The latter are created with the purpose to ensure survival and steady development by means of usage of incorporated financial resources and both organizational and technical opportunities. The vertically integrated centers are created for development of the both organization and economic mechanism. The forming of the vertically integrated centre allows to create economic, information and organizational links between the enterprises more successfully than in the case of the horizontal and mixed centre. It also gives a possibility to sharply allocate functions of finance and economic activity, to raise the incomes and to lower costs as a result of construction of a complete technological circuit.

Associations and unions of a contract type represent the form of integration which supposes the maximum economic independence. For sure the unified contract for strategic partnership in the market is not the best scenario of business process, but it gives a certain stability and predictability [4]. For effective management the partners of an information control system should have the information concerning the current and potential value of each partner [7]. Budgeting allows to coordinate activity of the divisions and partners inside unions and associations, to subject it to the general common strategic purpose. At the moment when a decision concerning the partners of association and distribution of duties within the union is taken it is not possible to avoid so called "bottlenecks". The activity of the enterprise included in the group can be considered effective only in the event when apart from maintenance of its own purposes and at the same time the enterprise promotes achievement of the purposes even of some other enterprises-members of the group. Inside association the contract forms of co-operation should prevail, otherwise efficiency of joint activity is reduced, the probability of the internal conflicts and disintegration of an alliance is increased. The organizational decisions directed towards realization of general(common) coordinated strategy of the participants of the union should provide functioning of the system, set its structure, structure and borders of a cooperation with external environment, take into consideration the material and information communications, organize system of management and allocate the centers of the responsibility.

The problems management is a procedure of exposure, registration and resolution of the problems, and also minimization of their influence on the purpose and individual strategy of the participants of associations. It is more important to keep the current partners in association, rather than to attract the new partners on the short term basis. With each enterprise it is necessary to develop unique approach on bases of data available on orders executed and to consider them as potential

---

partners. While execution of enterprises information-intermediary projects it is necessary to take into account strategic success of management concerning arising expenses of a casual, unexpected character [3]. The procedure of problems management contains the following steps:

- showing up and registration of a problem;
- definition of the employees responsible for resolution of the problem;
- definition and registration of action plan for the decision of the problem;
- registration of results of the decision of a problem;
- follow-up after the not-settled problems;
- transfer of a problem to a higher level of management (if really needed) in

order to take a decision.

It is not an exception when the problem between the partners, taking into consideration their specific linkage, remains not settled to the end. And the attempts to create an algorithm of its elimination fail. Therefore there is a necessity for conducting informal procedures of the analysis and decision taking, multi-criteria analysis, certain regulating rules of research. In such case it is important to create practical ways of the decision-taking. The task of business-processes designing, even with some idealization, can not be submitted in a formal kind, unless its purpose is formulated.

The system of agreements on mutual products deliveries, services rendering is set between enterprises of the association, based on general common strategy. This system dictate a tough binding to each other, barter. In its turn this to a certain extent impedes the economic activity of each partner. In this case a compromise on a basis of "balance" of all partners included in association can be formally accepted as a global goal. The used balance is homeostasis (constant in the certain limits); as there is a limit of change of parameters. The excess of these parameters breaks functioning of information systems. So, determination of the borders of possible parameters change is required. The homeostasis mechanism works as soon as the certain number of essential variables are kept in the beforehand set borders of parameters change. These borders ensure a relatively steady balance. To choose once and for all optimum structure of the integrated information centre and to construct model reflecting all specificity of the enterprises for this structure, would mean the denial of the internal contradictions being a source of development. That is to recognize, that with the help of balance it is possible to find the perfect optimum model and structure and thus to deny an opportunity of the further perfection. The creation of optimum structure of an investment of the capital is essentially complicated by presence of the inconsistent factors. From the management point of view is desirable to minimize the amount of the potentially valuable partners, and on the other hand, having expanded the number of the partners, it is more easy to grasp a leading role, with further possibility not to cope with the increased requirements to management.

The presence of the operative information allows the information centers to coordinate in association the specialization of those kinds of production and commercial activity, which are key in maintenance of competitive advantages of asso-

---

---

ciation<sup>3</sup>. Simultaneously, all other kinds of activity thus are immediately transferred to those participants of association, which carry them out with most economic effectiveness. The information centre management in conditions of various and multilevel integration gives special importance to the development and application of modern information systems taking into consideration the limited number of the effective factors which are taken into account while the analysis of competing variants.

### Conclusions

1. Associations with a various infrastructure is a rather typical form of integration on the basis of information centers and with each year they strengthen their positions in economic potential of Russia. As soon as the influence of the investments on an economic efficiency of management of associations becomes apparent in the enough long period, the exact estimation of such investments seems to be a very difficult task. Despite of universality of financial methods of an estimation, it is rather inconvenient to execute a trustworthy estimation of the project of information centers with the help of these methods only.

2. To avoid bankruptcy or absorption the enterprises will have to be united (re-structured or to be transformed) in the various forms and reduce number of the economists and thus to provide full reporting in time.

3. The extent to which the information centers are integrated can not remain constant. The borders between integration and decomposition are always dim. The problem of dim borders arises from a problem of uncertainty of the decision. It is caused by constant influences, both stimulating the association and regulating its extent in the different points of time.

4. The reason of the special attention to an estimation of the information communication technology projects is the importance of the investments in the enterprises, applying these projects as a part of a platform for further strategic development. The integration of activity results in creation of the specialized enterprises, which provide not only coordination of technology, but release of products between the enterprises.

### References

1. Avanesov A.G. Strategicheskij analiz sostojanija i razvitija predprijatija mjasopererabatyvajuščej promyšlennosti: Preprint. - SPb.: Izd-vo SPBGUEF, 2000. – 32 s.

2. Avanesov G.M. Biznes-processy IT tehnologij// Predprinimatel'stvo v Rossii i Germanii: tendencii i perspektivy/ Pod redakciej I.L. Maksimceva: Sbornik dokladov uchastnikov mezhdunarodnoj konferencii. Chast' I. 172-175 s.

3. Avanesov G.M., Ananchenko I.V. Sovremennye metody reinzhiniringa i ocenki biznes-processov dejatel'nosti predprijatija// Informacionnye tehnologii modelirovanija i upravlenija. Mezhdunar. sb. nauch. trudov. Vyp. 16/ Pod red. O.Ja.Kravca - Voronezh: Nauchnaja kniga, 2004. – P. 41-47.

4. Medovnikov D., Oganesjan T. energija pustoty// Ekspert, 1997. - № 46. - P. 26-32.

---

<sup>3</sup> such an information can be purchased from third parties or received while self-made survey

---

5. Nikol'skij A. Sovremennoe sostojanie ]lektronnoj trgovli v Rossii. Perspektivy i prioritety razvitija// Doklad ispolnitel'nogo direktora Nacional'noj associacii uchastnikov ]lektronnoj trgovli Antona Nikol'skogo na 4-oj Mezhdunarodnoj Konferencii "eBusiness Russia 2004". - 16 P. <http://www.e-commerce.ru/analytics/analytics-part/analytics28.html> (26.04.04)

6. Shim Dzh.K., Sigel Dzh.G. Osnovy kommercheskogo bjudzhetirovanija/ Per. s angl. - SPb.: Pergament, 1998. - 496 p.

7. Spring P.N., Verhoef P.C., Hoekstra J.C., Leeflang P.S.H. The Commercial Use of Segmentation and Predictive Modeling Techniques for Database Marketing// Working Paper, University of Groningen, 2000. – 35 p. [http://www.cir.ru/docs/socionet/ft/html/xml/dgr/paper-eureri/scnt\\_dgreureri200161.htm](http://www.cir.ru/docs/socionet/ft/html/xml/dgr/paper-eureri/scnt_dgreureri200161.htm) (25.12.04)

**Ивлева Н.А.**

## **РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО РЫНКА БАНКОВСКИХ ПРОДУКТОВ**

*ЦЧБ СБ РФ (Воронеж)*

### **Введение**

При принятии решений по открытию нового территориально обособленного подразделения, по его структуре и функциональным задачам перво-степенное значение имеет анализ регионального рынка банковских услуг и выбор номенклатуры банковских продуктов (иногда употребляют термин «продуктовая линейка»), с которой новое подразделение войдет в сложившуюся конкурентную среду. Важность проблемы объясняется тем, что на современном этапе развития банковской системы России доминирующей тенденцией насыщения региональных рынков банковских услуг является расширение сети филиалов и дополнительных офисов крупных банков. Данная задача должна решаться исходя из стратегической цели банка в целом и тактических целей его создаваемой бизнес-единицы, перспективы успешного функционирования которой должны быть оценены в процессе прогнозирования. Выбор стратегической и локальных целей является прерогативой совета директоров и правления банка.

Современные подходы к формированию стратегии банка [1] предлагают использовать в качестве стратегической цели увеличение стоимости бизнеса, основными компонентами которой для банка являются: финансовый капитал; интеллектуальный капитал; капитал динамических способностей; капитал надежности. Такое структурирование стратегической и локальных целей является отображением широко применяемой системы сбалансированных показателей Нортон и Каплана [2] на плоскость экономических результатов банка. Локальные цели увеличения финансового, интеллектуального и др. капитала сами по себе являются агрегированными и могут представляться целым рядом частных показателей, например: достаточность собственного капитала и прибыль (для финансового капитала); квалификация и лояльность персонала (для интеллектуального капитала); степень зрелости бизнес-процессов и темпы изменения доли рынка (для капитала динамических спо-

---

---



собностей); изменение резерва по кредитам и изменение количества банков, установивших лимит на данный банк на рынке межбанковского кредитования (для капитала надежности).

### Технология прогнозирования

В условиях необходимости одновременно оперировать совокупностью показателей, отображающих дерево целей банка и его бизнес-единиц, при значительной неопределенности исходных данных и потенциальной многовариантности результатов прогнозирования, наиболее приемлемым (по срокам и затратам) путем решения задачи является применение методологии экспертных оценок. Предлагаемая технология прогнозирования содержит следующие этапы:

1. Формирование исходного списка продуктов, реализуемых банком;
2. Маркетинговый анализ целевого регионального рынка по номенклатуре реализуемых банковских продуктов;
3. Фильтрация исходного списка с целью выбора:
  - а) продуктов, не предлагаемых потенциальными конкурентами на конкретном региональном рынке;
  - б) продуктов, по которым банк готов вступить в конкурентную борьбу на данном рынке;
4. Экспертный опрос с целью ранжирования степени предпочтительности продуктов, отобранных для конкретного регионального рынка, по каждой локальной цели создаваемой бизнес-единицы банка на данном региональном рынке (по конкретному аспекту сравнения).
5. Экспертный опрос с целью ранжирования значимости аспектов сравнения (локальных целей создаваемой бизнес-единицы) по степени важности с точки зрения глобальной цели банка.
6. Свертка результатов ранжирования банковских продуктов и аспектов их сравнения.

Существо изложенного подхода к получению и обработке данных в виде сравнительных оценок позволяет конкретизировать постановку задачи анализа и выбора альтернатив (формирования номенклатуры линейки банковских продуктов) по некоторой совокупности аспектов сравнения.

Имеется  $N$  альтернатив и  $K$  аспектов сравнения. В общем случае аспекты имеют разную важность. К анализу альтернатив привлекается группа экспертов, включающая  $M_N$  специалистов из состава руководящего звена территориальных подразделений банка (обособленных бизнес-единиц). Сравнение аспектов по важности проводит другая группа в составе  $M_K$  экспертов из числа руководителей среднего и высшего звена головного банка.

В результате сравнения экспертные группы представляют матрицы:

– при сравнении альтернатив

$$A_{mk} = \| a_{ij}^{(m_n k)} \|; i, j = \overline{1, N}; m_n = \overline{1, M_N}; k = \overline{1, K},$$

где  $a_{ij}^{(m_n k)}$  - оценка предпочтительности  $i$ -й альтернативы по сравнению с

$j$ -й, полученная для  $k$ -го аспекта  $m_n$ -м экспертом;

– при сравнении важности аспектов

$$B_{m_k} = \| b_{pr}^{(m_k)} \|; p, r = \overline{1, K}; m_k = \overline{1, M_K},$$

где  $b_{pr}^{(m_k)}$  - оценка важности  $p$ -го аспекта по сравнению с  $r$ -м.

Необходимо на основе методов обработки полученных оценок найти результирующий вектор  $V$ , характеризующий интегрально (по совокупности аспектов) важность альтернатив

$$V=(V_1, V_2, \dots, V_N)$$

по которому в итоге определяется предпочтительность альтернатив.

Приведем (табл. 1) базовую совокупность банковских продуктов, которая может быть предложена крупным универсальным банком.

Таблица 1

Номенклатура банковских продуктов для оптимизации стратегии  
коммерческого банка по завоеванию региональных рынков

Тип банковского продукта	Группа банковских продуктов	Банковские продукты
Кредитные продукты	Кредиты юридическим лицам	Кратко- и среднесрочные кредиты
		Долгосрочные кредиты
		Кредит на формирование покрытия по документарному аккредитиву
	Кредиты физическим лицам	Потребительский кредит
		Ипотечный кредит
Депозитные продукты	Депозиты юридических лиц	Депозиты накопительные
		Депозиты срочные
		Депозиты на иных условиях
	Депозиты физических лиц	Депозиты накопительные
		Депозиты срочные
		Депозиты на иных условиях
Валютные продукты	Конверсионные продукты	Наличные валютно-обменные продукты
		Безналичные: кассовые, срочные
Валютные продукты	Клиентские валютные счета	Ведение транзитных счетов
		Ведение специальных транзитных счетов
		Ведение текущего валютного счета
Расчетно-платежные продукты	Кассовые	Кассовое обслуживание клиента
	Расчетное обслуживание	Ведение и обслуживание расчетных (текущих) счетов юридических лиц
		Ведение и обслуживание расчетных (текущих) счетов физических лиц
		Ведение и обслуживание корреспондентских счетов
Фондовые	Клиентские фондовые продукты	Посреднические
		Трастовые
		Депозитарные

Тип банковского продукта	Группа банковских продуктов	Банковские продукты
Карточные	Зарплатные проекты	Собственные банковские карты
		Банковские карты международных систем
	Эквайринг	Обслуживание торговых сетей
	Процессинг	Обслуживание других банков
Дистанционное банковское обслуживание	Интернет-банкинг	Клиент-банк для юридических лиц
	Телефонный банкинг	Клиент-банк для физических лиц
Прочие	Телефонный банкинг	Мобильный банкинг в сотрудничестве с операторами GSM третьего поколения
	Факторинг	
	Доверительное управление	

Выполнение четвертого и пятого этапов технологии основано на методе попарного сравнения альтернатив по шкале Саати [3] (табл 2).

Таблица 2

Универсальная шкала сравнения и оценки для перевода качественных предпочтений в количественную шкалу (шкала Саати)

Интенсивность важности	Качественная оценка	Объяснения
0	Несравнимость	Нет смысла сравнивать элементы.
1	Одинаковая значимость	Элементы равны по значимости.
3	Слабо значимее	Существуют показания о предпочтении одного элемента над другим, но показания не убедительные.
5	Существенно или сильно значимее	Существуют хорошее доказательство и логические критерии, которые могут показать, что элемент более важен.
7	Очевидно значимее	Существует убедительное доказательство большей значимости одного элемента над другим.
9	Абсолютно значимее	Максимально подтверждается осознанность предпочтения одного элемента над другим.
2, 4, 6, 8	Промежуточные оценки, между соседними оценками	Когда необходим компромисс.
Обратные значения ненулевых значений	Если оценка $a_{ij}$ имеет ненулевое значение, приписанное на основании сравнения элемента $i$ с элементом $j$ , то $a_{ji}$ имеет обратное значение $1/a_{ij}$	
Нормирование	Нормирование возникает из описанной шкалы	

При применении данного метода эксперт должен определить: а) какой из двух сравниваемых продуктов более важен; б) насколько сильна разница в важности, используя приведенную таблицу 1. Проводится попарное сравне-

ние продуктов с заполнением диагональной матрицы. Обработка результатов основывается на вычислении собственных значений матрицы попарных сравнений.

К достоинствам предложенной процедуры следует отнести применимость выбранного метода при большом количестве альтернатив; он, с одной стороны, обеспечивает достаточную простоту получения оценок, а с другой - соответствует разному уровню подготовленности экспертов, так как шкала Саати в равной мере может аппроксимировать шкалы отношений или порядка. Кроме того, обеспечивается возможность использования точных оценок показателей, соответствующих аспектам сравнения.

### **Заключение**

С целью обоснования рационального состава банковских продуктов, продвигаемых на конкретных региональных рынках, предложена двухэтапная процедура экспертного оценивания. На первом этапе проводится раздельная оценка предпочтительности конкретных банковских продуктов по заданным аспектам сравнения. На втором этапе проводится экспертная оценка относительной важности аспектов сравнения. Для перевода качественных суждений экспертов в количественные оценки используется шкала Саати.

### **Список использованных источников**

1. Никонова И.А., Шамгунов Р.Н. Стратегия и стоимость коммерческого банка. – М.: «Альпина Бизнес Букс», 2004. – 304 с.
2. Каплан Р., Нортон Д. Сбалансированная система показателей. – М.: ЗАО «Олимп-бизнес», 2003.
3. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 312 с.

**Кильматов Т.Р.**

## **МАКРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИМИТАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА**

*Тихоокеанский государственный экономический университет (Владивосток)*

### **1. Объект моделирования и его особенности**

Разнообразие социально-экономических условий в регионах России предполагает учет региональных особенностей при стратегическом планировании развития страны. В тоже время, многообразие взаимосвязанных факторов, влияющих на экономический рост, предполагает на современном этапе применение математического моделирования, как эффективного малозатратного инструмента получения дополнительной информации. В связи с этим целью настоящей работы является динамическое моделирование базовых макроэкономических параметров региональной экономики с учетом местных особенностей на примере Приморского края (ПК) и построение инерционного модельного прогноза на глубину порядка 10 лет.

---

---

За основу берутся официальные статистические данные по ПК за предыдущие пять лет, в частности из [1]. Отметим, что вследствие нестационарности удлинение исторического ряда не улучшает прогноз.

Кратко макроэкономические параметры выглядят так. Валовой региональный продукт  $Y$  (ВРП) (млн. руб.) в текущих ценах за последние пять лет (2000-2004 гг.) рос в среднем на 15-20% и вышел на уровень 144 000 млн. руб. По структуре 60% ВРП составляет производство услуг. Структура ВРП по вкладу трех основных отраслей – промышленность 24%, транспорт 15%, торговля 12%. Основные фонды  $K$  (млн. руб.) края по полной учетной стоимости выросло в 2,5 раза и в 2004 г. составили 450 000 млн. руб. Если эти характеристики рассмотреть в приведенных ценах (базовый 2000 г.), то средний рост ВРП 7% в год и на 2004 г. равен 87 000 млн. руб. Для основных фондов эти показатели соответственно составляют 10% и 273 000 млн. руб. Это официальные данные, которые не полностью отражают реальную картину вследствие занижения индекса инфляции и специфики ПК. В крае особые условия для развития теневого рынка. Это прежде всего:

1. Наличие теневого сектора в рыбной промышленности – лов производится за пределами таможенной границы, что упрощает незаконную добычу, перегруз с борта на борт и скрытую торговлю с нерезидентами (Корея, Китай, Япония). Представляют интерес официальные статистические данные по рыбной промышленности ПК [2]. За последние три года официально зарегистрированный улов остался на прежнем уровне - 578 тыс. тонн (2001г.) и 561 тыс. тонн (2004 г.). Объем произведенной продукции в рыбной отрасли за тот же период остался на прежнем уровне – 13 500 млн. руб., то есть с учетом инфляции и индекса потребительских цен фактически снизился. Одновременно за этот период число малых предприятий в рыбной промышленности росло с 206 (2002 г.) до 317 (2004 г.). Отметим, что официально удельный вес экспорта за пределами таможенной границы 77%. За пределами таможенной границы нелегальный экспорт может превышать официальную статистику в разы.

2. Наличие протяженной сухопутной границы с Китаем, активные экономические отношения, сложившиеся серые схемы торговли. Здесь на первом месте экспорт древесины из ПК. Объем экспорта растет на 17% в год и составляет на 2004 г. 251 млн. руб. по официальным данным [3]. Здесь преобладают негосударственные предприятия, основные инвестиции и наибольший рост наблюдается в лесозаготовительной промышленности, деревообрабатывающая промышленность растет медленнее, то есть лесопромышленный комплекс ПК направлен на экспорт. По мнению экспертов, развита незаконная вырубка и последующий экспорт ценных пород древесины.

3. Развитый рынок вывоза из Японии для дальнейшей перепродажи во внутренние регионы России подержанных японских автомобилей. Официальная статистика противоречивая - учитывается число автомобилей, прошедших таможенный контроль таможенный сбор. Самая нижняя оценка прибыли от реализации показывает, что если при поставке через ПК 50 тыс. ав-

---

томобилей в год во внутренние территории России с каждой единицы 500 у.е., то на рынок ПК дополнительно поступает 25 млн. у.е./год.

Перечисленные выше региональные особенности являются дополнительным фактором для развития теневого рынка. Это привело к получению сверхдоходов для местных отраслевых и властных элит. Таким образом, официальная статистика по ПК не отражает всю полноту социально-экономической картины развития региона.

Рассмотрим официальную статистику по трудовым ресурсам ПК, количеству населения занятого в экономике  $L$ , (тыс. чел.). Численность постоянного населения имеет порядок 2 000 тыс. чел., причем ежегодный отрицательный естественный и механический прирост. Ежегодное уменьшение постоянного населения примерно 20 тыс. чел./год. В тоже время число занятых в экономике не убывает составляет 990 тыс. чел. В промышленности, транспорте число занятых примерно постоянно и соответственно 200 тыс. чел. и 100 тыс. чел. По официальной статистике в торговле работает 180 тыс. чел., однако здесь учет сложен и в действительности де-факто работников больше, в том числе из Китая. Число привлекаемых в ПК иностранных граждан – 15-20 тыс. чел./год, прежде всего из КНР. Здесь не учтена нелегальная миграция.

## 2. Динамическая модель. Производственная функция ПК

Рассмотрим на основе системной динамики макроэкономическую модель [4, 5, 6, 13, 14] для трех переменных  $Y$  (ВРП – млн. руб.),  $L$  (число занятых в экономике ПК – тыс. чел.),  $K$  (основные фонды – млн. руб.). Они связаны производственной функцией, уравнениями баланса для трудовых ресурсов и основных фондов

$$Y = F(K, L),$$

$$\frac{dK}{dt} = (\text{убытие фондов}) + (\text{восстановление фондов}) + (\text{инвестиции}),$$

$$\frac{dL}{dt} = (\text{естественный прирост}) + (\text{механический прирост}),$$

Используя статистические данные по ПК, были построены различные варианты эмпирических производственных функций (ПФ) [7]. Так, в текущих ценах ПФ Кобба-Дугласа Приморского края имеет вид  $Y = 0,83K^{0,84}L^{0,16}$ . Из формулы видно, что эластичность по фондам превышает эластичность по труду более чем в 5 раз. Этот результат в большой степени искажен инфляцией. Если построить ПФ Кобба-Дугласа по сопоставимым ценам, то получим  $Y = 3,48K^{0,57}L^{0,43}$ . В последнем случае тоже отношение эластичностей равно 1,3 и роль трудовых ресурсов в производстве ВРП возрастает. Предельный анализ ПФ, построенных в линейном и мультипликативном приближениях показывает, что эластичности по фондам могут превышать эластичность по труду в текущих ценах в 8 раз, тот же показатель в сопоставимых ценах - в 2 раза. Формально можно построить ПФ в предположении, что трудовые ресурсы постоянны во времени, а коэффициент научно-технического прогресса является функцией времени. В этом случае получим следующую

ПФ -  $Y = 45 \exp(0,04t)K^{0,6}$ . Таким образом, формальный предельный анализ показывает, что с точки зрения развития экономики ПК вопрос о нехватке трудовых ресурсов не главный. Однако с геополитической точки зрения необходимая численность местного населения обеспечивает устойчивое присутствие России в Дальневосточном регионе.

### 3. Балансы основных фондов и трудовых ресурсов

Рассмотрим уравнение баланса основных фондов в виде [5, 6]:

$$\frac{dK}{dt} = -\mu K + \rho(1-c)Y + I, \quad K(0) = K_0 \quad (1)$$

Здесь обозначено  $0 < c < 1$  - безразмерный коэффициент потребления,  $\rho, \mu$  - положительные коэффициенты интенсивности обновления и выбытия фондов,  $I(t, t-1)$  - внешние инвестиции в виде лагированной функции. Численное значение коэффициентов можно взять из официальных статистических источников [1]. На первое десятилетие этого века для ПК имеем следующие характерные значения - интенсивность выбытия фондов  $0,02 \text{ год}^{-1}$ , интенсивность обновления фондов  $0,044 \text{ год}^{-1}$ , средний износ фондов 42%, коэффициент потребления 0,7. Внешние инвестиции являются экзогенной функцией, поэтому модель открытая. Здесь интересно отметить, что уровень рефинансирования ЦБ 13%, тот же показатель в странах АТР меньше 5%, то есть по формальным законам экономики инвестиции из-за рубежа должны поступать в край. В реальности этого не происходит.

Уравнение баланса для оценки живого труда составлено в соответствии с [8, 9] по балансу численности населения. Исходя из статистических данных делается модельное предположение, что численность занятых в экономике пропорциональна числу проживающих. Уравнение имеет вид

$$\frac{\partial L_N}{\partial t} = rL_N + \beta(cY - Y_p) + M, \quad L = 0,47L_N, \quad L(0) = L_0,$$

где  $L_N$  - численность населения,  $r$  - мальтузианский коэффициент. Второй член в правой части уравнения описывает внутреннюю миграцию,  $Y_p$  - пороговый уровень внутреннего потребления, при котором меняется знак миграционного потока, параметр  $\beta$  характеризует скорость миграции. Когда уровень жизни (потребления) в крае выше, чем в других регионах России, то есть  $cY - Y_p > 0$ , внутренний миграционный поток в ПК будет положительный. Последний член в правой части  $M$  - экзогенная переменная и определяет скорость внешней миграции, в частности из Китая. Эта величина в большой степени зависит от политической и международной ситуации и задается в соответствии с реализуемым сценарием.

### 4. Моделирование социально-экономических особенностей ПК. Прогностические оценки на десять лет. Заключение

Удаленность от федерального центра приводит к временным задержкам в принятии решений, лагированным переменным при учете инвестици-

онных процессов. Способ учета и влияние этого фактора для ПК продемонстрирован при реализации моделей аналитически и численно в [9, 10].

Учет теневого рынка в экономике ПК можно проводить разными способами. Это оценки по каждой отрасли с помощью косвенных данных. Например, данные японской статистики по объему и цене проданной рыбной продукции на внутренних рынках (в частности краба). Данные таможни по объему привезенных подержанных японских автомобилей. Экспертные оценки цен и объема продаж автомобилей, квартир, анонимные опросы участников рынка. Есть и положительная сторона теневого рынка – увеличение уровня потребления в крае, что приводит к увеличению внутренней миграции в ПК (второй член в правой части уравнения баланса населения).

Аналитический учет внешней миграции в стратегическом временном масштабе был проведен в [11, 12] с помощью оптимизации распределения населения с учетом емкости природной среды прилегающих территорий. Показано, что процесс миграции из Китая является социально-экономической тенденцией. Скорее всего, нужно не бороться с тенденцией, а использовать ее для роста ВРП ПК.

Модельный прогноз в текущих ценах на 10 лет (2014г.) показывает, что ВРП края должен выйти на уровень 500 000 – 850 000 млн. руб., основные фонды вырастут до 1 820 000 – 2 790 000 млн. руб., то есть более чем 3-5 раз. Однако этот прогноз выглядит оптимистично вследствие значительного темпа инфляции, а не развития реального сектора экономики.

Модельный прогноз численности населения в ПК на 2014 г. показывает, что общая численность проживающего населения останется прежней на уровне 2 000 тыс. чел. и даже может вырасти на 100 тыс. чел. Однако численность постоянно проживающего местного русскоязычного населения убывает на 200 тыс. чел., то есть выходит на уровень 1 800 тыс. чел., что не является благоприятным фактором для России в геополитическом плане.

*Работа выполнена при поддержке в виде гранта РГНФ 05-02-87200а/Т.*

#### **Список использованных источников**

1. Приморский край. Статистический ежегодник. - Владивосток. Росстат. 2005. 280с.
  2. Рыбная промышленность Приморского края. Статистический сборник.- Владивосток. Росстат. 2005. 36 с.
  3. Лесопромышленный комплекс Приморья. Статистический сборник.- Владивосток. Росстат. 2005. 23 с.
  4. Ашманов С.А. Введение в математическую экономику. - М.: Наука. 1984. 296 с.
  5. Колемаев В.А. Математическая экономика. М.: ЮНИТИ.1998. 240 с.
  6. Самарский А.А. Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. - М.: Физматлит. 2001. 316 с.
  7. Клейнер Г. Б. Методы анализа производственных функций. - М.: Информэлекро. 1980. 254 с.
  8. Кильматов Т.Р., Капитонова М.Н. Динамическая модель макроэкономики с учетом миграционных процессов//Системы управления и информационные технологии.2003. № 1-2(12). С. 20-22.
- 
-



9. Кильматов Т.Р., Капитонова М.Н. Моделирование сценариев стратегического развития Приморского края. Владивосток: Дальнаука. 2004. 101с.

10. Кильматов Т.Р. Моделирование временного запаздывания в динамических экономических системах. Вестник ДВГАЭУ. 2003. № 2(26). С. 81-87.

11. Кильматов Т.Р. Производственная функция с учетом ограниченной емкости природной среды//Системы управления и информационные технологии. 2004. №5(17). С. 63-65.

12. Кильматов Т.Р. Модель оптимизации ресурсов между регионами с переизбытком и недостатком природных ресурсов, живого труда и капитала. В сб. «Информационные технологии моделирования и управления». Воронеж. Изд.-во «Научная книга». 2004. Вып. 16. С. 81-87.

13. Форрестер Д. Мировая динамика. - М: Прогресс. 1978.

14. Mesarovic M., Pestel E. Mauknid at the Turning Point "The Second Report to the Club of Rome", 1974. E.P.DUTTO and Co., Inc. Readers Didgest Press, N.Y., 1974.

**Полупанов Д.В.**

## **К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АДЕКВАТНОСТИ ГИБРИДНОЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ НАЛОГОВОГО КОНТРОЛЯ**

*Башикирский государственный университет (Уфа)*

В статье рассматриваются вопросы обеспечения адекватности нейросетевых моделей (НСМ) в рамках разработки новых информационных технологий налогового контроля. Первые результаты построения НСМ камеральных налоговых проверок и отбора налогоплательщиков для выездных налоговых проверок приведены в [1,2]. Вопросам совершенствования НСМ посвящены, например, [3,4].

В [4] была представлена постановка задачи построения НСМ. Конкретизируем ее следующим образом. Пусть выделена примерно однородная группа предприятий – налогоплательщиков (юридических лиц)  $S_g, g = \overline{1, G}$ , где  $g$  – номер предприятия в группе;  $G$  – их количество.

Пусть за некоторой ретроспективный промежуток времени  $T$ , например, за два года (с интервалом наблюдений, равным одному кварталу) имеется база данных в виде налоговых деклараций и бухгалтерской отчетности о прибылях и убытках. В общем случае число временных отчетов может быть один или два в год, что характерно для строительных предприятий.

Следовательно, имеется кластер наблюдений – данных налоговых деклараций, представляющих собой кортежи  $\langle \bar{X}, Y \rangle_i, i = \overline{1, N}$ ;  $i$ - номер наблюдения – отчетного периода для налогоплательщика;  $N = G \cdot T$  - общее число наблюдений,  $\bar{X} = (X_1, \dots, X_n)$  - вектор входных факторов,  $Y$  – моделируемая выходная величина.

С помощью нейронной сети (НС) построим отображение вида:

$$y = F(\bar{x}, W), \bar{x} \in \mathfrak{R}^n, y \in \mathfrak{R}^1, \quad (1)$$

где  $\bar{x} = (x_1, \dots, x_n)$  конкретная численная реализация случайного вектора входных факторов  $X$ ;  $y$  – декларируемая налогоплательщиком конкретная число-

вая реализация наблюдаемой выходной случайной величины  $Y$ ;  $\hat{y}$  – эталон – расчетное значение случайной величины  $Y$  по (1);  $\{W\}$  – множество оцениваемых синаптических весов НС. Отметим, что  $\hat{y}$  есть ничто иное, как аппроксимация объясненной части условного математического ожидания случайной величины  $Y$ , при условии, что вектор  $\bar{X}$  принял фиксированное значение  $\bar{x}$

$$\hat{y} = M[Y|\bar{X} = \bar{x}]. \quad (2)$$

Реализовав принципы построения эффективных НСМ [1-4], построим рабочую модель, которая используется для оценки нарушений налогового законодательства.

Как показано в [1], нарушения в налоговой декларации эффективнее выявляются не путем автономного анализа отдельно взятого СН, как это делается в существующей технологии камеральных проверок, а путем формализованного алгоритма сравнения экономических показателей, точнее производственных функций, группы (достаточно однородного кластера) налогоплательщиков. Сравнительный анализ реализуется путем порождения *эталонного* (среднего для кластера) значения моделируемой «*производственной функции*» или «фона»  $\hat{Y}(\bar{X})$  с помощью (1) и вычисления для всех наблюдений  $i$  отклонений:

$$\delta_i = \frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i}, i = \overline{1, N};, \quad (3)$$

где  $\hat{y}$  – эталонное,  $y$  – декларируемое значений моделируемой производственной функции в каждом наблюдении с номером  $i$ .

Использование  $\delta$  как меры недоверности отчетной документации имеет следующие недостатки [4]:

1. Специфика предметной области такова, что наиболее информативны в аспекте увеличения налоговых сборов субъекты, у которых отклонения являются результатом сознательного систематического искажения информации, т.е. необходимо учитывать предысторию каждого объекта  $S_g$ ;

2. Возникают случайные искажения показателей декларации;

3. Имеется некоторая вероятность появления больших случайных ошибок обобщения, обусловленная самим алгоритмом НС (квадратичный критерий аппроксимации) и ее применением.

Другими словами, даже для хорошо обученной НС имеется небольшое число «плохих» точек  $S_g$ , за пределами тестового множества, в которых ошибка расчетов может возрасти в несколько раз. Таким образом, три причины появления больших отклонений – *искажение декларируемых показателей, случайный выброс моделируемого показателя, плохое качество НС в данной точке* – оказываются неразличимыми. Включение таких точек в план выездных налоговых проверок приводит к случайным ошибкам классификации I и II рода. Ошибка I рода – это не включение в план выездных проверок нарушителя, искажающего отчетную документацию. Ошибка II рода – это

включение в план налогоплательщика, не искажающего отчетную документацию. Указанные ошибки создают классическую рисковую ситуацию для лица, принимающего решения.

Отсюда следует, что необходимо уменьшить риск ошибок I и II рода, чтобы устранить ущерб от неправильной классификации – недополучение доначислений в результате выездных проверок либо «пустые» расходы контролеобеспечивающих ресурсов. Поскольку рисковую ситуацию устранить полностью нельзя, то числовые меры риска желательно учитывать в постановке задачи синтеза оптимального плана выездных проверок.

В [1-3] предложен метод, позволяющий различать следующие случаи появления больших отклонений  $\delta_i$ :

1. Большое отклонение  $\delta_i$  вызвано кратковременными случайными дестабилизирующими факторами в момент прогнозных оценок  $t = t^{TC}$ .

2. Большое отклонение  $\delta_i$  обусловлено систематическим сознательным искажением отчетной документации.

Для снижения чувствительности  $\delta_i$  к помехам предлагается ввести меру риска, получаемую методами математической статистики, учитывающую предысторию конкретного объекта  $S_j$  по следующему способу.

Идея состоит в вероятностном принципе отбора налогоплательщиков для выездных проверок по итогам камеральной проверки. Используется критерий отбора

$$\psi_g = \delta_{gt} \Big|_{t=t^{TC}} \cdot P(\Delta_g \geq \bar{\delta}) \quad (4)$$

Здесь  $P(\Delta_g \geq \bar{\delta})$  - вероятность события, что ожидаемое по итогам выездной проверки отклонение  $\Delta_g$  моделируемой случайной величины  $\hat{y}$  будет не меньше выборочного среднего  $\bar{\delta}$ ;  $t^{TC}$  - момент времени, соответствующий последним данным декларации при синтезе плана выездных проверок;

Таким образом, перемножив 2 числа  $\bar{\delta}_{gt} \Big|_{t=t^{TC}}$  и  $P(\Delta_g \geq \bar{\delta})$  в формуле  $\psi$  критерия (4), мы получим оценку продуктивности выездной проверки, т.е. оценку ожидаемого размера доначислений, если в качестве моделируемого показателя  $Y$  выбрана сумма налоговых выплат.

Вероятностный подход к отбору позволяет исключить чисто случайные «выбросы» ошибок (3); если же наблюдения упорядочены по времени то, критерий (4) позволяет учесть предысторию процесса, т.е. отделить случайные нарушения налогового законодательства от систематических нарушений. Заметим, что ту же точку зрения разделяют и авторы работы [5], которые в качестве модели (3.1) предлагают регрессионную модель, а в качестве дискриминантной вероятностной модели отбора – модель бинарного отклика («пробит»(probit) или «логит» (logit)). Авторы [5] иллюстрируют предложенную модель линейной множественной регрессии  $\hat{y}(\bar{x}, \bar{b})$  на искусственно синтезированной примере, т.е. строят имитационную модель, не совпадающую с реальными данными.

Критерии отбора (4) ранжируются в порядке убывания, т.е. составляет вариационный ряд:

$$\psi_{1g} \geq \dots \geq \psi_{vg} \geq \dots \geq \psi_{Gg}. \quad (5)$$

Для  $\psi_{vg}$  индекс  $v = \overline{1, G}$  означает его порядковый номер в вариационном ряду,  $g$  – фиксируемый номер налогоплательщика.

Задача синтеза оптимального плана отбора налогоплательщиков для выездных проверок ставится следующим образом: найти совокупность номеров налогоплательщиков  $\Theta$ , планируемых для выездной проверки, обеспечивающей максимум функции цели (доначислений  $\Delta c$ ) при ограничениях на затраты, связанные с деятельностью налоговых органов при выездных проверках. Формальной записи этой задачи предположим несколько замечаний.

Функционал качества отбора  $Z$ . В принципе, ожидаемую сумму доначислений  $\Delta c$  можно выразить через критерий  $\psi_g$  в явном виде

$$\Delta c = \varphi(\psi_g), \quad g = \overline{1, G^*}, \quad (6)$$

где  $G^*$  – количество налогоплательщиков, включаемых в план выездных проверок;  $\varphi$  – некоторая нелинейная функция, связывающая отклонения декларируемые значения дискриминантной (моделируемой) функции от расчетных;  $g$  – сквозной номер СН в исходной базе данных.

Действительно, критерий  $\psi_g$  по (4) есть не что иное, как ожидаемое значение (с учетом вероятности его отклонения от среднего) моделируемой дискриминантной функции (1). Если в качестве  $Y$  выбран, например, НДС, то функция  $\varphi(\psi_g)$  есть просто сумма (либо экспертно взвешенная сумма) критериев  $\psi_g$  на множестве  $G^*$  СН, отобранных в план:

$$\Delta c = \sum_{v=1}^{G^*} \psi_{vg}, \quad g = \overline{1, G} \quad (7)$$

где  $G$  – общее число СН.

В этом случае функционал качества отбора  $Z$  тождественно совпадает с  $\Delta c$ , и для получения функции  $\varphi(\cdot)$  не требуется построения специальной экономической модели.

Выберем в качестве функции оптимизации плана отбора величину

$$Z = \sum_{v=1}^{G^*} \psi_{vg} \rightarrow \max_g Z \quad (8)$$

$\psi_{vg}$  – критерий отбора для  $g$  – го налогоплательщика с номером  $v$  в вариационном ряду, учитывающий масштаб мероприятия относительно отклонение моделируемой дискриминантной функции  $Y$  и коэффициент масштаба  $M$ .

В силу эвристических соображений ясно, что, если дискриминантная (моделируемая) функция  $Y$  является информативной с точки зрения выявления нарушителей налогового законодательства, то существует неявная связь  $\Delta c$  с  $\psi_g$ , причем увеличение критерия отбора  $Z$  соответствует увеличению ожидаемых доначислений  $\Delta c$ .

*Функция доначислений.* Из всех реальных ограничений учтем главные – ограничения по затратам на выездные налоговые проверки. Другие затраты (на поддержание информационного обеспечения технологии компьютерных проверок, цензурирование синтезированного плана и др.) носят постоянный характер, т.е. не зависят от вида плана проверок и могут не учитываться в задаче оптимизации.

Тогда затраты на выездные проверки будем приближенно считать равными числу  $m$  выездных бригад налоговых бригад. Ограничение:

$$m \leq G^*, \quad (9)$$

где  $G^*$  - допустимое по штатному расписанию районный налоговой инспекции число выездных бригад.

*Формулировка задачи синтеза оптимального плана выездных проверок.*

Требуется найти множество номеров  $g$  СН, подлежащей выездной проверке по данному (моделируемому) виду налогов, чтобы критерий оптимизации  $Z$  был максимальным при наложенных ограничениях:

$$\Theta = \left\{ g : Z = \sum_{v=1}^{G^*} \psi_{vg} \rightarrow \max_g Z \right\}. \quad (10)$$

Таким образом, задача условной оптимизации (7-9) (с учетом ограничений) сведена к задаче безусловной оптимизации, где ограничение  $m \leq G^*$  непосредственно введено в формулу для вычисления функционала  $Z$ .

*Поисковый алгоритм.* Формулировка задачи оптимизации (10) допускает применение очень простого поискового алгоритма:

1. образуется вариационный ряд (5);
2. редуцируются первые  $G^*$  членов вариационного ряда;
3. вычисляется сумма  $Z = \sum_{v=1}^{G^*} \psi_{vg}$  редуцированных членов ряда. Это и есть решение задачи оптимизации.

Итак, предлагается гибридная нейросетевая модель (ГНСМ) налогового контроля, реализация которой требует решения двух взаимосвязанных задач:

1. задачи аппроксимации базы данных с помощью стохастической математической модели и вычисления отклонений (3) – построения НСМ;
2. задачи дискриминации (отбора) по вероятностному критерию (4) – построение дискриминантной вероятностной модели отбора (ДВМО).

Важнейшей проблемой, возникающей при построении НСМ, является проверка и обеспечение ее адекватности. Этот вопрос в рассматриваемом классе задач с искажением входных данных теоретически не разработан, поскольку при построении НС нарушаются практически все предпосылки регрессионного анализа [1]. Например, компоненты вектора входных факторов могут быть связаны между собой нелинейно или линейно. Для обеспечения адекватности НСМ воспользуемся принципом обобщенного перекрестного подтверждения (ОПП – Generalized Cross Validation (GCV)), первоначально предложенного авторами в [1]. В настоящей работе предлагается следующее

понимание метода ОПП. Цель этого метода связана со специфическими трудностями в интерпретации больших отклонений вида (3).

Идея ОПП заключается в сравнении  $D$  параллельных НСМ по близости результатов расчета по некоторой числовой мере. Если все НСМ указывают большие отклонения виде (3.) в одних и тех же точках, т.е. взаимно подтверждают классификацию соответствующих этим точкам СН как «нарушителей налогового законодательства», то оценку можно считать достаточно достоверной в рамках заданной выборки, т.к. вероятность неверной оценки по вине НСМ очень мала. Действительно, в силу независимости НСМ в этой процедуре по теореме умножения вероятностей следует [6]:

$$P_{\Sigma} (H_0) = P_1(H_0) \cdot P_2(H_0) \dots P_d(H_0) \dots P_D(H_0) < \varepsilon, d = \overline{1, D} \quad (11)$$

где  $H_0$  – нуль – гипотеза «ложной тревоги», т.е. ошибочного признания СН «нарушителем»;  $\varepsilon$  - заданное малое число, например,  $\varepsilon = 0,001$ ;  $P_d(H_0)$  - вероятность появления точки с аномально большим значением отклонения (3) по всем НСМ типа  $d$ .  $P_{\Sigma} (H_0)$  - итоговая вероятность для всех НСМ ошибочного принятия нуль – гипотезы.

Поскольку в хорошо обученных с неискаженными данными нейросетях число плохих точек (с аномально большими остатками) мало (примерно, (1...2) % от числа валидационных точек), то их вероятности малы (порядка 0,01), тогда  $P(\overline{H}_0)$  будет порядка  $(\varepsilon)^G$  и (11) легко выполняется.

В настоящей работе идея ОПП развивается в том смысле, что является взаимным подтверждением расчета по  $D$  параллельным моделям.

Получим отклонения вида (3)  $\delta_i^d$ .

Введем в качестве эталона сравнения параллельных НСМ среднее значение отклонений по параллельным сетям:

$$\overline{\delta}_i = \frac{\sum_{d=1}^D \delta_i^d}{D}, i = \overline{1, N}. \quad (12)$$

Для каждого  $i$ -го наблюдения проверки для НСМ типа  $d$  проведем выполнение неравенства допустимого уклонения от «эталона»:

$$\left| \frac{\overline{\delta}_i - \delta_i^d}{\overline{\delta}_i} \right| \leq \eta?, \quad (13)$$

где  $\eta$  - экспертно задаваемый уровень ошибки.

Рассчитаем величину  $P^d = \frac{N^d}{N}$ , где  $N^d$  - общее число точек  $i$ , для которых выполнено (13) для НСМ типа  $d$ .

Если  $P^d < P^{GCV}$ , то НСМ типа  $d$  удовлетворяет процедуре ОПП. Здесь  $P^{GCV}$  - экспертно задаваемый уровень доверительной вероятности.

Кроме обеспечения адекватности НСМ, не менее важной является обеспечение адекватности ГНСМ. Для этого предлагается следующая процедура, названная по аналогии с ОПП процедурой модифицированного обоб-

щенного перекрестного подтверждения (МОПП - Modify Generalized Cross Validation (MGCV)). МОПП играет роль обобщенной верификации ГНСМ, поскольку оценивает достоверность главного финишного результата модифицирования – оптимального плана отбора налогоплательщиков для проведения выездных проверок.

Суть процедуры МОПП заключается в сравнении планов отбора по множеству  $D^*$  параллельных моделей (10), уже прошедших процедуру ОПП:

$$\Theta^d = \left\{ g : Z = \sum_{v=1}^{G^*} \psi_{vg}^d \rightarrow \max_g Z; d = 1, D^* \right\} \quad (14)$$

Здесь верхний индекс  $d$  означает, что соответствующие величины относятся к НСМ типа « $d$ ».

**Правило:**

Если для двух оптимальных планов  $\Theta^{d_\alpha}$  и  $\Theta^{d_\beta}$   $\alpha \neq \beta$ , полученных по независимым ГНСМ типов  $d_\alpha$  и  $d_\beta$  номера СН, отобранных в оптимальные планы  $\Theta^{d_\alpha}$  и  $\Theta^{d_\beta}$  из  $G^*$  возможных точек совпадают  $G^{**}$  номеров, независимо от порядка их исследования в отрезке  $v \in [1; G^*]$ , то считается что процедура МОПП подтверждена с доверительной вероятностью

$$P^{MGCV} = \frac{G^{**}}{G^*}, G^{**} \leq G^*. \quad (15)$$

Критерием подтверждения является неравенство  $P^{MGCV} \geq \eta^{**}$ . Для  $G^{**}$  ГНСМ, прошедших процедуру МОПП, расчетное значение доверительной вероятности  $P^{MGCV}$  сравнивается с заданной доверительной вероятностью  $\eta^{**}$ . В случае  $P \geq \eta^{**}$  процедура МОПП считается выполненной.

Результаты вычислительных экспериментов. Вычислительные эксперименты были проведены на основе тех же данных, представленных в [4]. Все расчеты проводились с помощью пакета NeuroSolution 4.32 (демо-версия). На основе описанной в этой работе процедуры очистки кластера была сформирована выборка для построения рабочей модели. Для нее построены НСМ 6 типов.

1. многослойный персептрон с 1 скрытым слоем, активационной функцией сигмоида в нем;
2. многослойный персептрон с 2 скрытыми слоями, активационной функцией сигмоида в них;
3. многослойный персептрон с 2 скрытыми слоями, активационной функцией в первом скрытом слое – сигмоид, во втором – гиперболический тангенс;
4. многослойный персептрон с 1 скрытым слоем, активационной функцией гиперболического тангенса;
5. многослойный персептрон с 2 скрытыми слоями, активационной функцией гиперболического тангенса;
6. многослойный персептрон с 2 скрытыми слоями, активационной функцией в первом скрытом слое – гиперболический тангенс, во втором – сигмоид.

Активационная функция у всех НСМ в выходном слое – линейная. В качестве  $\varepsilon$  возьмем 1. Критерий значения  $\eta^*$  выберем равным 0,7.

В табл. 1 представлены отклонение  $\bar{\delta}$ , осредненное по 6 НСМ, отношение  $\left| \frac{\delta_i^d - \bar{\delta}_i}{\bar{\delta}_i} \right|$  для каждой НСМ и отношение  $\frac{N^d}{N}$ .

Таблица 1

Расчеты по выполнению процедуры ОПП (фрагмент)

I	$\bar{\delta}_i$	$\left  \frac{\delta_i^1 - \bar{\delta}_i}{\bar{\delta}_i} \right $	$\left  \frac{\delta_i^2 - \bar{\delta}_i}{\bar{\delta}_i} \right $	$\left  \frac{\delta_i^3 - \bar{\delta}_i}{\bar{\delta}_i} \right $	$\left  \frac{\delta_i^4 - \bar{\delta}_i}{\bar{\delta}_i} \right $	$\left  \frac{\delta_i^5 - \bar{\delta}_i}{\bar{\delta}_i} \right $	$\left  \frac{\delta_i^6 - \bar{\delta}_i}{\bar{\delta}_i} \right $
1	-2451%	0.027533	0.132464	0.11374	0.178015	0.149902	0.05418
2	-10%	0.469923	0.763689	0.587292	0.760434	0.986176	0.074294
3	0%	88.91956	1.328995	1.963562	60.78843	25.64496	0.806381
4	7%	2.230198	0.075848	0.485073	0.667898	1.54696	0.941912
...	...	...	...	...	...	...	...
$\frac{N^d}{N}$		0.678161	0.83908	0.83908	0.413793	0.724138	0.850575

Из табл. 1 следует, что НСМ типа 1 и 4 не прошли процедуру ОПП и из дальнейших расчетов они исключаются.

В табл. 2 представлены расчеты по синтезу оптимального плана отбора на основе НСМ прошедших процедуру ОПП (на примере НСМ типа 2).

Перейдем к процедуре МОПП. Ее результаты представлены в табл. 3.

Анализ табл. 3 показывает, что во всех 4 ГНСМ первые 5 налогоплательщиков идут в одинаковой очередности (нет заливки). Из оставшихся 15 СН 14 отпадают во всех ГНСМ (светло – серая заливка) и по 1 СН совпадают в 3 ГНСМ (черная заливка). Таким образом, вероятность МОПП 4 ГНСМ  $p^{*GCV} = 0,9$ . считаем, что все они прошли процедуру. Мы можем усреднить значения критерия  $\psi$  и составить окончательный план отбора.

На той же выборке исходных данных известен план отбора налогоплательщиков по альтернативной модели непараметрического сглаживания Estimation Tax [2], разработанной профессором Голичевым И.И. Сравнительный окончательный план отбора ГНСМ с планом отбора по модели Estimation Tax для 18 проверяющих бригад. Результаты сравнения приведены в табл. 4.

Из табл. 4 следует, что по модели совпадает 15 налогоплательщиков из 18, т.е. модели подтверждают друг друга на 83 %. Это может служить внешним подтверждением адекватности предлагаемых нами модели и алгоритма.

### Список использованных источников

1. Букаев Г.И., Бублик Н.Д., Горбатков С.А., Саттаров Р.Ф. Модернизация системы налогового контроля на основе нейросетевых информационных технологий. – М.: Наука, 2001.



Таблица 2

План отбора,  
полученный на основе  
НСМ типа 2

очеред- ность	i	pr	Ψ
1	52	c41 "-"	115.0135
2	75	c35	47.73354
3	72	c26	43.81481
4	86	c43	24.95292
5	7	c66	8.066156
6	31	c68	4.611976
7	33	c11	4.447718
8	79	c27	3.464362
9	70	c40 "-"	3.178933
10	20	c73	2.172678
11	73	c18	2.167348
12	81	c25 "-"	2.015873
13	22	c71	1.418029
14	42	c46	1.375976
15	8	c52	1.219887
16	24	c57	1.172726
17	85	c16	0.772408
18	82	c17	0.720372
19	21	c77	0.663811
20	14	c48	0.62328

Таблица 3

Сравнение ГНСМ  
по критерию  
МОПП

очеред- ность	ГНСМ 2	ГНСМ 3	ГНСМ 5	ГНСМ 6
1	c41 "-"	c41 "-"	c41 "-"	c41 "-"
2	c35	c35	c35	c35
3	c26	c26	c26	c26
4	c43	c43	c43	c43
5	c66	c66	c66	c66
6	c68	c11	c68	c68
7	c11	c68	c27	c27
8	c27	c40 "-"	c11	c11
9	c40 "-"	c27	c40 "-"	c40 "-"
10	c73	c73	c73	c18
11	c18	c18	c18	c25 "-"
12	c25 "-"	c25 "-"	c25 "-"	c73
13	c71	c71	c71	c52
14	c46	c46	c52	c71
15	c52	c52	c46	c48
16	<b>c57</b>	<b>c57</b>	c16	c46
17	c16	c77	c77	<b>c57</b>
18	c17	c48	c17	c17
19	c77	c17	c48	c16
20	c48	c16	c42 "-"	c77

Таблица 4

Сравнение ГНСМ  
с альтернативной  
моделью отбора

ГНСМ	Estimation tax
c41 "-"	c41 "-"
c35	c60
c26	c21
c43	c35
c66	c11
c68	c26
c11	c43
c27	c18
c40 "-"	c40 "-"
c73	c73
c18	c68
c25 "-"	c27
c71	c71
c52	c46
c46	c25 "-"
c57	c66
c16	c78

2. Бублик Н.Д., Голичев И.И., Горбатков С.А., Смирнов А.В. Теоретические основы разработки технологии налогового контроля и управления. – Уфа: Изд-во Башгосуниверситета, 2004.

3. Горбатков С.А., Полупанов Д.В. Совершенствование нейросетевой математической модели налогового контроля на основе общесистемных закономерностей кибернетики // Нейрокомпьютеры: разработка, применение - 2005. - № 3 - С. 43-52.

4. Полупанов Д.В. Об одном методе предобработки сильнозашумленных данных при построении нейросетевой модели налогового контроля // Информационные технологии моделирования и управления - 2005. - № 6 (настоящий выпуск)

5. Введение в экономико-математические модели налогообложения: Учебное пособие / Под. ред. Д.Г. Черника – М.: Финансы и статистика, 2000.

6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учебное пособие. – М.: Наука, 1969.

Полупанов Д.В.

## ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ПРЕДОБРАБОТКИ СИЛЬНОЗАШУМЛЕННЫХ ДАННЫХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ НАЛОГОВОГО КОНТРОЛЯ

*Башкирский государственный университет (Уфа)*

В статье рассматриваются вопросы совершенствования нейросетевых моделей (НСМ) в рамках разработки новых информационных технологий налогового контроля. Первые результаты построения НСМ камеральных налоговых проверок и отбора налогоплательщиков для выездных налоговых проверок приведены в [1,2].

При построении НСМ важную роль играют процедуры предобработки данных, особенно в условиях их возмущений и существенных искажений [3]. Наиболее это характерно для рассматриваемого класса задач [1,2], в котором проявляются тяжелые условия моделирования, связанные с сознательным искажением данных налоговых деклараций, изменчивостью внутренней структуры предприятий-налогоплательщиков и стохастическим влиянием внешней среды. В отличие от [4], где каждый субъект налогообложения был представлен ежеквартальными наблюдениями в промежутке от одного года до трех, в работе рассмотрен более трудный случай дефицита наблюдений – каждый налогоплательщик представлен данными деклараций не более чем за два периода наблюдений. Это связано с особенностями данной отрасли экономики – строительством и налогообложением предприятий в ней.

Актуальность поставленной задачи и предложения по модернизации существующей технологии проверок представлены, например, в [2]. Предложено вычислять «эталонное значение»  $\hat{y}$  моделируемого показателя  $Y$  по значениям вектора входных факторов  $\bar{x}$ , взятых из ежеквартальных налоговых деклараций и вычислении разности между декларируемыми значениями показателя  $Y$  и «эталонными»  $\hat{y}$ . Смысл термина «эталонное значение» отражает объективный характер получаемой оценки, поскольку она обусловлена статистической обработкой данных по достаточно большой и однородной выборке налогоплательщиков.

**Построение НСМ.** Пусть имеется кластер наблюдений – данных налоговых деклараций, представляющих собой кортежи  $\langle \bar{x}, y \rangle_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ ;  $i$ - номер наблюдения – отчетного периода для налогоплательщика;  $\bar{X} = (X_1, \dots, X_n)$ - вектор входных факторов,  $Y$  – моделируемая выходная величина.

С помощью нейронной сети (НС) построим отображение вида:

$$\hat{y} = F(\bar{x}, W), \bar{x} \in \mathfrak{R}^n, \hat{y} \in \mathfrak{R}^1, \quad (1)$$

где  $\bar{x} = (x_1, \dots, x_n)$  конкретная численная реализация случайного вектора входных факторов  $X$ ;  $y$  – декларируемая налогоплательщиком конкретная числовая реализация наблюдаемой выходной случайной величины  $Y$ ;  $\hat{y}$  – эталон – расчетное значение случайной величины  $Y$  по (1);  $\{W\}$  – множество оцениваемых синаптических весов НС. Отметим, что  $\hat{y}$  есть ничто иное, как ап-

проксимация объясненной части условного математического ожидания случайной величины  $Y$ , при условии, что вектор  $\bar{X}$  принял фиксированное значение  $\bar{x}$

$$\hat{y} = M[Y|\bar{X} = \bar{x}]. \quad (2)$$

Считаем, что  $\bar{x}$  и  $y$  некоторым образом зашумлены, оператор НС-отображения  $F$ , включающий в себя искомые синаптические веса  $\{W\}$ , оказывается также возмущенным, активационные функции НС выбираются априорно при построении НС и являются детерминированными.

В [4] нами предложено применять фоновую общесистемную закономерность кибернетики для построения НСМ. В качестве «фона» используется усредненная («эталонную») производственная функция однородного кластера налогоплательщиков вида (1), точнее условное математическое ожидание этой функции (2). Применение фоновой закономерности предполагает выявление и устранение аномальных для данного кластера наблюдений, в которых декларируемая выходная величина  $y$  существенно отличается от эталонного значения  $\hat{y}$ .

При устранении аномальных наблюдений возникает вопрос – до какого предела проводить очистку кластера? На этот вопрос отвечает предлагаемый ниже алгоритм.

Традиционно методы предобработки данных и устранения аномальных наблюдений [5] никак не связаны с последующим построением моделей. Предлагаемый нами алгоритм, наоборот, увязывает эти процедуры.

**Алгоритм очистки кластера от аномальных наблюдений по векторному критерию точности, устойчивости и детерминированности.** Принципиально новым подходом к решению задачи удаления аномальных наблюдений являются три предложения:

- связать процедуру повышения однородности данных в кластере с процедурой обучения НС;
- сделать процесс удаления аномальных точек оптимальным, что важно в условиях дефицита наблюдений в кластере;
- применить обобщенный критерий оптимизации, учитывающий точность получаемых НСМ, их устойчивость к возмущению входных данных и корреляционную связь между декларируемым и расчетным значениями выходной величины, что важно для сильнозашумленных данных.

Исходный кластер  $\langle \bar{X}, Y \rangle_{i=1, \bar{N}}$  разобьем на три множества – обучающее множество НС, на примерах которого будем строить НСМ, перекрестного подтверждения (Cross Validation) или валидационное, на данных которого осуществляется стандартная процедура перекрестной проверки [3] и тестовое или экзаменационное, данные которого служат для независимого тестирования и получения оценок точности, устойчивости и детерминированности.

Пусть  $\Omega^{test} \subset \Omega$  - множество индексов  $i$ , которые соответствуют наблюдениям, вошедших в тестовое множество ( $\Omega$  - множество всех индексов). Всего в тестовом множестве  $N^{test}$  наблюдений.

---

По результатам построения НС определим ошибку обобщения как

$$E = \frac{\|y - \hat{y}\|}{\|y\|}, \quad (3)$$

где  $y = (y_1, \dots, y_{N_{test}})^T$  - вектор-столбец декларируемых значений выходной величины  $Y$ ,  $\hat{y} = (\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_{N_{test}})^T$  вектор-столбец расчетных по (1) значений  $Y$ ,

$\|y\| = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{test}} y_i^2}$  - евклидова норма вектора столбца.

Формула (3) служит критерием точности модели: чем меньше ошибка обобщения, тем точнее НСММ. Такой вид ошибки обобщения отличается от традиционного представления [3], но удобен, во-первых тем, что не зависит от размеров тестового множества. Во-вторых, он показывает относительное значение нормы разности между расчетным и декларируемым значением. В качестве критерия устойчивости НСММ введем аналог константы Липшица

$$S = \frac{|\hat{y}_\alpha - \hat{y}_\beta|}{\|x_\alpha - x_\beta\|_{\mathbb{R}^n}}, \quad (4)$$

где векторы  $\vec{x}_\alpha, \vec{x}_\beta$  близки по норме в  $\mathbb{R}^n$ ,  $\|x\|_{\mathbb{R}^n} = \sqrt{\sum_{j=1}^n x_j^2}$  - евклидова норма

$\mathbb{R}^n$ :  $\hat{y}_\alpha = F(x_\alpha, W)$ ,  $\hat{y}_\beta = F(x_\beta, W)$ , - расчетные значения выходной величины по (1) в моменты наблюдений  $\alpha, \beta$ .

(4) - показатель сжатия-растяжения НСМ. Чем меньше  $S$ , тем больше НС-отображение (1) сжимающее и, соответственно, тем оно более устойчиво.

Критерий детерминированности определим как аналог коэффициента детерминации [5].

$$R = 1 - (r(y, \hat{y}))^2, \quad (5)$$

где  $r(y, \hat{y})$  - коэффициент корреляции между декларируемым и расчетным по НСММ значением выходной величины  $Y$ .

Обобщенный векторный критерий  $\Phi$  введем как взвешенную сумму частных критериев:

$$\Phi = c_1 E + c_2 S + c_3 R; c_1 + c_2 + c_3 = 1. \quad (6)$$

Будем считать все частные критерии равноправными, т.е.  $c_1 = c_2 = c_3 = 1/3$ .

Частные критерии точности, устойчивости и детерминированности взаимно противоречивы, что обогащает решение задачи повышения однородности данных в кластерах. Взаимная противоречивость указанных частных критериев является характерным атрибутом задач оптимальной аппроксимации при сильном зашумлении данных. Так мы приходим к задаче многокритериальной оптимизации при сглаживании поверхности отклика (1) путем итерационного удаления аномальных точек из кластера при построении рабочей НСММ.

Рассчитаем  $E^{(0)}, S^{(0)}, R^{(0)}, \Phi^{(0)}$  для НСММ, построенной на данных первоначального кластера. Индекс в скобках здесь - номер итерации. Для всего кластера найдем по (1) расчетное значение выходной величины  $\hat{y}_i, i = \overline{1, N}$ . Оп-

ределим аномальные наблюдения. Аналогично [4] будем считать наблюдение аномальным если относительное значение отклонения между расчетной и выходной величиной

$$\delta_i = \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\% > \varepsilon, \quad (7)$$

где  $\varepsilon$  – экспертно задаваемый верхний предел приемлемого уровня погрешности. Например  $\varepsilon = 100\%$ .

Устранив в кластере аномальные наблюдения, построим новую НСМ – на следующей итерации, для которой найдем  $E^{(i)}, S^{(i)}, R^{(i)}, \Phi^{(i)}$  по формулам (3), (4), (5), (6) и т.д.

**Утверждение.** Итерационный процесс, который, по сути, является численным методом оптимального сглаживания данных в кластере, останавливается по правилу:

а) либо нарушается условие репрезентативности выборки в данном кластере;

б) либо достигается минимум в рассматриваемой многокритериальной задаче оптимизации.

Конкретизируем правила а) и б).

**Правило а).** Репрезентативность можно определить экспертным способом. Многочисленные вычислительные эксперименты, проведенные в [1,2,4], показали, что для построения НСМ с хорошими прогностическими свойствами (контрастом распознавания образа «нарушителя» в декларациях) необходимо иметь число точек в кластере

$$N \geq \zeta n, \quad (8)$$

где  $\zeta$  – эмпирический коэффициент ( $\zeta \sim 5 \dots 10$ ), которое вытекает из известного эмпирического соотношения [6]:

$$N \cong \frac{n}{\delta}, \quad (9)$$

где  $\delta$  – относительная допустимая погрешность НСМ, обычно принимаемая за 10%.

**Правило б).** В силу изложенных в [4] соображений будем считать состоятельной задачу оптимизации, существует такой номер итерации  $k^*$ , для которого  $\Phi^{(k^*)} = \min_k \Phi^{(k)}$ , где  $k$  – текущий номер итерации.

Смысл задачи оптимизации состоит в том, что с увеличением номера итерации  $k$  в каждом кластере остается все меньше точек и растет однородность этой статистической выборки  $N^{(k)}$ , т.е. уменьшается обобщенный критерий (6). Однако уменьшение объема выборки снижает качество обучения НСМ и, начиная с некоторого номера итераций  $k$  критерий (6) начинает расти вследствие дефицита обучающих примеров.

Минимизация критерия (6) выполняется графически. Строится график функции  $\Phi^{(k)}$ . Шаг итераций округляется до ближайшего целого. Полученный на шаге  $k^*$  сглаженный кластер считается окончательно сформированный базой данных, НСМ, построенную на данной итерации следует использовать в

дальнейшем в качестве рабочей модели, например при построении модели синтеза оптимального плана отбора для выездных проверок [4]. Этой рабочей модели обязательно будут предъявлены удаляемые на каждой итерации аномальные точки.

Справедливость вышеизложенного утверждения обоснована численно при построении НСМ камеральных налоговых проверок для предприятий строительства. Расчеты проводились в рамках НИР по заказу Федеральной налоговой службы РФ.

**Результаты вычислительных экспериментов.** В качестве определяющих входных факторов были выбраны:  $X_1$  – все доходы, тыс. руб.;  $X_2$  – остаточная стоимость основных средств, тыс. руб.;  $X_3$  – фонд оплаты труда, тыс. руб.;  $X_4$  – прибыль (убыток) от продаж, тыс. руб.;  $X_5$  – дебиторская задолженность, тыс. руб.; В качестве выходного показателя  $Y$  принята сумма платежей по НДС, тыс. руб.

Фрагмент исходных данных предоставлен в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные (фрагмент)

$i$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$Y$
1	898 028	62 343	11 429	1 223	276 025	-1 129
2	811 063	188 422	8 917	4 750	133 251	29 253
3	503 025	183 408	6 210	9 693	192 339	24 107
...	...	...	...	...	...	...

Все расчеты проводились с помощью пакета NeuroSolution 4.32 (демо-версия). С учетом имеющегося у авторов опыта по построению НС в данном классе задач [1, 2], вычислительный эксперимент проводился с помощью НС типа многослойный персептрон с двумя скрытыми слоями. Оптимальное число нейронов в первом скрытом слое  $n_1$ , во втором –  $n_2$  подбирались в процессе обучения НС. Активационная функция в первом скрытом слое – сигмоид, во втором – гиперболический тангенс, в выходном – линейная. Число примеров в обучающем множестве составило 80% от общего числа примеров в кластере, в множестве перекрестного подтверждения и тестовом – по 10%.

Обобщенные результаты экспериментов представлены на рис. 1. и в табл. 2, в которых отражены значения точности  $E$  – кривая 1, устойчивости  $S$  – кривая 2, детерминированности  $R$  – кривая 3 и финишного критерия  $\Phi$  – кривая 4 на каждой  $k$ -ой итерации. В таблице приведены значения коэффициента корреляции  $r$ , числа примеров в кластере  $N$ , оптимального числа нейронов в слоях  $n_1$  и  $n_2$ , числа аномальных наблюдений  $A$ , определяемого согласно выполнению (7) и среднего значения отклонения  $\bar{\delta} = \frac{\delta_i}{N}$  на итерации.

Отметим, что на итерациях 4, 5 и 6 отсутствуют наблюдения, у которых  $\delta_i > 100\%$ . Аномальными наблюдениями будем в этих случаях считать те,

у которых отклонения  $\delta_i > 75\%$  для 4 итерации и  $\delta_i > 50\%$  для 5 и 6 итерации. Число таких наблюдений представлено в скобках.

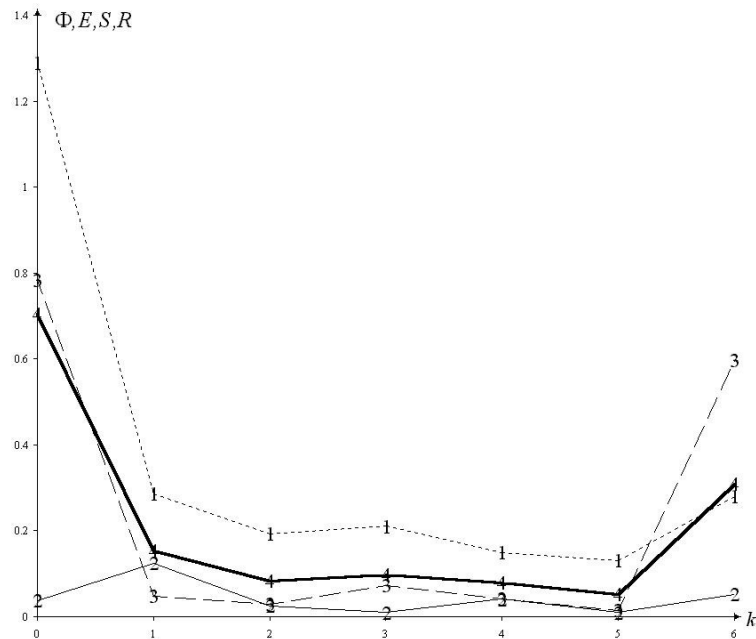


Рис. 1. Зависимость частных критериев точности  $E$ , устойчивости  $S$ , детерминированности  $R$  и финишного критерия  $\Phi$  от номера итерации

Таблица 2

Сводная характеристика каждой итерации

$k$	0	1	2	3	4	5	6
$E$	1.291213	0.286424	0.193496	0.210382	0.149139	0.130135	0.278601
$S$	0.037669	0.123819	0.025342	0.011383	0.042363	0.009401	0.051871
$r$	-0.46631	0.97635	0.985406	0.963509	0.978934	0.992249	0.63592
$R$	0.782558	0.046741	0.028975	0.071651	0.041689	0.015441	0.595606
$\Phi$	0.70381333	0.152328	0.0826043	0.0978053	0.0777303	0.051659	0.3086927
$N$	87	69	65	63	59	56	48
$n_1$	10	10	8	7	8	5	8
$n_2$	8	7	10	9	10	3	8
$A$	18	4	4	4	0(3)	0(8)	0(2)
$\bar{\delta}$	286%	42%	35%	34%	32%	27%	21%

Анализ показывает, что ошибка обобщения уменьшилась более чем в 4,5 раза на первой итерации и достигла своего минимального значения на пятой. Последующий ее рост может быть объяснен малым объемом выборки. Увеличение критерия устойчивости  $S$  более чем в 3,2 раза на первой итерации, т.е. уменьшение свойств сжатия НС-отображения может быть объяснено тем, что при сильных искажениях данных НС-отображение хорошо аппроксимирует зашумления, а не истинную зависимость, и эта аппроксимация зашумлений устойчива. Подтверждение тому – отрицательное значение коэффициента корреляции  $r$ . По мере удаления аномальных точек, НС начинает аппроксимировать истинную зависимость и свойства сжатия увеличиваются. На пятой итерации зависимость  $s^{(k)}$  также достигает своего минимума. Ана-

логично, на пятой итерации критерий  $R^{(k)}$  достигает своего минимального значения. Таким образом, получен кластер для рабочей НСМ. Последующее выбрасывание аномальных точек приводит только к ухудшению НСМ. Это можно объяснить тем, что число примеров  $N$  становится меньше, чем удесятеренное число входных факторов  $n$ , тем самым нарушается (9)

Таким образом сформулированное утверждение доказано численно, найден номер оптимальной итерации и получен кластер для создания рабочей модели, очищенный от аномальных наблюдений.

Полученная база данных очищенного кластера служит основой построения рабочих НСМ для последующего синтеза оптимального плана выездных проверок.

### Список использованных источников

1. Букаев Г.И., Бублик Н.Д., Горбатков С.А., Саттаров Р.Ф. Модернизация системы налогового контроля на основе нейросетевых информационных технологий. – М.: Наука, 2001.
2. Бублик Н.Д., Голичев И.И., Горбатков С.А., Смирнов А.В. Теоретические основы разработки технологии налогового контроля и управления. – Уфа: Изд-во Башгосуниверситета, 2004.
3. Ежов А.А., Шумский С.А. Нейрокомпьютинг и его применение в экономике и бизнесе. – М.: МИФИ, 1998.
4. Горбатков С.А., Полупанов Д.В. Совершенствование нейросетевой математической модели налогового контроля на основе общесистемных закономерностей кибернетики // Нейрокомпьютеры: разработка, применение" - 2005. - № 3 - С. 43-52.
5. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ, 1998.
6. Бэстенс Д.-Э., Ван дер Берг В., Вуд Д. Нейронные сети и финансовые рынки: принятие решений в торговых операциях. – М.: ТВП, 1998.

**Черняев А.В., Полякова А.И.**

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*«МАТИ» - Российский государственный технологический университет  
им К.Э. Циолковского (Москва)*

### Введение

Повышение требований экологической безопасности производств, совершенствования управления промышленными предприятиями и развитие ИПИ (СALS) технологий делают несомненно актуальной задачу развития систем информационного обеспечения процессов экологического менеджмента (ЭМ) предприятий.

В последнее время множество значительное внимание уделяется перспективам построения интегрированных систем менеджмента [1]. По нашему мнению термин «интеграция» здесь не слишком уместен. Реально в менеджменте интегрированию поддается лишь незначительная часть функций (трудно себе представить, к примеру, реальную интеграцию финансового,



кадрового и социального менеджмента с экологическим или менеджментом качества). Точнее было бы говорить о систематизации различных видов менеджмента в единую системно-информационную среду. В этом случае появляется и единообразие подходов (на основе информационного) и соответствие критериев (принятия решений) и перспективы развития действительно эффективной автоматизации процессов управления предприятием. Комплекс задач, решаемых в процессе создания эффективной системы экологического менеджмента (СЭМ) промышленного предприятия, весьма разнообразен. Основные из них следующие:

- разработка экологической политики и стратегии;
- определение целей и задач предприятия в экологической области;
- анализ экологических рисков;
- создание экологического паспорта предприятия;
- разработка целевых и плановых экологических показателей;
- разработка природоохранных мероприятий
- эко-контролинг и эко-аудит;
- оценка эффективности СЭМ.

Интеграция СЭМ в общую систему менеджмента предприятия к имеющимся трудностям внедрения стандартных СЭМ, таких как разрыв между реальной практикой ЭМ и формальными стандартами и процедурами, бюрократизация последних, сложность оценки эффективности, нечеткость и субъективность критериев экологической сертификации добавляет еще требования соответствия стандартам качества, а также совместимости с имеющимися на предприятии автоматизированными системами управления. Без подобной интеграции невозможно обеспечение долгосрочной конкурентоспособности промышленного предприятия в условиях современного динамичного рынка. Решение данной задачи требует развития базовых принципов организации системной информационной поддержки процессов комплексного управления предприятием, в частности экологического менеджмента.

### **Структурная модель информационной поддержки процессов экологического менеджмента**

Базовая структура системы информационного обеспечения процессов ЭМ на промышленном предприятии показана на рис. 1. Естественно, процесс начинается со сбора информации. Он может быть как автоматизированным с использованием автоматизированных систем экологического мониторинга, так и ручным с помощью представляемой соответствующими службами документации. Эта информация весьма неоднородна по способам представления, форматам, полноте и новизне. Поэтому далее следует этап первичной обработки информации. Помимо традиционных задач согласования форматов, типовых операций типа удаления шума или случайных выбросов, выбора стратегии обработки отсутствующих полей данных и так далее, на данном этапе происходит также выделение особых групп данных, объединенных по какому-либо одному или нескольким критериям, а также выборка и сегмен-

---

тация данных, их сортировка по определенному признаку, исключение из процесса анализа данных, относящихся к другому периоду, или нахождение инвариантных их представлений.

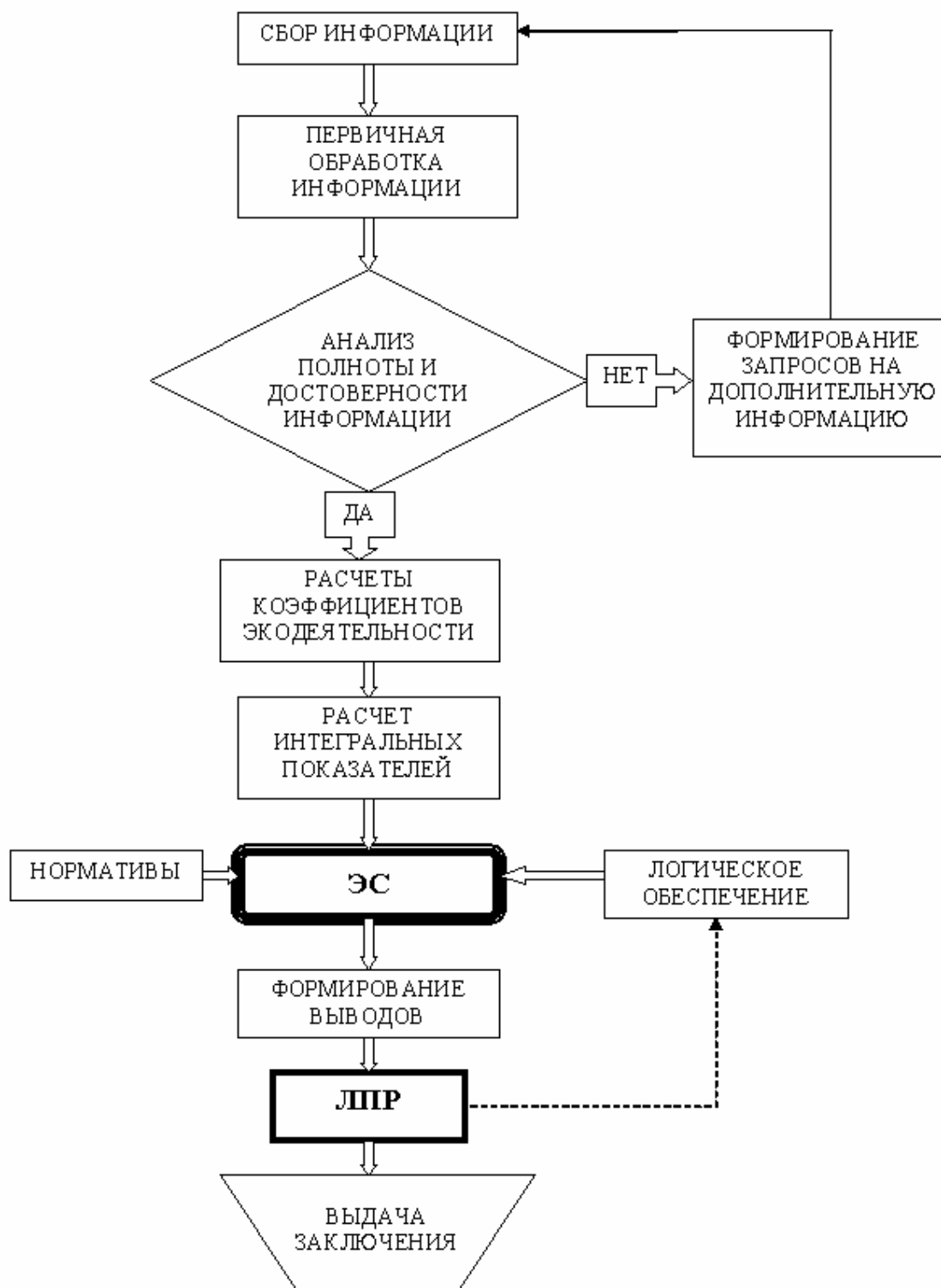


Рис. 1. Структура информационного обеспечения экологического менеджмента

Далее проводится анализ полноты и достоверности (точнее непротиворечивости, т.к. оценка достоверности на практике часто затруднительна). В

случае отрицательного решения происходит формирование системы запросов недостающей информации или разрешения на ее автоматическое исправление и/или обновление. Если собранная информация отвечает предъявляемым требованиям, то на ее основе производятся расчеты коэффициентов по основным аспектам экодеятельности предприятия и (на их основе) интегральных показателей. Далее вся информация об этих показателях направляется в экспертную систему (ЭС), где по выработанным критериям производится ее сравнение с нормативами, эталонными значениями и т.п. Поскольку сама задача построения такой ЭС (не говоря уж об обеспечении ее эффективного и надежного функционирования) является достаточно сложной, то для ее решения могут быть предложены различные методы. Наиболее перспективные из них используют интеллектуальные методы обработки информации и экспертные системы со структурой рекурсивного характера, более подробно описанного нами ранее [2]. Экспертная система обеспечивает формирование выводов, которые и предоставляются «лицу, принимающему решения» (ЛПР). Ясно, что его роль особенно значима не только при формулировании окончательных выводов и заключений, но и при возможных модификациях системы логического обеспечения ЭС.

#### **Базовые структуры интеллектуальной системы информационной поддержки процессов экологического менеджмента**

Нами предложена модельная структура интеллектуальной информационной системы поддержки процессов экологического менеджмента (рис. 2). Особый интерес представляют возможности ее согласования как с имеющимися и перспективными стандартами, применяющимися при построении комплексных ИПИ систем, так и в соответствии с принципами, рассмотренными выше, ее основой является экспертная система, осуществляющая прогнозирование, системный контроль и поддержку процессов принятия решений. С одной стороны в нее поступают входные данные (естественно после их первичной обработки), а с другой набор экологических стандартов, критериев, методов и алгоритмов их оценки, проверки и согласования. После первичной обработки и фильтрации структурированная информация идет в подсистему формирования знаний, которая включает блок вывода решений, блок математического моделирования, блок согласования и верификации, а также рабочие банки моделей. После процедуры вывода, согласования и верификации происходит извлечение и формирование системы знаний. Закрепление обнаруженных знаний происходит путем их сохранения в требуемом формате, то есть сохранение их производится в наиболее наглядном для последующего анализа виде. Следует отметить, что в данном случае имеются в виду «машинные» знания. При этом их согласование со знаниями и мнениями экспертов представляет собой особую и сложную проблему, решение которой еще далеко от завершения [3]. Одним из возможных способов частичного решения данной задачи представляется использование метода динамических приоритетов, аналогично тому, как он используется при планировании про-

---

изводственных процессов [4]. В системе имеются также рабочие банки (или хранилища) данных, из которых при необходимости информация предоставляется пользователям в соответствии с их запросами и приоритетами.

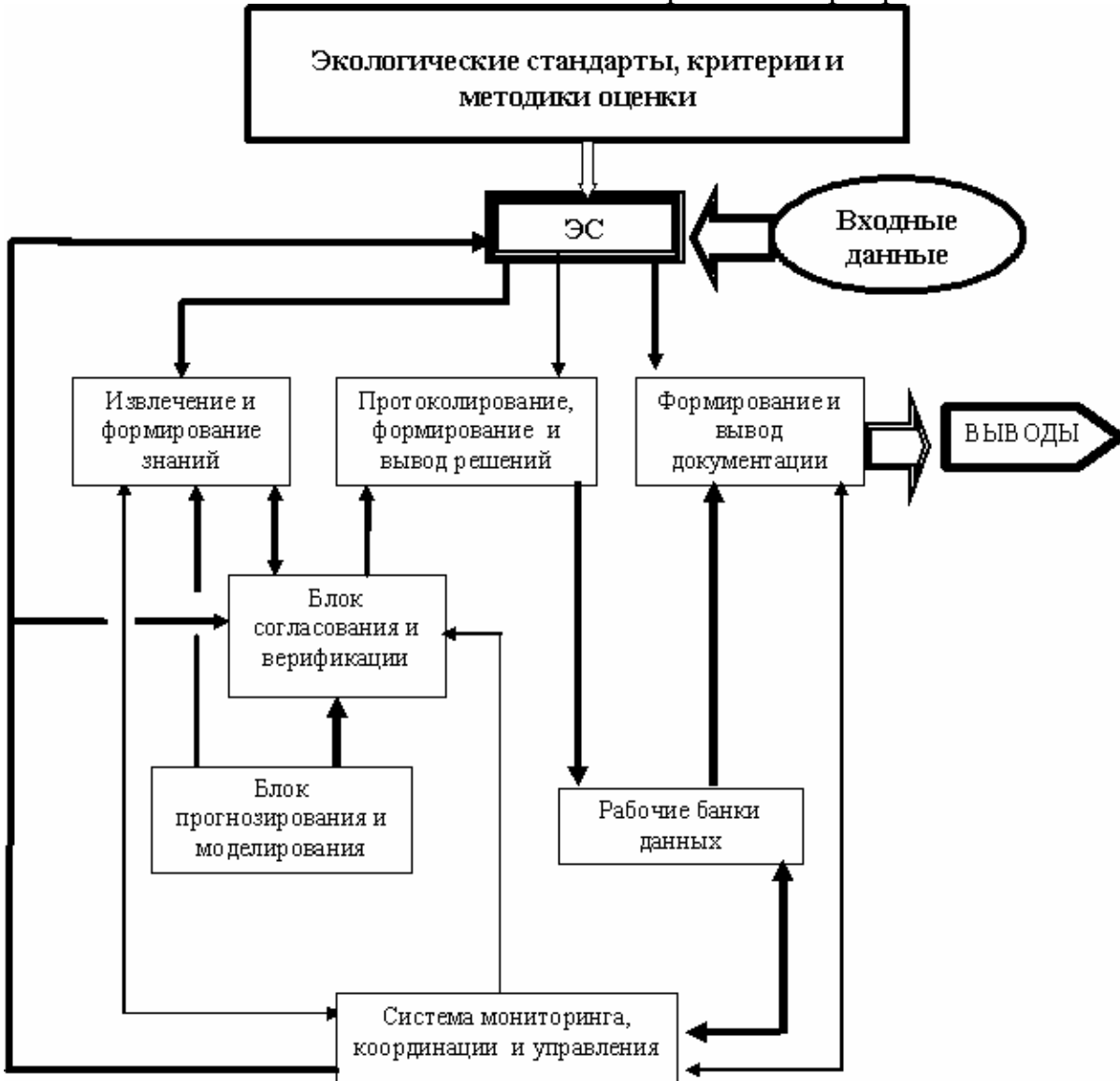


Рис. 2. Структура интеллектуальной системы обработки экологических данных: информационная  $\longrightarrow$  и управляющая  $\longrightarrow$  связи

Естественно, работа всех элементов системы координируется соответствующим образом, а всей ее сложной деятельностью управляет блок координации и управления. На схеме не указано наличие в системе интерфейсов и разнообразных прикладных инструментальных и программных средств, облегчающих ее реализацию и позволяющих использовать большие объемы ранее полученных данных, зависимостей, моделей, экспертную и прогнозную информацию, а также существующую нормативную, конструкторскую и технологическую документацию. Не показаны и информационные средства для реализации методов автоматизированной поддержки процессов принятия решений, интерпретации и оценки системы полученных знаний аналитиком. Разработка подобных методов и средств представляет собой отдельную

сложную и многогранную проблему, решению которой, надеемся, будет уделено в будущем достаточное внимание.

### **Заключение**

Информационный подход на основе четко выработанных критериев получения, представления, анализа и управления информацией является основой для реальной интеграции (хотя правильнее было бы говорить о систематизации) менеджмента предприятия - информационного, производственного и экологического. Это требует разработки единой информационной платформы, обеспечивающей совместимость интеллектуальных методов и средств автоматизированной поддержки процессов управления.

Ясно, что поддержание целостности и устойчивости системы, ее оптимизация, устранение избыточности данных и т.д. являются самостоятельными и сложными задачами. Особенно важной представляется проблема согласования получаемых знаний, их верификация, объяснение в доступной форме методологии получения решений, а также мониторинг функционирования системы и формирование блоков вывода и протоколирования. Несомненно важным представляется включение в систему развитых средств моделирования, т.к. формируемые базы знаний представляют собой по сути базы моделей. Не следует забывать и о необходимости разработки соответствующих интерфейсов.

При практической реализации системы особенно важным представляется поддержание системной устойчивости, непосредственно определяющей надежность и безопасность функционирования автоматизированных систем информационной поддержки процессов экологического менеджмента на промышленных предприятиях.

Разработка принципов создания, интеграции и развития систем информационного обеспечения процессов экологического мониторинга и менеджмента предприятий и их внедрение в промышленную практику дает возможность эффективно и осознанно использовать неформальные структуры, снижать экологические риски, повысить эффективность менеджмента на предприятии и мотивацию его сотрудников, более эффективно взаимодействовать с государственными и общественными органами, улучшить имидж предприятия, что в конечном итоге позволит реализовать его долгосрочные конкурентные преимущества в быстроизменяющихся рыночных условиях.

### **Список использованных источников**

1. Посвежинский В.Ф., Пилюгин Е.Ф. Системы менеджмента предприятий: возможности интегрирования. Экология производства. 2005, № 5 с. 12-21.
  2. Полякова А.И., Черняев А.В. Особенности структуры экспертной системы для мониторинга инвестиционного процесса в приборостроении. Тр. между. конф. «Современное машиностроение: управление эффективным развитием» Москва, 2004. с. 202 -204
  3. Черняев А.В. Особенности построения систем знаний в области сложных технологических процессов. Конструкторско-технологическая информатика - 2000: труды конгресса. М., т. 2, с. 254-256.
-

## 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Деркачев А.Н.

### МОДЕЛЬ НЕЙРОННОЙ СЕТИ СО СМЕШАННЫМ (ЧЕТКИЕ И НЕЧЕТКИЕ) ТИПОМ ВХОДОВ

*Воронежский государственный технический университет*

Нейронные сети получили широкую популярность благодаря способности относительно легко адаптироваться к различным отраслям знаний. Они обладают свойствами, необходимыми для различных практических приложений: предоставляют универсальный механизм аппроксимации, адекватный многомерным массивам данных, способны обучаться и адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды, могут обобщать полученные знания.

Все эти положительные качества послужили причиной широкого применения нейронных сетей для решения самых разнообразных задач. Однако ввиду своей природы нейронные сети могут принимать в качестве входного вектора только вектор из четких значений. Нечеткие переменные на вход нейронной сети поданы быть не могут, что не позволяет применять их для решения задач, которые описываются (частично или полностью) нечеткими параметрами.

Для преодоления этого затруднения предлагается следующая модель нейронной сети. Для того чтобы учесть влияние нечеткой переменной необходимо преобразовать ее к виду, который нейронная сеть сможет воспринять, сохранив при этом характер поведения заданной нечеткой переменной. Для этого можно использовать функцию принадлежности  $m(x)$  заданной нечеткой переменной, которая удовлетворяет вышеизложенным требованиям. Предложенное преобразование необходимо сделать до подачи переменной в нейронную сеть, т.о. между нечеткими входами и нейронной сетью необходимо добавить блок, преобразующий лингвистическую информацию в значение функции принадлежности. С учетом предложенного дополнения структура нейронной сети примет вид, представленный на рис. 1.

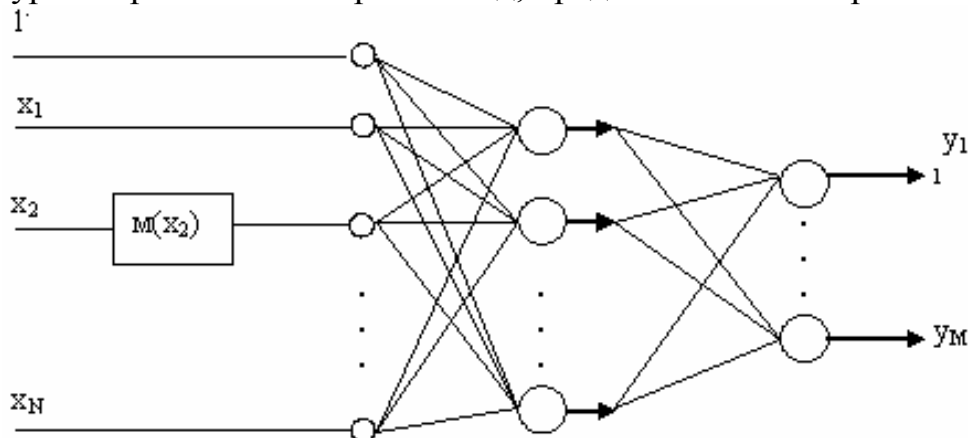


Рис. 1. Обобщенная структура двухслойной сигмоидальной нейронной сети с нечеткими входными переменными

Как видно из рис. 1, между нечеткой переменной (в данном случае  $x_2$ ) и входом нейронной сети добавляется блок, преобразующий переменную в функцию принадлежности  $m(x)$ .

Способ определения функции принадлежности играет важную роль т.к. от него во многом зависит то, насколько точно функция принадлежности будет отражать поведение исходной переменной.

Определить функцию принадлежности для заданной нечеткой переменной можно, например, с помощью следующего способа. Пусть  $\hat{S}$  - некоторое свойство, которое рассматривается как лингвистический терм. Нечеткое множество, с помощью которого формализуется терм  $\hat{S}$ , представляет собой совокупность пар:

$$\hat{S} = \left\{ \frac{\mu_s(u_1)}{u_1}, \frac{\mu_s(u_2)}{u_2}, \dots, \frac{\mu_s(u_n)}{u_n} \right\},$$

где  $\{u_1, u_2, \dots, u_n\} = U$  – универсальное множество, на котором задается нечеткое множество  $S \subset U$ ;  $\mu_s(u_i)$  – степень принадлежности элемента  $u_i \in U$  нечеткому множеству  $\hat{S}$ .

Задача состоит в том, чтобы определить значения  $\mu_s(u_i)$  для всех  $i = \overline{1, n}$ . Совокупность этих значений и будет составлять неизвестную функцию принадлежности.

Метод, который предлагается для решения поставленной задачи, базируется на идее распределения степеней принадлежности элементов универсального множества согласно с их рангами.

В нашем случае под рангом элемента  $u_i \in U$  будем понимать число  $r_s(u_i)$ , которое характеризует значимость этого элемента в формировании свойства, которое описывается нечетким термом  $\hat{S}$ . Допускаем, что выполняется правило: чем больший ранг элемента, тем больше степень принадлежности.

В дальнейшем введем такие обозначения:

$$r_s(u_i) = r_i, \quad \mu_s(u_i) = \mu_i, \quad i = \overline{1, n}.$$

Тогда правило распределения степеней принадлежности можно задать в виде соотношения:

$$\frac{\mu_1}{r_1} = \frac{\mu_2}{r_2} = \dots = \frac{\mu_n}{r_n} \quad (1)$$

для которого прибавляется условие нормирования:

$$\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n = 1 \quad (2)$$

Используя соотношение (1), легко определить степени принадлежности всех элементов универсального множества через степень принадлежности опорного элемента.

Если опорным является элемент  $u_1 \in U$  с принадлежностью  $\mu_1$  то

$$\mu_2 = \frac{r_2}{r_1} \mu_1, \quad \mu_3 = \frac{r_3}{r_1} \mu_1, \dots, \mu_n = \frac{r_n}{r_1} \mu_1 \quad (3)$$

Для опорного элемента  $u_2 \in U$  принадлежностью  $\mu_2$  получаем:

$$\mu_1 = \frac{r_1}{r_2} \mu_2, \mu_3 = \frac{r_3}{r_2} \mu_2, \dots, \mu_n = \frac{r_n}{r_2} \mu_2 \quad (4)$$

И наконец, для опорного элемента  $u_n \in U$  с принадлежностью  $\mu_n$  имеем:

$$\mu_1 = \frac{r_1}{r_n} \mu_n, \dots, \mu_{n-1} = \frac{r_{n-1}}{r_n} \mu_n \quad (5)$$

Учитывая условие нормировки (2), из соотношений (3) – (5) находим:

$$\left. \begin{aligned} \mu_1 &= \left( 1 + \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_3}{r_1} + \dots + \frac{r_n}{r_1} \right)^{-1} \\ \mu_2 &= \left( \frac{r_1}{r_2} + 1 + \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{r_n}{r_2} \right)^{-1} \\ &\dots \\ \mu_n &= \left( \frac{r_1}{r_n} + \frac{r_2}{r_n} + \frac{r_3}{r_n} + \dots + 1 \right)^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Полученные формулы (6) дают возможность вычислять степени принадлежности  $\mu_s(u_i)$  элементов  $u_i \in U$  к нечеткому терму  $\hat{S}$  двумя независимыми путями:

1) по абсолютным оценкам уровней  $r_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , которые определяются согласно методикам, предложенных в теории структурного анализа систем. Для экспертных оценок рангов можно использовать 9-ти бальную шкалу (1 – наименьший ранг, 9 – наибольший ранг).

2) по относительным оценкам рангов  $\frac{r_i}{r_j} = a_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ , которые образуют матрицу:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{r_2}{r_1} & \frac{r_3}{r_1} & \dots & \frac{r_n}{r_1} \\ \frac{r_1}{r_2} & 1 & \frac{r_3}{r_2} & \dots & \frac{r_n}{r_2} \\ \frac{r_1}{r_3} & \frac{r_2}{r_3} & 1 & \dots & \frac{r_n}{r_3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{r_1}{r_n} & \frac{r_2}{r_n} & \frac{r_3}{r_n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Эта матрица обладает следующими свойствами:

- а) она диагональная, т.е.  $a_{ii} = 1, i = \overline{1, n}$ .  
 б) элементы, которые симметричны относительно главной диагонали, связаны зависимостью:  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ .

в) она транзитивна, т.е.  $a_{ik} \cdot a_{kj} = a_{ij}$ , поскольку  $\frac{r_i}{r_k} \cdot \frac{r_k}{r_j} = \frac{r_i}{r_j}$ .

Наличие этих свойств приводит к тому, что при известных элементах одной строки матрицы  $A$  легко определить элементы всех других строк. Если



известная  $r$ -я строка, т.е. элементы  $a_{kj}$ ,  $k, j = \overline{1, n}$ , то произвольный элемент  $a_{ij}$  находится так:

$$a_{ij} = a_{kj} / a_{ki}, \quad i, j, k = \overline{1, n}.$$

Поскольку матрица (7) может быть интерпретирована как матрица парных сравнений рангов, то для экспертных оценок элементов этой матрицы можно использовать 9-ти бальную шкалу Саати:  $a_{ij} = \frac{r_i}{r_j}$ . В нашем случае эта

шкала формируется так:

- 1 – при отсутствии преимущества  $r_j$  над  $r_i$ ;
- 3 – при слабом преимуществе  $r_j$  над  $r_i$ ;
- 5 – при существенном преимуществе  $r_j$  над  $r_i$ ;
- 7 – при явном преимуществе  $r_j$  над  $r_i$ ;
- 9 – при абсолютном преимуществе  $r_j$  над  $r_i$ ;
- 2,4,6,8 – промежуточные сравнительные оценки.

Таким образом, с помощью полученных формул (6), экспертные знания о рангах элементов или их парные сравнения преобразуются в функцию принадлежности нечеткого термина.

Для реализации предложенного метода необходимо:

1. Задать лингвистическую переменную  $X$ .
2. Определить универсальное множество, на котором задается переменная  $X$ .
3. Задать совокупность нечетких термов  $\{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ , которые используются для оценки переменной  $X$ .
4. Для каждого термина  $S_j$ ,  $j = \overline{1, n}$  сформировать матрицу (7).
5. Используя формулы (6) вычислить элементы функций принадлежности для каждого термина. Нормирование найденных функций осуществляется путем деления на наибольшие степени принадлежности.

Как уже отмечалось выше, выбор способа определения функции принадлежности играет важную роль. Неудачный выбор способа приведет к увеличению ошибки обучения, поэтому в процессе обучения сети необходимо следить за величиной этой ошибки и, при недопустимо больших значениях ошибки, выбирать другой способ для определения функции принадлежности.

Хотя на рисунке 1 приведена структура двухслойной сигмоидальной нейронной сети, нет никаких ограничений, препятствующих использованию предложенного варианта в нейронных сетях иного типа, после внесения соответствующих изменений в структуру и способ обучения сети.

#### Список использованных источников

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344 с.
2. Основы теории нечетких множеств: Метод. указания / Сост. И.Л. Коробова, И.А. Дьяков. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003.

3. Заенцев И.В. Нейронные сети: основные модели. – Воронеж, 1999.
4. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. - Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999.-320 с.
5. Нечеткая логика в системах управления – <http://www.computerra.ru/offline/2001/415/13052>.

**Ефимова О.С., Файзуллин Р.Т.**  
**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕРАВНОВЕРЯТНОЙ ГАММЫ**  
*Омский государственный технический университет*

Хорошо известно [1], что использование неравновероятной гаммы при поточном шифровании приводит к потере стойкости шифрсистемы. На этом основании делается вывод о том, что для затруднения криптоанализа при использовании шифров гаммирования необходимо использовать только гамму с вероятностными свойствами, близкими к случайной равновероятной последовательности. Но построение генераторов или регистров с хорошими псевдослучайными характеристиками само по себе представляет нетривиальную проблему. В работе предлагается подход, позволяющий в перспективе, все же использовать естественные тексты, предварительно модифицируя их на основе исследования лингвистической структуры языка.

Пронумеруем буквы алфавита  $A$  числами от 0 до  $n-1$ . Если обозначить через  $p_i$ ,  $\gamma_i$ ,  $s_i$  вероятности появления знака с номером  $i$  соответственно в открытом тексте, гамме и в шифротексте, то распределение знаков шифротекста выражается формулой

$$S_j = \sum_{i=0}^{n-1} P_{(j-i) \bmod n} \cdot \gamma_i, \quad (1)$$

где  $j=0, \dots, n-1$ .

Имея достаточно точные приближения распределений  $p$  и  $s$ , найденные подсчетом частот встречаемости знаков, можно оценить вероятности  $\gamma_i$  непосредственно по шифротексту. Для этого соотношение (1) рассматривается как система линейных уравнений относительно неизвестных  $\gamma_i$ ,  $i=0, \dots, n-1$ . Этой системе уравнений соответствует циркулянт  $P$ :

$$P = \begin{pmatrix} p_0 & p_{n-1} & \dots & p_1 \\ p_1 & p_0 & \dots & p_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ p_{n-1} & p_{n-2} & \dots & p_0 \end{pmatrix}.$$

Определитель циркулянта [2] вычисляется по формуле

$$|P| = f(\varepsilon_0) \cdot f(\varepsilon_1) \cdot \dots \cdot f(\varepsilon_{n-1}). \quad (2)$$

Здесь  $\{\varepsilon_0, \dots, \varepsilon_{n-1}\}$  – множество всех корней степени  $n$  из 1, а  $f(x) = p_0 + p_{n-1} \cdot x + \dots + p_1 \cdot x^{n-1}$ .

Если  $|P| \neq 0$ , то вектор  $\vec{\gamma}$  однозначно определяется из соотношения

$$\vec{\gamma} = P^{-1} \cdot \vec{s}. \quad (3)$$

Отметим, генерации случайной гаммы можно предложить альтернативу подбора алфавита, для которого определитель циркулянта будет равен 0.

Проанализируем формулу (2). Произведение в ее правой части имеет как минимум один вещественный множитель  $f(\varepsilon_0)$  при  $\varepsilon_0=1$  (остальные множители могут быть комплексными или вещественными),

$$f(\varepsilon_0) = f(1) = \left( \sum_{i=0}^{n-1} p_i \right) \quad (4)$$

Если же  $n$  – четное число, то произведение (2) будет иметь еще один вещественный множитель  $f(\varepsilon_{n/2})$  при  $\varepsilon_{n/2}=-1$ ,

$$f(\varepsilon_{n/2}) = f(-1) = \left( \sum_{i=0}^{n-1} (-1)^i \cdot p_{n-i} \right) \quad (5)$$

Известно, что произведение равно нулю тогда и только тогда, когда один из сомножителей равен нулю. Таким образом, для равенства нулю определителя достаточно достичь равенства нулю одного из сомножителей.

Проанализируем формулу (5). Пусть  $f(-1) = \alpha$ . Для равенства правой части формулы (5) нулю надо уменьшить ее на  $\alpha$ . Очевидно, что это можно проделать для любого четного  $n$ , где  $n$  – мощность алфавита.

Так как  $f(\varepsilon_{n/2}) = p_0 - p_{n-1} + p_{n-2} - p_{n-3} + p_{n-4} \dots - p_1$ , то

$$\begin{aligned} & (f(\varepsilon_{n/2}) - \alpha) = \\ & = (p_0 - p_1 + p_2 - p_3 + p_4 \dots - p_{n-1}) - \alpha = \\ & = (p_0 - \alpha) - p_1 + p_2 - p_3 + p_4 \dots - p_{n-1} = \\ & = p_0 - (p_1 + \alpha) + p_2 - p_3 + p_4 \dots - p_{n-1} = \\ & = p_0 - p_1 + (p_2 - \alpha) - p_3 + p_4 \dots - p_{n-1} = \\ & = p_0 - p_1 + p_2 - (p_3 + \alpha) + p_4 \dots - p_{n-1} = \\ & \dots \\ & = p_0 - p_1 + p_2 - p_3 + p_4 \dots - (p_{n-1} + \alpha) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Из приведенных выше выражений видно, что, изменив соответствующим образом частоту любого из символов текста ( $p_0, p_1, \dots, p_{n-1}$ ), можно достичь равенства циркулянта нулю.

Применим данный прием к текстам на русском языке. Для этого воспользуемся средними частотными характеристиками букв алфавита, включая пробел [1], определенными на 1000 символов текста. Вычислим значение  $\alpha$  по формуле (5). Затем воспользуемся выражениями (6).

Полученные результаты отображены в табл. 1. Графическое изображение четвертой колонки представлено на рис. 1.

Анализ табл. 1 позволяет сделать следующие выводы: для достижения равенства нулю циркулянта можно предложить следующие способы:

1. Исключить какую-либо букву.

Для русского языка это буква «с». Достоинством данного метода является простота реализации и возможность осуществить отсев поточно.

2. Добавить некоторое количество какой-либо буквы.

Для русского языка это буквы «а», «в», «д», «ж», «и», «к», «м», «о» и т.д. через одну по алфавиту. Достоинством данного метода является легкость восстановления исходного текста (в случае добавления в конце текста или по определенному правилу). Недостатком данного метода является увеличение объема текста.

Таблица 1

Буквы алфавита	Количество букв в исходном тексте	Рекомендуемое количество букв	Соотношение новой и исходной частот, раз	Изменение длины текста, %
а	62	107	1,725806	+4,5
б	14	-	-	-
в	38	83	2,184211	+4,5
г	13	-	-	-
д	25	70	2,8	+4,5
е,ё	72	27	0,375	-4,5
ж	7	52	7,428571	+4,5
з	16	-	-	-
и	62	107	1,725806	+4,5
й	10	-	-	-
к	28	73	2,607143	+4,5
л	35	-	-	-
м	26	71	2,730769	+4,5
н	53	8	0,150943	-4,5
о	90	135	1,5	+4,5
п	23	-	-	-
р	40	85	2,125	+4,5
с	45	0		-4,5
т	53	98	1,849057	+4,5
у	21	-	-	-
ф	2	47	23,5	+4,5
х	9	-	-	-
ц	4	49	12,25	+4,5
ч	12	-	-	-
ш	6	51	8,5	+4,5
щ	3	-	-	-
ь,Ь	14	59	4,214286	+4,5
ы	16	-	-	-
э	3	48	16	+4,5
ю	6	-	-	-
я	18	63	3,5	+4,5
пробел	175	130	0,742857	-4,5

3. Уменьшить количество использований какой-либо буквы на определенную величину.

Для русского языка это «е,ё», «н» и пробел. Данный способ применим не для всех символов алфавита. Его невозможно осуществить в том случае, когда количество букв в исходном тексте меньше  $|a|$ . Например, для средне-статистических значений (значения для реального языка)  $a=-45$ . Для некото-

рых букв, например «б», «г», «з», частота использования меньше 45, и изменение только их частоты ничего не дает. Достоинством данного метода является уменьшение объема текста. Недостатком данного метода является то, что он применим не для всех символов текста.

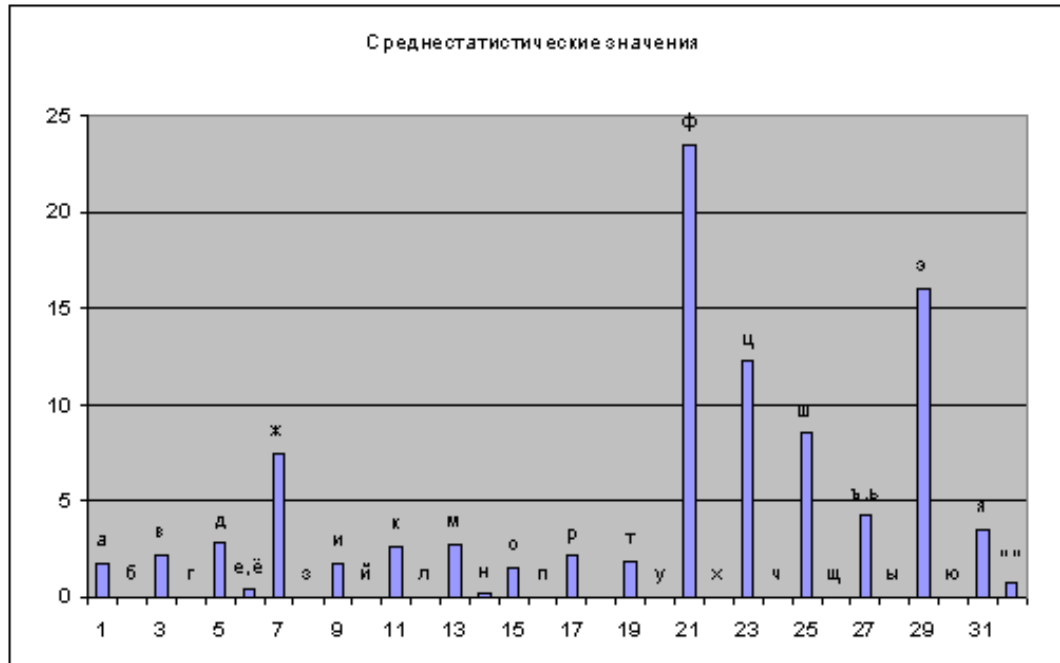


Рис. 1. Соотношение исходного количества букв и требуемого

Из формул (6) видно, что варианты 2 и 3 чередуются от буквы к букве.

4. Изменить количество пар букв  $b_j, b_i$ : увеличить количество букв  $b_j$  на  $k_j$  и уменьшить количество букв  $b_i$  на  $k_i$  ( $i, j=0, \dots, n-1$ )

5. Изменить количество пар букв  $b_j, b_i$ : увеличить количество букв  $b_j$  на  $k_j$  и  $b_i$  на  $k_i$  ( $i, j=0, \dots, n-1$ )

6. Изменить количество пар букв  $b_j, b_i$ : уменьшить количество букв  $b_j$  на  $k_j$  и  $b_i$  на  $k_i$  ( $i, j=0, \dots, n-1$ )

7. Изменить количество троек букв  $b_k, b_j, b_i$ : увеличить количество букв  $b_k$  на  $k_k$ , увеличить количество букв  $b_j$  на  $k_j$  и уменьшить количество букв  $b_i$  на  $k_i$  ( $i, j=0, \dots, n-1$ )

8. Изменить количество троек букв  $b_k, b_j, b_i$ : увеличить количество букв  $b_k$  на  $k_k$ ,  $b_j$  на  $k_j$  и  $b_i$  на  $k_i$  ( $i, j=0, \dots, n-1$ )

9. Изменить количество троек букв  $b_k, b_j, b_i$ : увеличить количество букв  $b_k$  на  $k_k$ , уменьшить количество букв  $b_j$  на  $k_j$  и уменьшить количество букв  $b_i$  на  $k_i$  ( $i, j=0, \dots, n-1$ )

10. Изменить количество троек букв  $b_k, b_j, b_i$ : уменьшить количество букв  $b_k$  на  $k_k$ ,  $b_j$  на  $k_j$  и  $b_i$  на  $k_i$  ( $i, j=0, \dots, n-1$ )

11. И т.д.

Были проведены исследования для конкретных текстов: литературных и естественнонаучных. Для них были получены свои значения частотных ха-

рактических алфавита и величины  $\alpha$ . Для произвольного текста не всегда достаточно использовать язык без буквы «с».

Исследования показали, что частотные характеристики естественных текстов мало отличаются от литературных. И все они близки к средним характеристикам. Поэтому нет смысла разделять литературные и естественные тексты. Кроме того, при приближении частотных характеристик к характеристикам естественного языка появляется возможность достигнуть равенства циркулянта нулю путем использования алфавита без буквы «с».

Так как объем текста изменяется на одну и ту же величину, то вопрос о выборе наиболее подходящего варианта модификации не связан с величиной изменения объема текста. Одной из актуальных задач является решение проблемы восстанавливаемости расшифрованного текста. В связи с этим следует отметить как наименее влияющий на узнаваемость текста вариант, изменение количества пробелов. Тем более что многие методы шифрования используют удаление промежуточных символов, что снижает объем текста. В случае необходимости увеличения числа пробелов читабельность текста вообще не пострадает. Здесь существует несколько вариантов добавления: в конце текста, в конце строк, между словами по несколько пробелов.

Аналогичные действия можно проводить и с другими символами алфавита.

Однако после подобного изменения текста может оказаться слишком много одинаковых символов в известных криптоаналитику местах. В связи с этим можно изменять частоту не одного символа, а нескольких (варианты 5, 6, 7, ...). Таких вариантов множество и в каждом случае лучше выбирать наилучший вариант.

Для решения этой задачи разработана программа, которая вычисляет частотные характеристики входного текста, значение величины  $\alpha$ . Программа предоставляет возможность выбора вариантов изменения текста, которые включают в себя такие аспекты, как увеличение или уменьшение объема текста, работа с одним символом алфавита или с несколькими.

Ниже (табл. 2) приведены результаты проведенных исследований, в ходе которых было найдено значение  $\alpha$  для восьми языков.

Таблица 2

Язык	Количество символов текста	Значение $\alpha$
Русский	1000	-45
Украинский	1000	38
Латышский	10000	908
Английский	10000	1094
Немецкий	10000	1452
Французский	10000	3884
Испанский	10000	3498
Итальянский	10000	-

### Список использованных источников

1. Алферов А. П., Зубов А. Ю., Кузьмин А. С., Черемушкин А. В. Основы криптографии. – М.: Гелиос, 2002.
2. Кострикин А. И. Сборник задач по алгебре. – М.: Физматлит, 2001.

**Кавалеров М.В., Матушкин Н.Н.**

### ПРИМЕНЕНИЕ ОБОБЩЕННЫХ НЕСТАНДАРТНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В УСЛОВИЯХ ПЛАНИРОВАНИЯ С ФИКСИРОВАННЫМИ ПРИОРИТЕТАМИ

*Пермский государственный технический университет*

В системах автоматизации и управления (САиУ) отдельное вычислительное устройство часто выполняет несколько различных задач реального времени (РВ). Каждой такой задаче соответствует свое ограничение РВ, которое накладывается на характеристики процесса выполнения запросов, формируемых этой задачей. При этом необходимо осуществлять планирование множества задач, т. е. разделение процессорного времени между запросами различных задач при условии соблюдения ограничений РВ. Значительное распространение получило планирование с фиксированными приоритетами (ПФП), обеспечивающее известный компромисс между предсказуемостью и гибкостью [1].

Все основные результаты для ПФП получены при условии, что каждая задача жесткого реального времени (ЖРВ)  $\tau_i$ , формирующая запросы  $\{\tau_{i,j}\}$ , имеет стандартное ограничение (СО), определяемое для каждого  $\tau_{i,j}$  на основе условия  $f_{i,j} \leq d_{i,j} = r_{i,j} + D_i$ , где  $f_{i,j}$  – время завершения выполнения  $\tau_{i,j}$ ;  $d_{i,j}$  – крайний срок выполнения  $\tau_{i,j}$ ;  $r_{i,j}$  – время появления  $\tau_{i,j}$  в очереди запросов;  $D_i$  – относительный крайний срок для  $\tau_i$ . Кроме того, очевидно,  $r_{i,j} \leq s_{i,j} < f_{i,j}$ , где  $s_{i,j}$  – время начала выполнения  $\tau_{i,j}$ . При этом значение  $r_{i,j}$  для стандартных периодических задач (СПЗ) определяется для  $\forall j \geq 1$  на основе соотношения

$$r_{i,j} = r_{i,j-1} + T_i = O_i + (j-1)T_i, \quad (1)$$

где  $T_i$  – период формирования запросов  $\tau_i$ ;  $O_i$  – начальное смещение при формировании запросов  $\tau_i$ . Для удобства считается, что  $r_{i,0} = O_i - T_i$ .

Известно, что существенную часть среди всех задач САиУ составляют задачи, которые имеют нестандартные ограничения (НО), формируемые на основе исходных требований РВ [2, 3]. Чтобы в дальнейшем можно было осуществлять планирование таких задач в условиях ПФП, имеющиеся НО преобразуются в СО, которые можно назвать вторичными СО. Примеры подобных преобразований можно найти в работах [4, 5]. В общем случае преобразование НО в СО приводит к избыточности, т. е. к излишней жесткости вторичных СО [4]. Избыточность вторичных СО приводит к снижению эф-

фактивности планирования. В свою очередь, это вызывает увеличение затрат на построение САиУ, что объясняется дополнительными издержками, связанными с приобретением более быстродействующего аппаратного обеспечения и со сложностью оптимизации по быстродействию программного обеспечения. Очевидно, что устранить избыточность можно только на основе непосредственного применения НО в условиях ПФП. Это позволит повысить эффективность планирования и уменьшить затраты на построение САиУ.

Учитывая принципы ПФП, для непосредственного применения НО в условиях ПФП необходимо:

- обеспечить выполнение в РВ каждого запроса задачи ЖРВ с учетом соблюдения НО, т. е. найти способ планирования в РВ задачи с НО;
- до начала функционирования САиУ гарантировать соблюдение НО при выполнении всех запросов соответствующей задачи, и для этого нужно найти так называемое условие планируемости задачи ЖРВ с НО.

Очень важно решить эту проблему не для отдельных видов НО, а для широкого класса НО, т. е. для многих возможных видов НО. Поэтому естественный путь – это максимально обобщить различные виды НО, выделив только наиболее существенные свойства, и для полученного обобщенного НО разработать принципы его непосредственного применения в ПФП.

Предлагаются следующие базовые допущения при обобщении НО:

- только задачи, запросы которых формируются не внешними событиями, а подсистемой планирования, могут иметь НО;
- НО для данной задачи не зависит от выполнения других задач;
- НО для данной задачи накладывается только на события, соответствующие действиям в ходе выполнения запросов этой задачи.

Также надо учитывать возможность динамического изменения параметров НО на основе воздействий, внешних по отношению к подсистеме планирования. Пусть  $\xi_{i,j}$  – это вектор внешних воздействий в момент времени  $f_{i,j}$ . При этом вектор  $\xi_{i,j}$  формируется и поступает в подсистему планирования не позднее  $f_{i,j}$ , и после  $f_{i,j}$  влияет на НО для  $\tau_i$ . Каждый из компонентов этого вектора определяет воздействие на тот или иной параметр НО. Например, на интервале  $[f_{i,j-1}, f_{i,j})$  от оператора поступает команда о переключении режима работы, тогда на основе этой команды формируется значение вектора  $\xi_{i,j} = (\xi_{i,j,1}, \xi_{i,j,2}, \xi_{i,j,3})$ , где  $\xi_{i,j,1}$ ,  $\xi_{i,j,2}$  – соответственно новые минимально и максимально допустимые значения  $s_{i,j+1} - s_{i,j}$ ;  $\xi_{i,j,3}$  – новое максимально допустимое значение  $f_{i,j+1} - s_{i,j+1}$ .

Кроме того, ограничение РВ может относиться к некоторым моментам  $x_{i,j}$ ,  $y_{i,j}$ , принадлежащим интервалу  $[s_{i,j}, f_{i,j}]$  и соответствующим наблюдаемым событиям [6]. Например,  $x_{i,j}$  может быть моментом получения информации о параметре объекта управления, а  $y_{i,j}$  может быть моментом формирования управляющего воздействия.



Соответственно предлагаются два дополнительные допущения:

– внешние воздействия могут влиять на НО для  $\tau_{i,j}$  только в виде векторов  $\xi_{i,v}$  при  $\forall v < j$ ;

– при  $\forall j \geq 1$  НО для  $\tau_{i,j}$  накладывается только на два события, соответствующие моментам времени  $x_{i,j}$ ,  $y_{i,j}$ , и выполнение любого предшествующего  $\tau_{i,v}$  может влиять на это НО только моментами  $x_{i,v}$ ,  $y_{i,v}$ .

Пусть состояние НО для  $\tau_{i,j}$ , обозначаемое  $State_{i,j}$ , задается конечным набором действительных чисел. Тогда обобщенное НО для задачи  $\tau_i$ , обозначаемое  $G_i$ , – это сочетание  $(\Pi_i, \Phi_i^{State}, State_{i,1})$ , где  $\Pi_i$  – это предикат на множестве всех возможных сочетаний  $(x_{i,j}, y_{i,j}, State_{i,j})$ ;  $\Phi_i^{State}$  – это вычисляемая функция, которая каждому сочетанию  $(x_{i,j-1}, y_{i,j-1}, \xi_{i,j-1}, State_{i,j-1})$  ставит в соответствие некоторое состояние  $State_{i,j}$ . При этом проверка НО для каждого очередного  $\tau_{i,j}$  осуществляется в следующей последовательности: 1) если  $j = 1$ , то состояние  $State_{i,j}$  устанавливается равным  $State_{i,1}$ ; если  $j > 1$ , то сразу после  $f_{i,j-1}$  состояние  $State_{i,j}$  устанавливается равным  $\Phi_i^{State}(x_{i,j-1}, y_{i,j-1}, \xi_{i,j-1}, State_{i,j-1})$ ; 2) сразу после  $y_{i,j}$  на основе имеющихся значений  $x_{i,j}, y_{i,j}, State_{i,j}$  определяется  $\Pi_i(x_{i,j}, y_{i,j}, State_{i,j})$ ; 3) если  $\Pi_i(x_{i,j}, y_{i,j}, State_{i,j})$  является истинным, то НО для  $\tau_{i,j}$  соблюдается, иначе НО для  $\tau_{i,j}$  нарушается.

В работе [7] показано, как СО для СПЗ, а также различные практические примеры НО могут быть представлены в виде обобщенного НО.

Предлагается два способа планирования задачи с обобщенным НО.

Первый способ наиболее очевиден и предполагает выполнение задачи с обобщенным НО аналогично СПЗ, т. е. значения  $r_{i,j}$  формируются на основе (1). При этом такая задача будет называться нестандартной периодической задачей (НПЗ). Очевидно, что СПЗ – это частный случай НПЗ.

Второй способ предполагает получение оценок значений  $x_{i,j}$ ,  $y_{i,j}$  в РВ. Очевидно, что в общем случае можно вычислить только нижнюю и верхнюю оценку каждого из этих значений, и эти оценки соответственно будут обозначаться  $x_{i,j}^{Lo}$ ,  $x_{i,j}^{Up}$ ,  $y_{i,j}^{Lo}$ ,  $y_{i,j}^{Up}$ .

Пусть R-алгоритм для задачи  $\tau_i$ , обозначаемый  $R_i$ , – это алгоритм, который обладает следующими особенностями: 1) время начала  $j$ -го выполнения алгоритма определяется особенностями подсистемы планирования; 2) результатом  $j$ -го выполнения алгоритма являются значение  $r_{i,j}$  для подсистемы планирования, а также некоторые промежуточные данные  $State_{i,j}^R$ ,

при этом предполагается, что существует значение  $State_{i,0}^R$ , которое известно до начала 1-го выполнения алгоритма и включает в себя, например, параметры задачи  $\tau_i$ ; 3) входными данными для  $j$ -го выполнения алгоритма являются  $State_{i,j-1}^R$ ,  $x_{i,j-1}^{Lo}$ ,  $x_{i,j-1}^{Up}$ ,  $y_{i,j-1}^{Lo}$ ,  $y_{i,j-1}^{Up}$ ,  $\xi_{i,j-1}$ , а также информация о процессе выполнения аperiodических запросов. Очевидно, что в ходе  $j$ -го выполнения алгоритма  $R_i$  могут учитываться значения  $x_{i,v}^{Lo}$ ,  $x_{i,v}^{Up}$ ,  $y_{i,v}^{Lo}$ ,  $y_{i,v}^{Up}$ ,  $\xi_{i,v}$ , при  $v < j-1$ , так как эти значения могут передаваться в качестве входных данных посредством  $State_{i,j-1}^R$ . Применительно к R-алгоритмам делается еще одно допущение, состоящее в том, что каждое выполнение  $R_i$  имеет длительность, которая пренебрежимо мала по сравнению с шагом планирования.

Обобщенной задачей (ОЗ) будет называться задача с обобщенным НО, запросы которой формируются на основе  $R_i$ , и при этом для  $\forall j \geq 1$  выполняется условие  $r_{i,j} \geq r_{i,j-1} + T_i$ . Для удобства считается, что  $r_{i,0} = -T_i$ . Очевидно, что СПЗ и НПЗ можно считать частным случаем ОЗ, так как формирование  $r_{i,j}$  на основе (1) может выполняться R-алгоритмом.

Таким образом, второй способ планирования задачи с обобщенным НО состоит в том, что эта задача выполняется в виде ОЗ.

Первый способ (на основе НПЗ) не требует изменения алгоритмов планирования в РВ, обеспечивая повышение эффективности использования вычислительных ресурсов. Второй способ (на основе ОЗ) позволяет максимально повысить эффективность использования вычислительных ресурсов, но при этом в составе подсистемы планирования должны быть реализованы R-алгоритмы.

Для осуществления непосредственного применения обобщенных НО в условиях ПФП остается найти условие планируемости задачи с обобщенным НО. При этом достаточно найти только условие планируемости ОЗ, так как НПЗ является частным случаем ОЗ. Для получения условия планируемости ОЗ потребуются некоторые дополнительные определения.

При выполнении  $\tau_{i,j}$  в условиях ПФП имеется пять значимых отметок времени  $r_{i,j}$ ,  $s_{i,j}$ ,  $x_{i,j}$ ,  $y_{i,j}$ ,  $f_{i,j}$ , которые порождают десять возможных интервалов времени, обозначаемых  $rs_{i,j}$ ,  $rx_{i,j}$ ,  $ry_{i,j}$ ,  $rf_{i,j}$ ,  $sx_{i,j}$ ,  $sy_{i,j}$ ,  $sf_{i,j}$ ,  $xu_{i,j}$ ,  $xf_{i,j}$ ,  $yf_{i,j}$  и определяемых очевидным образом, т. е.  $rs_{i,j} = s_{i,j} - r_{i,j}$  и т. д. До начала функционирования САиУ для каждого из этих интервалов можно вычислить нижнюю и верхнюю оценку при  $\forall j \geq 1$ , например, на основе небольших изменений алгоритмов, представленных в работах [1, 8]. Тогда пусть функции  $\alpha\beta_i^{Lo}(j)$ ,  $\alpha\beta_i^{Up}(j)$  определяют соответственно нижнюю и верхнюю оценку  $\alpha\beta_{i,j}$  при  $\forall j \geq 1$ , где вместо  $\alpha\beta$  могут быть символы, соответствующие обозначению любого из указанных интервалов.

Пусть  $XY(r_{i,j})$  – это множество всех пар  $(x_{i,j}, y_{i,j})$ , удовлетворяющих при данном  $r_{i,j}$  условиям  $x_{i,j} \in [r_{i,j} + rx_i^{Lo}(j), r_{i,j} + rx_i^{Up}(j)]$ ,  $y_{i,j} \in [r_{i,j} + ry_i^{Lo}(j), r_{i,j} + ry_i^{Up}(j)]$ ,  $(y_{i,j} - x_{i,j}) \in [xy_i^{Lo}(j), xy_i^{Up}(j)]$ .

Пусть  $XY(x_{i,j}^{Lo}, x_{i,j}^{Up}, y_{i,j}^{Lo}, y_{i,j}^{Up})$  – это множество всех пар  $(x_{i,j}, y_{i,j})$ , которые при данных  $x_{i,j}^{Lo}, x_{i,j}^{Up}, y_{i,j}^{Lo}, y_{i,j}^{Up}$  удовлетворяют условиям  $x_{i,j} \in [x_{i,j}^{Lo}, x_{i,j}^{Up}]$ ,  $y_{i,j} \in [y_{i,j}^{Lo}, y_{i,j}^{Up}]$ ,  $(y_{i,j} - x_{i,j}) \in [xy_i^{Lo}(j), xy_i^{Up}(j)]$ .

Пусть  $XY(G_{i,j})$  – это множество всех пар  $(x_{i,j}, y_{i,j})$  в случае данного  $State_{i,j}$ , при которых  $\Pi_i(x_{i,j}, y_{i,j}, State_{i,j})$  является истинным.

Множество возможных  $State_{i,j}$  к моменту  $f_{i,j-1}$  обозначается  $\{State_{i,j}\}_{f_{i,j-1}}$  и определяется рекурсивно:  $\{State_{i,1}\}_{f_{i,0}}$  состоит из одного  $State_{i,1}$ , входящего в  $G_i$ ; для  $\forall j > 1$   $\{State_{i,j}\}_{f_{i,j-1}}$  состоит из всех возможных значений функции  $\Phi_i^{State}(x_{i,j-1}, y_{i,j-1}, \xi_{i,j-1}, State_{i,j-1})$  при условии, что вектор  $\xi_{i,j-1}$  – это вектор в составе входных данных  $R_i$ , состояние  $State_{i,j-1}$  принадлежит  $\{State_{i,j-1}\}_{f_{i,j-2}}$ , сочетание  $(x_{i,j-1}, y_{i,j-1})$  принадлежит  $XY(x_{i,j-1}^{Lo}, x_{i,j-1}^{Up}, y_{i,j-1}^{Lo}, y_{i,j-1}^{Up})$ , где  $x_{i,j-1}^{Lo}, x_{i,j-1}^{Up}, y_{i,j-1}^{Lo}, y_{i,j-1}^{Up}$  – это значения в составе входных данных  $R_i$ .

Значение  $r_{i,j}$  называется допустимым, если выполняются условие  $XY(r_{i,j}) \subseteq XY(G_{i,j})$  при  $\forall State_{i,j} \in \{State_{i,j}\}_{f_{i,j-1}}$  и условие  $r_{i,j} \geq r_{i,j-1} + T_i$ .

Любая ОЗ гарантированно планируется до 0-го запроса. При  $\forall j \geq 1$  ОЗ гарантированно планируется до  $j$ -го запроса, если эта ОЗ гарантированно планируется до  $j-1$ -го запроса, и  $R_i$  обязательно формирует допустимое  $r_{i,j}$  в случае любого  $\{State_{i,j}\}_{f_{i,j-1}}$ , являющегося возможным результатом предыдущих выполнений  $R_i$ . Тогда ОЗ является планируемой, если при  $\forall j \geq 1$  эта ОЗ гарантированно планируется до  $j$ -го запроса.

Значение  $r_{i,j}$  с  $\nu$ -м уровнем допустимости кратко обозначается  $r_{i,j}^{(\nu)}$  и определяется рекурсивно: любое  $r_{i,j}$ , для которого выполняется условие  $r_{i,j} \geq r_{i,j-1} + T_i$ , имеет 0-й уровень допустимости; при  $\forall \nu \geq 1$  значение  $r_{i,j}$  имеет  $\nu$ -й уровень допустимости, если: 1) выполняются условие  $XY(r_{i,j}) \subseteq XY(G_{i,j})$  при любом  $State_{i,j}$  из данного  $\{State_{i,j}\}_{f_{i,j-1}}$  и условие  $r_{i,j} \geq r_{i,j-1} + T_i$ ; 2) существует  $r_{i,j+1}^{(\nu-1)}$  для любого  $\{State_{i,j+1}\}_{f_{i,j}}$ , являющегося возможным результатом  $r_{i,j}$  и данного  $\{State_{i,j}\}_{f_{i,j-1}}$ .

В частности, очевидно, что  $r_{i,j}^{(1)}$  эквивалентно допустимому  $r_{i,j}$ .

Пусть  $\{State_{i,j}\}_{f_{i,j-1}}$  с  $v$ -м уровнем допустимости обозначается  $\{State_{i,j}\}_{f_{i,j-1}}^{(v)}$  и определяется рекурсивно:  $\{State_{i,1}\}_{f_{i,0}}^{(v)}$  состоит из одного  $State_{i,1}$ , входящего в  $G_i$ ; для  $\forall j > 1$   $\{State_{i,j}\}_{f_{i,j-1}}^{(v)}$  является возможным результатом некоторого  $r_{i,j-1}^{(v)}$  и некоторого  $\{State_{i,j-1}\}_{f_{i,j-2}}^{(v)}$ .

Пусть  $R_i$  с  $v$ -м уровнем оптимальности обозначается  $R_i^{(v)}$  и является таким  $R_i$ , что при каждом  $j$ -м выполнении и для  $\forall w \in [0, v]$  он обязательно формирует  $r_{i,j}^{(w)}$ , при условии, что существует хотя бы одно  $r_{i,j}^{(w)}$ .

Теперь можно сформулировать условие планируемости ОЗ.

Утверждение. Необходимое и достаточное условие планируемости ОЗ при любом  $R_i^{(v)}$  – это условие, состоящее в том, что при  $\forall j \geq 1$  в случае любого  $\{State_{i,j}\}_{f_{i,j-1}}^{(v)}$  существует  $r_{i,j}^{(v)}$ .

Данное утверждение доказывается по индукции с учетом рекурсивного определения планируемости ОЗ.

Способы планирования и условие планируемости задачи с обобщенным НО получены для всех обобщенных НО, т. е. для широкого класса НО. Это открывает путь для непосредственного применения НО в условиях ПФП, а следовательно, предоставляет возможность для повышения эффективности планирования и уменьшения затрат на построение САиУ.

Для снижения трудозатрат в ходе предварительного планирования требуется унифицированный подход к разработке R-алгоритмов и анализу планируемости, включающему в себя проверку условия планируемости.

Подобный подход становится возможным при выделении среди обобщенных НО такого подходящего класса НО, что он: 1) включает в себя существенную часть всех НО, реализуемых на практике; 2) позволяет унифицировать и существенно упростить разработку R-алгоритмов и анализ планируемости ОЗ.

В идеале подходящий класс НО должен позволять: 1) использовать один универсальный R-алгоритм с приемлемой временной сложностью, интерпретирующий информацию о данном  $G_i$ , предварительно размещенную в  $State_{i,0}^R$ ; 2) автоматизировать анализ планируемости ОЗ.

Следуя этому, в работе [9] выделен класс интервальных НО, для которого: 1) указан принцип разработки R-алгоритмов, являющихся  $R_i^{(1)}$ ; 2) условие планируемости для обобщенных НО детализировано с учетом особенностей интервальных НО. Важно, что в случае интервальных НО, являющихся линейными, становится возможным использовать один универсальный R-алгоритм, при этом анализ планируемости может быть автоматизирован. Также следует отметить, что в ходе имитационного моделирования было показано существенное повышение эффективности планирования в

случае типовых примеров интервальных НО. Все это стало естественным продолжением подхода, предложенного для решения проблемы непосредственного применения обобщенных НО в условиях ПФП.

### **Список использованных источников**

1. Tindell K.W. An Extendible Approach for Analysing Fixed Priority Hard Real-Time Tasks // Technical Report YCS 189 / University of York. – York, 1992. – 16 p.
2. Wittenmark B., Nilsson J., Törngren M. Timing Problems in Real-Time Control Systems: Problem Formulation // Proceedings of the American Control Conference. – Seattle, 1995. – 9 p.
3. Marti P., Fohler G., Ramamritham K., Fuertes J.M. Jitter Compensation in Real-Time Control systems // Proceedings of Real-Time Systems Symposium. – London, 2001. – 10 p.
4. Fohler G. Dynamic Timing Constraints – Relaxing Overconstraining Specifications of Real-Time Systems / Work-in-Progress Session: Real-Time Systems Symposium. – San Francisco, 1997. – 4 p.
5. Кавалеров М.В., Матушкин Н.Н. Новые способы планирования задач с нестандартными ограничениями жесткого реального времени в концепции планирования с фиксированными приоритетами // Информационные управляющие системы: Сб. науч. тр. / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2003. – С. 152–162.
6. Gerber R., Hong S. Semantics-Based Compiler Transformations for Enhanced Schedulability // Proceedings of 14th IEEE Real-Time Systems Symposium. – Raleigh-Durham, 1993. – P. 232-242.
7. Кавалеров М.В., Матушкин Н.Н. Расширение класса нестандартных ограничений, применимых для планирования с фиксированными приоритетами в системах реального времени // Современная миссия технических университетов в развитии инновационных территорий: Матер. Международ. семинара 26 июня – 3 июля 2004 года, г. Варна, Болгария / ТУ Варна. – Варна, 2004. – С. 125-134.
8. Redell O., Sanfridson M. Exact Best-Case Response Time Analysis of Fixed Priority Scheduled Tasks // Proceedings of 14th Euromicro Conference on Real-Time Systems, ECRTS'02. – Vienna, 2002. – P. 165-172.
9. Кавалеров М.В., Матушкин Н.Н. Применение интервальных нестандартных ограничений реального времени в условиях планирования с фиксированными приоритетами // Информационные управляющие системы: Сб. науч. тр. / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2005. – С. 199-208.

**Рейтер А.А.**

### **ВЫДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТ ИЗ ЗАГРЯЗНЕННЫХ «ОКРАШЕННЫМ» ШУМОМ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

*Саратовский государственный технический университет*

Анализ временных рядов играет большую роль при моделировании сложных технологических процессов. Одним из важных аспектов прикладного анализа временных рядов является разделение «сигнал» – «шум». Значение этих терминов меняется в зависимости от контекста, поэтому существует ненулевая вероятность отнесения к сигналу компонент, не имеющих физического смысла. Большинство методов разделения «сигнал» - «шум» предна-

---

значены для отделения сигнала от «белого» шума, т.е. шума, имеющего одинаковую мощность на всех частотах.

Многие системы, фактически, порождают «окрашенный» шум, примером которого может служить процесс авторегрессии первого порядка – АР(1) – процесс. Мощность «окрашенного» шума сосредоточена на низких частотах и, предполагая, что система формируется белым шумом, возможно к сигналу отнести колебания, не имеющие физического смысла.

Метод сингулярного разложения временных рядов позволяет отделить сигнал от шума и разложить его на аддитивные составляющие: тренд, сезонные и циклические компоненты, при условии, что шум является белым. В данной работе предлагается модификация метода сингулярного разложения, позволяющая отделять сигнал от окрашенного шума. Основная идея предлагаемой модификации похожа на обобщенный метод наименьших квадратов, применяемый в регрессионном анализе.

### Базовый алгоритм метода сингулярного разложения

На основе значений временного ряда строится траекторная матрица

$$X_{i,j} = x_{i+j} \quad j = 0, \dots, K-1, \quad i = 0, \dots, L-1, \quad (1)$$

где  $L$  – заранее выбранный параметр, называемый шириной окна,  $K = N - L - 1$ . Следующий шаг – это сингулярное разложение матрицы  $\mathbf{X}$ . Пусть ранг матрицы  $\mathbf{X}$  равен  $d$ . Сингулярное разложение определяется выражением:

$$\mathbf{X} = \mathbf{U}\mathbf{V}\mathbf{V}', \quad (2)$$

где  $\mathbf{U} - [L \times d]$  – матрица ортонормированных собственных векторов матрицы  $\mathbf{C} = \mathbf{X}'\mathbf{X}$ ;  $\mathbf{V} - [K \times d]$  матрица ортонормированных собственных векторов матрицы  $\mathbf{X}'\mathbf{X}$ .  $\mathbf{V} - [d \times d]$ -диагональная матрица,  $\mathbf{V} = \text{diag}(\sqrt{\lambda})$ .  $\lambda$  – вектор собственных чисел матрицы  $\mathbf{X}'\mathbf{X}$  или  $\mathbf{X}\mathbf{X}'$ .

Сингулярное разложение матрицы  $\mathbf{X}$  может быть представлено в виде суммы элементарных матриц, ранг каждой из них равен 1.

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_1 + \dots + \mathbf{X}_d, \quad (3)$$

где  $\mathbf{X}_i = \sqrt{\lambda_i} \mathbf{U}_i \mathbf{V}_i'$  – элементарные матрицы [1].

Сгруппировав и преобразовав матрицы  $\mathbf{X}\mathbf{n}$  в одномерный ряд можно получить разложение ряда на аддитивные составляющие. Преобразование осуществляется усреднением побочных диагоналей матрицы  $\mathbf{X}\mathbf{n}$ .

### Выделение гармонических составляющих

Рассмотрим основные принципы поиска гармонических составляющих при условии, что шум является белым.

При построении матрицы  $\mathbf{X}$  (1) длину сегмента  $L$  следует выбирать кратной периоду выделяемой гармоник. Если период гармоник неизвестен, то  $L$  рекомендуется брать равной настолько большой, насколько хватает вычислительной мощности, но не больше половины длины анализируемого временного ряда.

Каждой гармонической компоненте соответствует пара равных собственных чисел. Поэтому для обнаружения периодичностей полезен анализ графика собственных чисел, пара собственных чисел, относящихся к гармонике, будет представлять собой «ступеньку».

Кроме того, собственные векторы, соответствующие гармоническим колебаниям представляют собой гармоники той же частоты, сдвинутые относительно друг друга по фазе на  $\pi/2$ . Поэтому для обнаружения периодических компонент следует анализировать графики собственных векторов.

### Разделение сигнал – шум

*Детерминистический сигнал.* Положим  $\mathbf{X}$  – траекторная матрица временного ряда. Ковариационная матрица  $\mathbf{R} = \mathbf{X}'\mathbf{X}$  имеет  $m$  ненулевых собственных чисел, соответствующие им собственные вектора имеют понятный физический смысл – они являются базисом системы.

*Детерминистический сигнал с белым шумом.* Пусть временной ряд загрязнен белым шумом  $\mathbf{e}$ ,  $M(\varepsilon_i \varepsilon_j) = \sigma^2 \delta_{ij}$ , где  $\delta_{ij}$  – дельта функция Дирака. Математическое ожидание ковариационной матрицы шума равно  $M(\mathbf{R}_N) = \sigma^2 \mathbf{I}$ , где  $\mathbf{I}$  – единичная матрица. Математическое ожидание ковариационной матрицы временного ряда может быть представлено в следующем виде:

$$M(\mathbf{R}_D) = M(\mathbf{R}_S) + M(\mathbf{R}_N) = M(\mathbf{R}_S) + \sigma^2 \mathbf{I}. \quad (4)$$

Здесь  $\mathbf{R}_S$  – ковариационная матрица сигнала. Белый шум просто увеличивает значения собственных чисел ковариационной матрицы временного ряда на величину, равную дисперсии белого шума, не изменяя собственных векторов. Собственные векторы, соответствующие первым наибольшим  $m$  собственным числам также имеют понятный физический смысл. Стандартный подход к отделению сигнала – отбрасывание собственных чисел, меньших или равных определенному значению (дисперсии белого шума) в этой ситуации является достаточно эффективным.

*Детерминистический сигнал с «окрашенным» шумом.* Пусть временной ряд загрязнен шумом, ковариационная матрица которого не равна скаляру, умноженному на единичную матрицу, то есть  $M(\mathbf{R}_N) \neq \sigma^2 \mathbf{I}$ . Сигнал и шум по-прежнему линейно независимы, поэтому  $M(\mathbf{R}_D) = M(\mathbf{R}_S) + M(\mathbf{R}_N)$ , однако собственные векторы матрицы  $\mathbf{R}_D$ , соответствующие первым наибольшим собственным числам, зависят и от  $\mathbf{R}_S$ , и от  $\mathbf{R}_N$ , и от соотношения сигнал-шум [2]. Первые собственные векторы теперь могут не нести физического смысла, как в предыдущих случаях. Поэтому алгоритмы разделения сигнала и шума, основанные на отбрасывании собственных чисел меньших определенного уровня, в этой ситуации не вполне адекватны. Также в данной ситуации не совсем оправдан поиск колебаний, основанный на анализе формы собственных векторов.

### Модификация алгоритма

Основная идея модификации заключается во вращении пространства таким образом, чтобы после вращения собственные векторы стали ортогональны в метрике  $\mathbf{R}_N$ . Определим пару преобразования координат:

$$f(\mathbf{A}) = \mathbf{Y}_N^{1/2} \mathbf{U}_N' \mathbf{A}, \quad b(\mathbf{A}) = \mathbf{U}_N \mathbf{Y}_N^{-1/2} \mathbf{A}. \quad (5)$$

Здесь  $f(\mathbf{A})$  – прямое преобразование,  $b(\mathbf{A})$  – обратное преобразование,  $\mathbf{U}_N$  – матрица собственных векторов шума,  $\mathbf{Y}_N^{1/2}$  – диагональная матрица, образованная корнями квадратными из собственных чисел шума,  $\mathbf{Y}_N^{-1/2}$  – диагональная матрица, образованная собственными числами шума, возведенными в степень  $-1/2$ .

Преобразуем исходные данные в соответствии с заданным преобразованием координат.  $\mathbf{X}_D^f = (\mathbf{U}_N \mathbf{Y}_N^{-1/2}) \mathbf{X}_D$ ,  $\mathbf{X}_S^f = (\mathbf{U}_N \mathbf{Y}_N^{-1/2}) \mathbf{X}_S$ ,  $\mathbf{X}_N^f = (\mathbf{U}_N \mathbf{Y}_N^{-1/2}) \mathbf{X}_N$ . Тогда в новом пространстве координат ковариационные матрицы данных, сигнала и шума могут быть представлены следующим образом:

$$\mathbf{R}_D^f = (\mathbf{Y}_N^{-1/2} \mathbf{U}_N)' \mathbf{R}_D (\mathbf{U}_N \mathbf{Y}_N^{-1/2}), \quad (6)$$

$$\mathbf{R}_S^f = (\mathbf{Y}_N^{-1/2} \mathbf{U}_N)' \mathbf{R}_S (\mathbf{U}_N \mathbf{Y}_N^{-1/2}), \quad (7)$$

$$\mathbf{R}_N^f = (\mathbf{Y}_N^{-1/2} \mathbf{U}_N)' \mathbf{R}_N (\mathbf{U}_N \mathbf{Y}_N^{-1/2}). \quad (8)$$

После этого вращения координат выполняется следующее равенство:

$$M(\mathbf{R}_D^f) = M(\mathbf{R}_S^f) + \mathbf{I}. \quad (9)$$

Таким образом, данное вращение может рассматриваться как процедура «отбеливания» шума. Найдем диагональную матрицу собственных чисел в этом пространстве  $\mathbf{Y}_D^f$  и матрицу собственных векторов  $\mathbf{U}_D^f$ .

Для отделения сигнала от шума и выбора полезных компонент необходимо анализировать матрицу собственных чисел. Все собственные числа, относящиеся к шуму, равны друг другу.

Для анализа собственных векторов необходимо совершить обратное преобразование:

$$\mathbf{U}_D^b = b(\mathbf{U}_D^f) = (\mathbf{U}_N \mathbf{Y}_N^{-1/2}) \mathbf{U}_D^f. \quad (10)$$

Таким образом, выполняются следующие два равенства:

$$\mathbf{Y}_D^f = \mathbf{U}_D^{f'} \mathbf{R}_D^f \mathbf{U}_D^f = \mathbf{U}_D^{b'} \mathbf{R}_D \mathbf{U}_D^b. \quad (11)$$

Столбцы матрицы  $\mathbf{U}_D^b$  ортонормированны в метрике  $\mathbf{R}_N$ , т.е.,  $\mathbf{U}_D^b \mathbf{U}_D^{b'} = \mathbf{R}_N$  и  $\mathbf{U}_D^b \mathbf{R}_N \mathbf{U}_D^b = \mathbf{I}$ .

### Применение метода

Для проверки работоспособности метода сгенерируем временной ряд, являющийся суммой гармоник и AP(1) – процесса:



$$x_i = \cos\left(\frac{2\pi}{15}i\right) + cn_i, \quad i = 0, \dots, N-1 \quad (12)$$

где  $N = 200$ ,  $cn_i = -a1 \cdot cn_{i-1} + e_i$ ,  $a1 = -0.85$ ,  $e$  – белый шум, распределенный нормально  $N(0,1)$ .

График временного ряда и гармоники представлен на рис. 1.

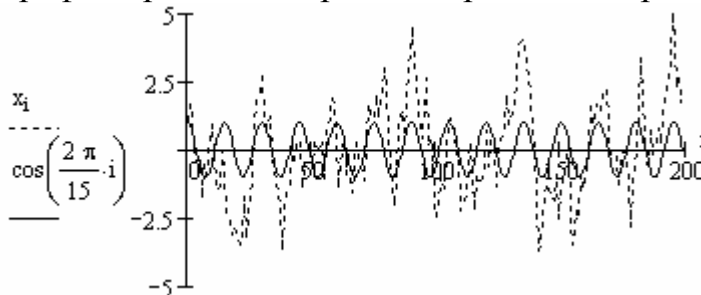


Рис. 1. График временного ряда и чистой гармоники

Преобразуем ряд в многомерный согласно (1),  $L = 60$ . Предположим, что параметры  $AP(1)$  – процесса априори известны. Построим ковариационные матрицы шума  $\mathbf{R}_N$ , и исходного ряда  $\mathbf{R}_D$ .

Согласно (6) выполним вращение координат. На рис. 2 представлены графики собственных чисел исходной ковариационной матрицы и ковариационной матрицы после вращения.

Анализ собственных чисел исходной ковариационной матрицы не позволяет однозначно определиться с тем, какие компоненты отнести к сигналу, а какие к шуму. В тоже время, собственные числа, получаемые после вращения ковариационной матрицы, имеют довольно ясную структуру. Первые два собственных числа можно отнести к сигналу, остальные равны друг другу и относятся к шуму.

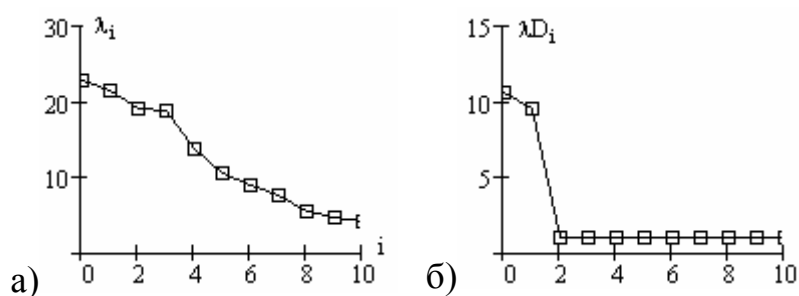


Рис. 2. Графики собственных чисел ковариационной матрицы. а) – до вращения, б) – после вращения

Проведем обратное преобразование ковариационной матрицы согласно (10). На рис. 3. представлены собственные векторы базового алгоритма и алгоритма с «отбеливанием» шума.

После вращения первые два собственных вектора являются практически правильными синусоидами с периодом, равным периоду сигнала. В тоже время, в базовом алгоритме сингулярного разложения периодическая составляющая «размазана» по первым четырем собственным векторам.

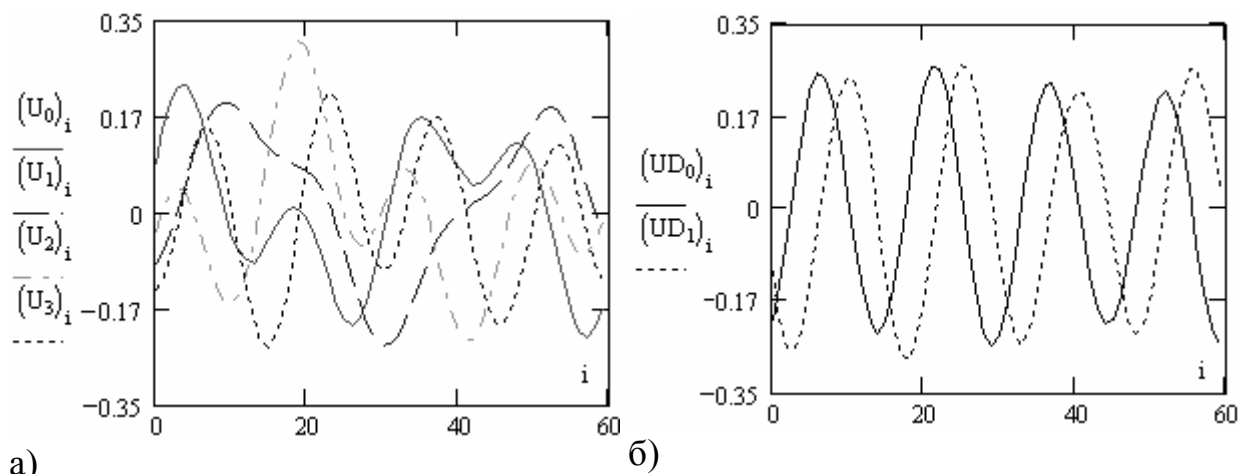


Рис. 3. Собственные векторы. а) – базовый алгоритм б)– модифицированный алгоритм

### Выводы

Предлагаемый метод позволяет проводить анализ временных рядов, загрязненных «окрашенным» шумом. К особенностям метода следует отнести необходимость знания ковариационной матрицы шума и большее по сравнению с базовым алгоритмом количество вычислений.

Автор благодарен профессору Каримову Р.Н. за консультации и замечания по существу изложенного вопроса.

### Список использованных источников

1. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. – СПб., 2004. – 76 с.
2. Allen M., Smith L.A., 1996: Monte Carlo SSA: Detecting irregular oscillations in the presence of coloured noise, *J. Clim.*, 9, 3373-3404.

### 3. ПРОГРАММНЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

**Mysenko D.G.**

#### **AN EXISTING SPAM FILTERING SOLUTIONS STUDY AND NEW SOLUTION PROPOSAL**

*Tomsk Polytechnic University*

Spam or unsolicited bulk email, became one of the problems of the Internet users worldwide during the last few years. Analytics say that more than half of current world mail traffic is spam. Russian officials state that spam damage in year 2004 in Russia is nearly 55 million dollars, but some analytics say it's even 250 millions dollars. Spam is indeed a modern Internet problem – Internet users including children get unpleasant information by email, Internet service providers get additional meaningless loads on network equipment. In countries where Internet users still pay for the amount of bandwidth they use – spam is also a matter of money for them. A lot of companies, big and small, have come with their solutions, but there is still no “panacea”. This paper will briefly describe existing solutions, discuss their disadvantages, and propose a very simple, nevertheless not described before way to block big portion of spam.

#### **1. Introduction**

Electronic mail is currently one of the most popular ways of the communication in the Internet. By 2006, world email traffic is expected to be 60 billion messages per day (International Data Group, 2002). More than half of world mail traffic today is unsolicited commercial correspondence or so called “spam” (Message Labs, 2004). Study in the United States shown that 52% of email users are now less trusting email because of spam, and 25% of email users say that they have lessen their use of email because of spam [1].

Electronic mail is a very popular medium for Internet advertisements because it's cheap (actually, often a recipient pays for the ad message), it's very fast and it's global. IT specialists who often called “hackers” use compromised by Trojan or virus program computers of Internet users to send a spam. As soon as number of vulnerable Internet computers is very high, this way gives an opportunity to send thousands of spam messages per second. Advertisers themselves usually have nothing to do with spam mailing, they are “customers” of hackers and so they pay money for each spam campaign.

Spam senders usually build their email databases using information from the websites since almost every website contains email contacts. Spam senders also manage to get databases of corporate email addresses. As soon as publication of email contacts on the websites is very important for the most kinds of business, a solution of not publishing one's email address won't be discussed in this paper.

World IT community has come with different solutions for spam filtering or preventing so far. We will divide these solutions into categories and describe disadvantages of each one.

---

---

There is juridical “solution” as well but it lacks effectiveness because it’s often hard or even impossible to figure out who did send particular spam. In the United States, there are few court cases being held each month.

## **2. Existing solutions**

Technical spam filtering or preventing solutions can be divided into following categories:

- Content parsing solutions;
- Sender blacklisting solutions;
- User or server authentication solutions;
- Sender whitelisting solutions.

Solutions of first three categories usually belong to “deny” group that means these solutions are used to deny particular messages and leave everything else.

Solutions of last category usually belong to “allow” group that means these solutions are used to mark particular messages as “real ones” or authenticated ones. Messages that didn’t pass this check are considered neither spam nor real (so called “grey list”) and are subject for hands-on check.

A solution proposed in this paper doesn’t suite into any of the categories below.

### **2.1. Content parsing solutions**

Content parsing solutions analyze contents of the incoming email correspondence either at MTA (Mail Transfer Agent) or at MUA (Mail User Agent). These solutions usually use pre-specified signatures to detect spam. They can learn new signatures from particular user or from some community.

Disadvantages of this group of solutions are:

- CPU utilization, MTA or MUA needs to parse every message, sometimes using mathematical algorithms (such as Naïve Bayesian described in [2]). Hence, more mail traffic – more CPU load. Even if we get rid of spam messages, we “pay” with our hardware utilization;
- Bandwidth utilization, MTA or MUA receives full message before it performs an analysis and makes a decision. So, even if we get rid of spam messages, we pay for the bandwidth;
- Risk of deleting or marking as spam useful email messages. Some users, often those with low-level computer skills, send email messages that look like spam according to spam detector algorithms;
- Need of updates, thus leading to never-ending battle – software developers constantly add new signatures and new algorithms for spam detecting, and spam senders constantly change their signatures and make their messages look “real”.

### **2.2. Sender blacklisting solutions**

Sender blacklisting solutions maintain lists of senders that are denied to send an email correspondence. These lists are usually held in DNS (Domain Name Ser-

---

---

vice) zones and are being used by MTA at connection stage, thus saving a bandwidth.

Disadvantages of this group of solutions are need of maintaining of database on hourly basis by competent people (often good senders are added to these lists by mistake), huge growth of DNS traffic due to DNSBL queries.

### **2.3. User or server authentication solutions**

User authentication solutions checks whether our SMTP client is authorized to send an email correspondence on behalf of some particular sender or to some particular recipient. There are few existing solutions exist, such as SPA (Single Purpose Address) conception by J. Ioannidis of AT&T Labs [3] or SPF (Sender Policy Framework) conception already used by a number of big IT companies. First solution holds additional technical information in the email address itself, second solutions adds additional data to the DNS zone.

Server authentication solutions are so called “payment” solutions. They use different schemes to check whether some particular MTA has an access to send email correspondence to our MTA. Examples are POW (Proof of Work) conception by M. Jakobsson and A. Juels [4], charity stamps proposed by IBM researchers Fahlman and Wegman [5], LCP (Lightweight Currency Protocol) conception by D. Turner and D. Havey [6].

Disadvantage of this group of solutions is that in order to make them effective we need to ensure that every MTA in the world is configured to use proposed schemes. This is, of course, impossible.

### **2.4. Sender whitelisting solutions**

This group of solutions maintains database of trusted email senders. These solutions may use mathematical algorithms to build this database as well [7]. If new person sends an email message then this message will not pass the check. This makes this group of solutions non-useful for public persons and published email addresses.

## **3. A simple way to block spam**

Proposed solution lies in email principals. All email correspondence in the Internet is being routed according to the Fig. 1. MUA's send outgoing email messages to their company's or their ISP's MTA, then MTA sends email messages to another MTA that is responsible for recipient domain. There maybe a number of other MTA's between the first one and the last one, but no MUA's. There are no circumstances where some end-user MUA might want to send email message directly to MTA of recipient domain – some of the ISP's already have blocked such kind of connections for their customers. At the same time, most of the spam today comes from infected end-user computers directly to our MTA's – MTA's of recipient domain. Hence, possible solution could lay in distinguishing between MTA and MUA during the connection stage. We should receive mail from all MTA's

---

---

and from particular MUA's that are authorized to send or "relay" mail either by pre-defined list of company or customer IP ranges or by password authentication.

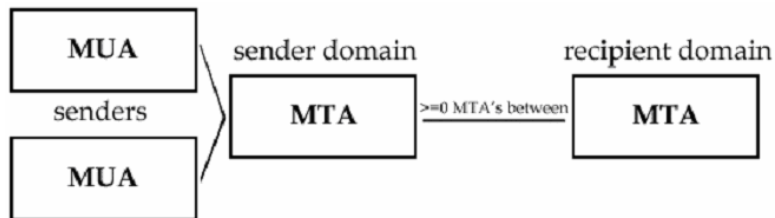


Fig. 1. Internet mail delivery scheme.

One of the differences between MTA and MUA, difference that cannot be "faked" by spam senders in order to break through our solution, is reverse DNS zone record (PTR record). There are other differences as well (TCP port 25 in listening state on real MTA, for example) but spam senders would easily adapt to this. Almost every IP in the Internet has a reverse zone record, if not – it can be considered as misconfigured and thus denied (it depends on your local politics).

A study of current Internet reverse zones has shown that there some logic rules exist. For example, system administrators never call their MTA servers with 6-level domain name containing IP address or words like "ppp" or "dhcp". Hence, we can filter incoming SMTP connections based on reverse PTR records.

Author has developed a simple C program that performs this check according to predefined rules, and managed to link it with popular Exim MTA software.

The following rules in our experiment were used:

- Top-level and second-level domains are cut out from the reverse record before the analysis;
- If one of the words "pool", "ppp", "dsl", "cust", "host", "user", "dynamic", "cable", "dhcp" is found in residuary part of reverse DNS record – then connection is considered a spammer;
- If there are more than 4 dots (means that domain is more than 5-level) – then connection is considered a spammer;
- If there are more than 8 digits (most reverse DNS record for cable and dial-up users contain IP-address in some form) – then connection is considered a spammer;
- If one of the words "mail", "relay", "smtp" is found in reverse DNS record – then connection is re-considered a real MTA;
- Spammer connections are dropped.

For bigger MTA's rules should be slightly modified.

Fig. 2 shows amount of spam blocked using this solution at the small company mail relay during 3 days of empirical study. As we can see from it, our solution is able to filter as much as 99,991% of incoming spam messages.

Advantages of this simple solution are:

- No need to modify SMTP protocol;
- Any MTA administrator is able to apply solution immediately, without waiting for others;

- No bandwidth utilization;
- Low CPU utilization;
- Low risk of denying good MTA's;
- Low possibility of spam senders breaking through this protection.

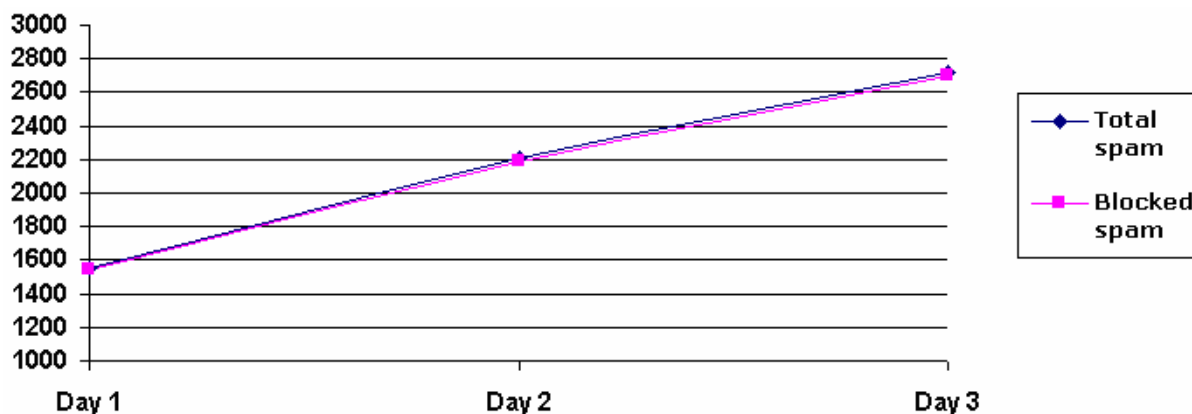


Fig. 2. Amount of filtered spam using our solution

#### 4. Conclusions and future work

In this paper we have proposed a simple and an effective way to block big portion of bulk email (spam) at incoming MTA server. We have performed an experiment and it showed that our solution is capable of blocking up to 99,991% of incoming spam.

For the future work, it will be interesting to perform an empirical study at a medium-size or big-size MTA server.

#### References

1. Fallows D. Spam: How it is hurting email and degrading life on the internet, Tech, report, Pew Internet and American Life Project, October 2003.
2. Androutsopoulos I., Koutsias J., Chandrinou K.V., Paliouras G. An Evaluation of Naïve Bayesian anti-spam filtering, Proc. of the Workshop on Machine Learning in the New Information Age, 11<sup>th</sup> European Conference on Machine Learning (ECML 2000), Barcelona, Spain, 2000.
3. Ioannidis J. Fighting Spam by Encapsulating Policy in Email Addresses, Proc. of the Internet Society 10th Network and Distributed System Security Symposium, San Diego, USA, February 2003.
4. Jakobsson M., Juels A. Proofs of work and bread pudding protocols, Proc. of the IFIP TC6 and TC1 Joint Working Conf. on Communications and Multimedia Security, 1999.
5. Robbins A. You spam, You pay, PC Magazine, <http://www.pcmag.com/article2/0,4149,1040763,00.asp>, April 2003.
6. Turner D., Havey D. Controlling Spam through Lightweight Currency, Proc. of the Hawaii Int. Conf. on Computer Sciences, January 2004.
7. Boykin P.O., Roychowdhury V. Personal email networks: An effective anti-spam tool, <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0402143>, 2004.

**Ефимов В.И., Щерба Е.В.**

## **АТАКА НА СИСТЕМУ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ РАЗНЕСЕННОГО ТСП/IP ТРАФИКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КОРРЕЛЯЦИИ ПОТОКОВ**

*Омский государственный университет им. Ф.М.Достоевского*

Пусть необходимо передать информацию с одного компьютера на другой (далее демультиплексор и мультиплексор), обеспечивая при этом некоторую безопасность передачи данных. Предлагается осуществить разнесение передачи по нескольким физическим каналам отдельных частей передаваемого текста таким образом, чтобы с физической точки зрения перехват всех частей текста был затруднителен и сложность восстановления исходного текста без какой-либо его части была максимальной, или, иными словами, реализован аналог телефонного шифратора Д.Х.Роджерса [1] для WWW. Данная система в простейшей форме легко реализуется в стеке ТСП/IP на сеансовом уровне модели ISO/OSI, благодаря использованию промежуточных передатчиков (рис. 1).



Рис. 1. Система мультиплексирования

Данные приложения на демультиплексоре разбиваются (демультиплексируются) на части, в соответствии с алгоритмом работы программы, передавая каждую часть своему ТСП-приложению. Каждое из ТСП-приложений совместно с ТСП-приложением на соответствующем передатчике заботится о надежной доставке передаваемых данных от демультиплексора к передатчику. После обработки данных на уровне ТСП пакеты передаются уровню IP. В заголовке полученного IP - пакета в поле отправитель стоит IP-адрес демультиплексора, а в поле получатель IP адрес передатчика. Благодаря такой реализации происходит сокрытие «глобальных адресов», т.е. адреса конечного пункта назначения и адреса устройства, изначально отправившего данные. Т.е. при перехвате пакета на участке между передатчиком и мультиплексором, об адресе демультиплексора ни на каком уровне ничего сказать нельзя. Таким образом, передатчики выполняют двоякую функцию: выступают в роли посредников (проху), позволяют задать траекторию прохождения трафика, выступая в качестве узловых точек. При работе на сеансовом уровне имеется возможность оперирования потоком данных и любыми его частями, не обращая внимания на его достоверность и надежность (в случае использования ТСП в качестве транспортного протокола).

Реализованы программные модули компонентов системы, позволяющие передавать данные без шифрования, но, в то же время и не дающие воз-



возможность злоумышленнику получить прямой доступ ко всему потоку данных, а следовательно, усложняющие получение и восстановление им исходной последовательности. Наряду со сложностью доступа к физически-разнесенным каналам имеется так же трудность обнаружения необходимого потока в конкретном физическом канале, поскольку в сетях так же присутствует и посторонний трафик. В связи с этим имеется момент сокрытия самого факта передачи информации [2].

Среди возможных атак на систему, особое внимание следует уделить атаке на нахождение потоков принадлежащих общему источнику благодаря коррелированности их скоростей.

Демультимплексор передает побайтно информацию на 1-й передатчик и 2-й передатчик. Злоумышленник контролирует трафик где то на участках "демультимплексор – 1-й передатчик" и "2-й передатчик - мультиплексор". Пусть эти два потока находятся в общем физическом канале, но адреса отправителя и получателя у них будут различны. Таким образом, трафик, проходящий по данному физическому каналу, представлен на рис. 2. Знаком (#) обозначены коррелированные потоки в одном физическом канале.

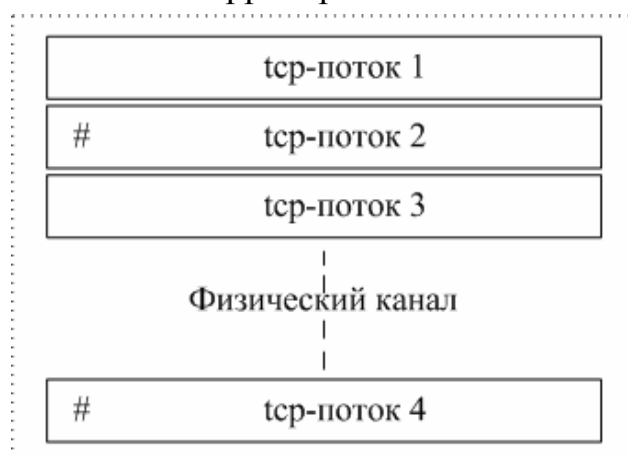


Рис. 2. Представление потоков в физическом канале

Чтобы понять, какие потоки взаимосвязаны между собой, злоумышленнику достаточно уменьшить полосу пропускания для каждого из потоков и анализировать реакцию других потоков на данное воздействие [3].

На рис. 3 приведен график скорости трафика в реальной системе, где явно видна корреляция между потоками, проходящими по разным физическим каналам. Проведя соответствующий математический расчет, используя формулу для вычисления коэффициента корреляции [4], получаем 0,7. В данном случае это означает, что по физическим каналам проходят потоки, коррелированные между собой, а так же и другой трафик. При отсутствии в каналах другого трафика корреляция была бы равна 1.

Т.к. информация передается поочередно, разделяясь побайтно демультимплексором на ПЕР1 и ПЕР2 (рис. 4), то скорости передачи информации  $V_{дем-пер1} = V_{дем-пер2}$ . Пусть злоумышленник уменьшил полосу пропускания где-то на участке "ПЕР2 - М". Это можно сделать, случайным образом удаляя пакеты идущие от ПЕР2 к мультиплексору (т.е. ТСР-пакеты с адресами  $ip_{ПЕР2}-ip_M$ ). После удаления пакета, протокол ТСР запускает таймер, и если по истечении тайм-аута на передающую сторону не приходит подтверждение о приеме, пакет ретранслируется. Таким образом, скорость передачи для данного ТСР соединения падает. Демультимплексор ничего "не знает" о

том, что происходит на участке "ПЕР2 - М" и побайтно продолжает передавать данные, вследствие чего БУФ1 ПЕР2 переполняется, т.к. скорость канала "ДЕМ - ПЕР2" больше скорости "ПЕР2 - М".

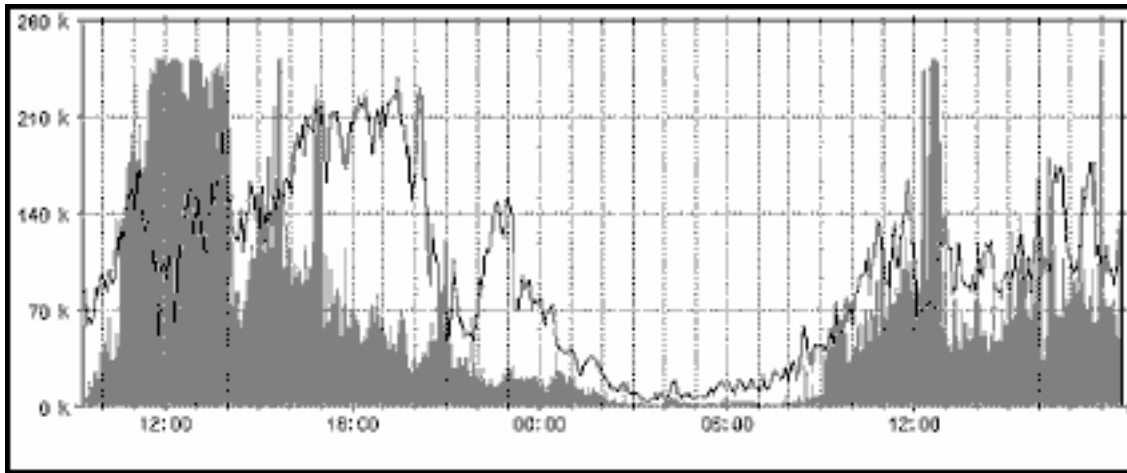


Рис. 3. Графики скоростей трафика в физических каналах

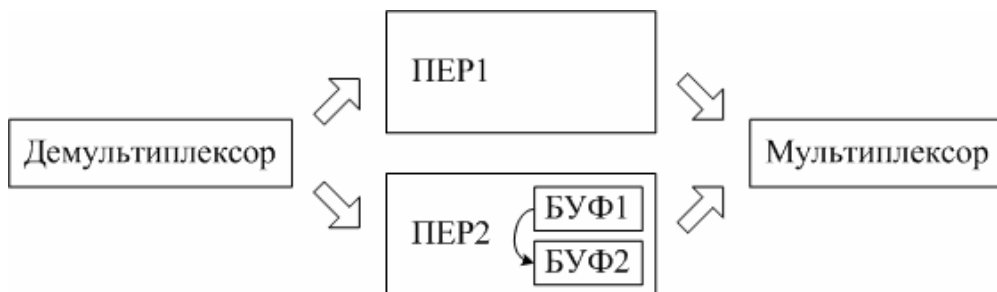


Рис. 4. Возникновение коррелированности при переполнении буферов

Вследствие переполнения БУФ1, ПЕР2 не дает подтверждения ДЕМ и последний, в свою очередь, продолжает ретранслировать эту часть данных до тех пор, пока не освободится БУФ2 ПЕР2 а после этого и БУФ1. Только после освобождения БУФ1 ПЕР2 будет давать подтверждение ДЕМ и тот продолжит передавать данные. При возникновении задержек при передаче от ДЕМ к ПЕР2 ничего не будет передаваться и по каналу "ДЕМ-ПЕР1", т.к. соблюдается побайтная очередность. Таким образом, определенное время спустя после падения скорости на участке "ПЕР2-М", упадет скорость и на участке "ДЕМ-ПЕР1", хотя они напрямую никак не связаны. Следует отметить, что БУФ1 и БУФ2, буферы соответствующих ТСП соединений, сглаживают кратковременные изменения скоростей потоков. Однако при длительном воздействии злоумышленника они неэффективны. На рис. 5 заметны небольшие расхождения в графиках скоростей потоков, обусловленные влиянием встроенных буферов ТСП, коэффициент корреляции близок к 1.

В качестве решения для ослабления корреляции при внешнем воздействии, в компоненты системы добавлен дополнительный программный буфер, гораздо больший по объему, чем встроенный буфер ТСП (рис. 7).

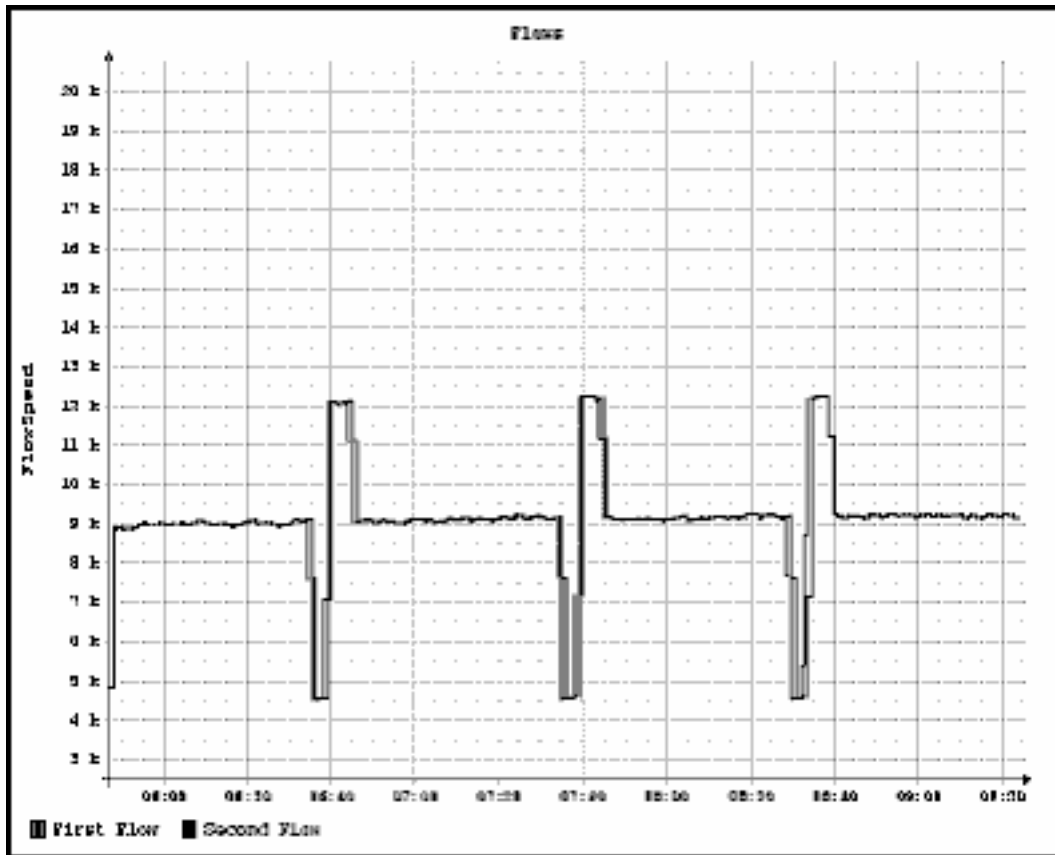


Рис. 5. Графики потоков без использования дополнительных буферов

Структурная схема демультиплексирующего модуля при этом представлена на рис. 6.



Рис. 6. Схема системы без использования буфера



Рис. 7. Схема системы с использованием дополнительного буфера

Таким образом, при ограничении полосы пропускания на потоке, демультиплексор продолжает работать в обычном режиме. Но избыточные данные помещаются в буфер для последующей передачи по сети. Это наглядно отражено на графиках (рис. 8) где видно, что при ограничении одного из потоков на другом это никак не отражается.

График загрузки буфера в канале, где произведено внешнее воздействие, представлен на рис. 9.

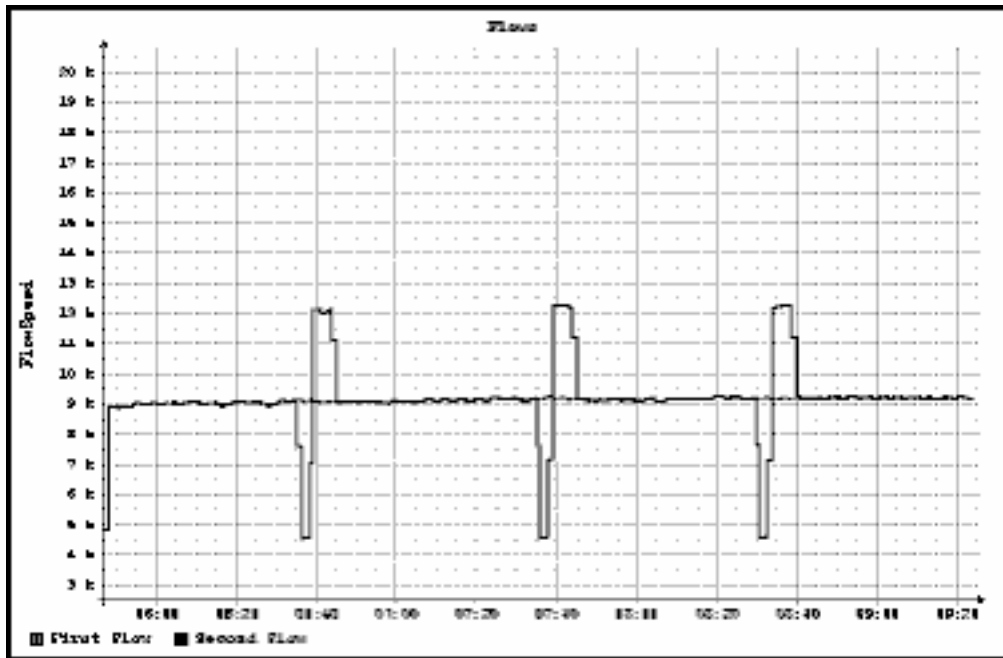


Рис. 8. Графики потоков с использованием дополнительных буферов

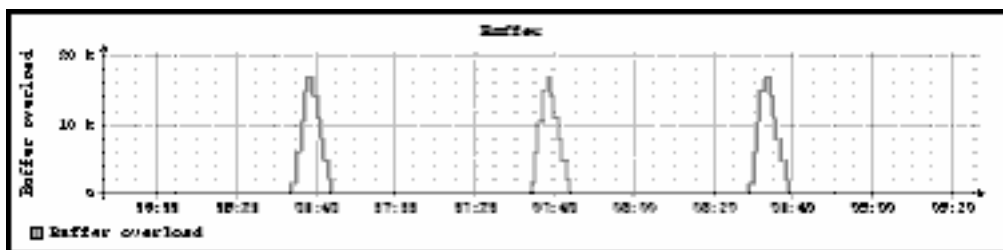


Рис. 9. График загрузки дополнительного буфера

Использование дополнительного буфера ослабляет корреляцию. Ее значение в данном случае равно 0.31.

Следует отметить, что чем больше размер буфера, тем более длительное воздействие на канал данная система способна выдержать. Под воздействием можно понимать не только внешнее (с применением ограничения полосы пропускания для ТСР-потока) воздействие, но и естественные изменения полосы пропускания характерные для сетей с пакетной коммутацией вызываемые задержками на маршрутизаторах, другим приоритетным трафиком и другими факторами, ослабляющими корреляцию между потоками на которые разбивается исходная последовательность передаваемых данных.

#### Список использованных источников

1. Kahn D. The story of secret writings. Macmillan. N.Y. 1967.
2. Ефимов В.И., Файзуллин Р.Т. Система мультимплексирования разнесенного ТСР/IP трафика. Вестник Том. ун-та. Приложение. – 2005 - №14. – С. 115-118
3. Ефимов В.И. Система контроля разграничения доступа на основе исследования корреляций потоков данных. Математические структуры и моделирование. № 13. 2004.
4. Колемаев В.А., Староверов О.В., Турундаевский В.Б. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Наука, 1991.

**Кравец О.Я., Платов В.В.**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН САМОПОДОБИЯ ТРАФИКА В**  
**ПЕРЕПОЛНЕННОМ БУФЕРЕ АКТИВНОГО СЕТЕВОГО**  
**УСТРОЙСТВА**

*Воронежский государственный технический университет*

Феномен самоподобия был обнаружен множеством исследователей при анализе трафика сети Интернет [1-3]. Обычно, самоподобие объясняется «тяжелохвостым» распределением длин сессий каждого потока данных [2]. Однако, долгосрочная зависимость (LRD, long-range dependence) была обнаружена также в случаях, когда длины потоков варьировались слабо [4].

В работе [5] была предложена математическая модель механизмов медленного старта и экспоненциального отката протокола TCP. Данная модель более подробно исследуется в [6]. Механизм экспоненциальных откатов является перспективным направлением для объяснения самоподобия в тех случаях, когда остальные представления себя не оправдывают.

В данной статье изучается буфер «узкого места», коим может быть либо очень короткий буфер активного сетевого устройства, либо буфер, содержащий очень много TCP сессий. Такие буферы преимущественно находятся на периферии сетей, например в сетях доступа. Хотя идея о связи типа распределения трафика с перегрузкой сети была уже озвучена в литературе, количественного доказательства представлено не было. В данной работе будет произведена попытка детального анализа процессов, происходящих в переполненном буфере. Также будет показано, что он может стать причиной LRD трафика.

Рассмотрим упрощенную модель буфера пакетов активного сетевого устройства. В рамках данной модели  $N$  потоков TCP разделяют буфер конечной длины ( $B$  пакетов). Модель схематично изображена на рис. 1.

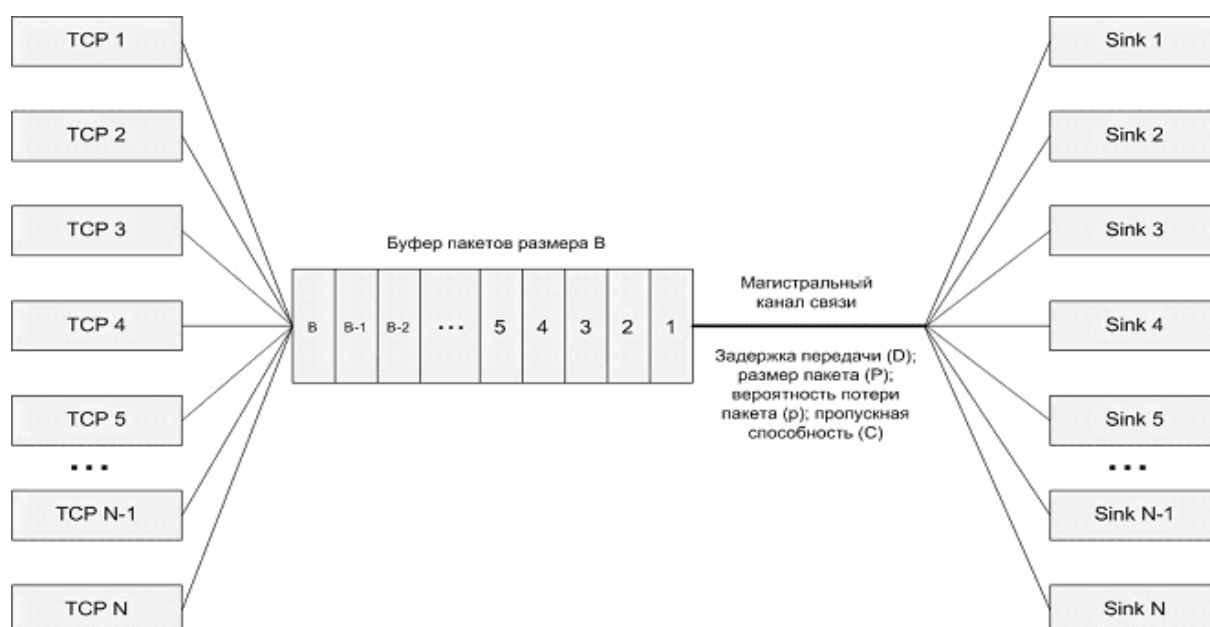


Рис. 1. Буфер «узкого места»

Магистральный канал связи может быть моделирован постоянным значением времени задержки пакета ( $D$ ) и внешней вероятностью потери пакета  $p$ . Заметим, что  $p$  – постоянная величина, являющаяся характеристикой канала связи, не зависит от степени наполнения буфера «узкого места».

Покажем, что данная вероятность внешней потери пакета  $p$  играет ограниченную роль в рассматриваемой модели. Конечный размер буфера ограничивает максимальный размер перегрузочного окна ТСП значением  $B$ . Т.е.

$$cwnd_{\max} \approx B.$$

При этом среднее значение данного окна при  $N$  одновременных конкурирующих потоках ТСП и полностью заполненном буфере будет равно:

$$cwnd \approx B/N$$

С другой стороны, вероятность внешних потерь в магистральном канале приведет к следующему среднему значению перегрузочного окна

$$\overline{cwnd} \approx c/\sqrt{p},$$

где  $c \approx 1..1.5$  (см. [7]). В случае если  $c/\sqrt{p} \gg B/N$ , величину перегрузочного окна определяет исключительно размер буфера, т.е. внешними потерями можно пренебречь. При этом переполнение буфера становится главной причиной потери пакетов. Например, 1% вероятностью потери пакета можно пренебречь в случае, если  $B/N \ll 10$ . Таким образом, можно исключить внешние потери и задержку, вносимую магистральным каналом, из данного рассмотрения.

Следует заметить, что наиболее значимым параметром данной модели является размер буфера, отводимый каждому ТСП потоку, т.е. отношение  $B/N$ . Далее будет показано, что все важные выражения зависят от отношения размера буфера к числу одновременных ТСС сессий, а не от абсолютных значений  $B$  и  $N$ .

Для того чтобы проанализировать свойства трафика, прошедшего через буфер, был использован FTP трафик в среде NS2 [11]. При этом число одновременных сессий варьировалось в пределах 8-125. На рис. 2 показано число пакетов, переданных одним из ТСП источников для различных значений отношения  $B/N$ .

Можно заметить, что при  $B/N = 3$ , после некоторого начального переходного периода все ТСП потоки синхронизируются. Однако в случае  $B/N=1$  синхронизации не происходит, и трафик остается хаотичным [8].

Измерения, проведенные с помощью программного инструмента Selfis для полученных в хаотичном режиме реализаций трафика, показали наличие самоподобия с  $H \approx 0,64$ . Самоподобие наблюдалось для всех значений отношения  $B/N$ , для которых проводились эксперименты.

Попробуем объяснить полученные результаты с помощью модели ТСП, представленной в [5]. Рассмотрим кратко алгоритм функционирования ТСП в режиме экспоненциального отката.

Находясь в режиме медленного старта или избегания перегрузок, протокол ТСП оценивает время оборота пакета в сети (RTT) и его изменчивость

по временным меткам, содержащимся в пакетах подтверждений успешной доставки (ACK). После каждого оценивания RTT TCP вычисляет значение таймера повторной передачи (RTO). По истечении данного таймера TCP считает, что произошла потеря пакета и осуществляет его повторную передачу. Однако, при сильной нагрузке сети, может произойти также потеря повторно переданного пакета. Нужно заметить, что в данном случае TCP не может оценить RTT, так как он не получает ACK. В этой ситуации TCP будет пытаться повторить передачу потерянного пакета снова и снова, каждый раз увеличивая в два раза значение RTO (максимум 6 раз). Данный механизм называется экспоненциальным откатом. Как только TCP получает два последовательных ACK, у него появляется возможность оценить RTT, и протокол переходит в режим медленного старта.

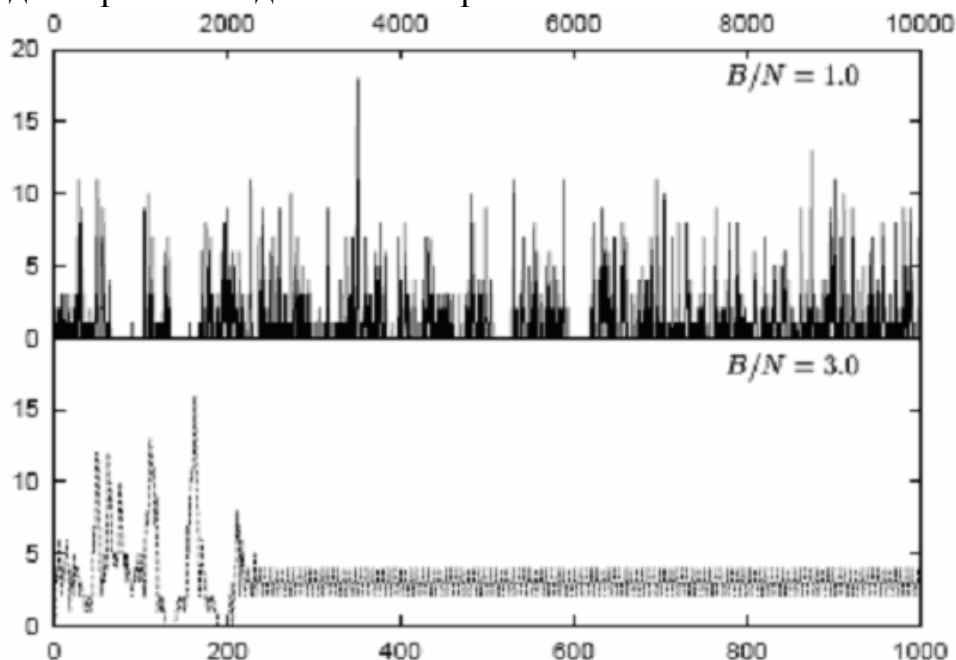


Рис. 2. Число пакетов, переданных одним из параллельных потоков TCP (время измеряется в ВР/С, см. рис. 1)

На рис. 3 изображена модель механизма экспоненциального отката протокола TCP, предложенная в [5]. Из [5] известно, что распределение вероятности нахождения TCP в  $k$ -м состоянии описывается выражением с «тяжелохвостым» распределением:

$$P[t = 2k] = P_{-k} = p^k P_0 = (2^k)^{-\log_2\left(\frac{1}{p}\right)} P_0 = t^{-\log_2\left(\frac{1}{p}\right)} P_0 = t^{-(\alpha+1)} P_0,$$

где  $\alpha = \log_2\left(\frac{1}{2p}\right)$ .

Процесс отправки данных может быть рассмотрен как ON/OFF процесс, где OFF периоды – это промежутки времени между приходом двух последовательных пакетов. В этом случае параметр Херста может быть вычис-

лен по стандартной формуле:  $H = \frac{3-\alpha}{2}$  при  $\alpha > 2$ .

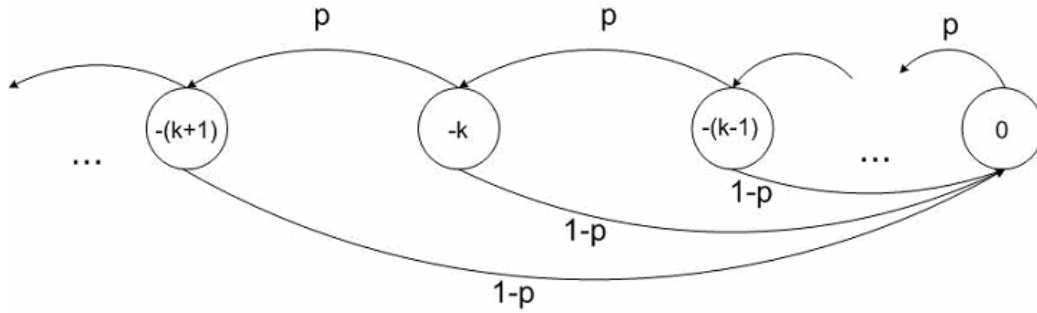


Рис. 3. Модель экспоненциального отката ТСР

Можно вычислить вероятность нахождения ТСР в состоянии экспоненциального отката. Обозначим вероятность нахождения ТСР в состоянии  $k$  как  $P_k$ . На рис. 4 отображена подробная матрица, определяющая вероятности переходов между стадиями экспоненциального отката, предложенная в [6].

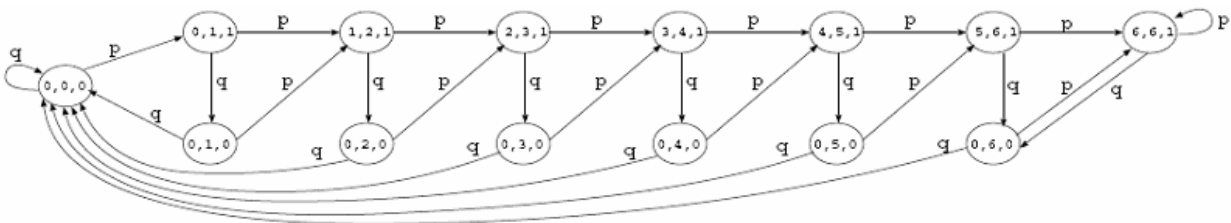


Рис. 4. Матрица вероятностей переходов

Опираясь на результаты [5, 6], была разработана модель, описывающая распределение  $P_k$ . Вероятность потери одного из двух последовательных пакетов равна  $1 - (1 - p)^2 = 2p - p^2$ . Следовательно, вероятность перехода из состояния  $k$  в состояние  $k + 1$  есть  $2p - p^2$  при  $k = 0 \dots 5$ . Теперь можно записать выражение для вероятности  $P_k$ :

$$P_{k+1} = (2p - p^2)P_k, k = 0, \dots, 4$$

Адекватность последнего выражения была проверена с помощью NS2 [11]. Результаты экспериментов сведены в табл. 1. Видно, что результаты экспериментов совпадают с теоретическими.

Таблица 1

Вероятность перехода между состояниями

p	$P_{k+1} / P_k$	$2p - p^2_k$
5%	0.108	0.098
10%	0.196	0.190
15%	0.306	0.278
20%	0.360	0.360

Покажем, что переход ТСР в хаотичный режим вызван механизмом экспоненциальных откатов, тогда как в периодическом режиме ТСР остается



в фазе избегания перегрузки с  $P_k = 0$ . В хаотичном режиме  $P_k$  принимает ненулевое значение. На рис. 5 изображена вероятность перехода  $P_k$  как функция отношения  $B/N$  в хаотичном режиме. Видно, что вероятность  $P_1$  резко повышается для значений  $B/N < 3$ , что означает нахождение значительного числа ТСР потоков в стадии экспоненциального отката, тогда как для  $B/N > 3$  число потоков ТСР, находящихся в стадии отката, мало. С уменьшением значения отношения  $B/N$  возрастает степень перегрузки и, следовательно, вероятности нахождения ТСР в стадии экспоненциального отката. Теперь понятно, что для всех значений  $B/N < R_c$ , буфер «заставляет» функционировать ТСР потоки в режиме отката. Покажем, что результатом станет самоподобный трафик.

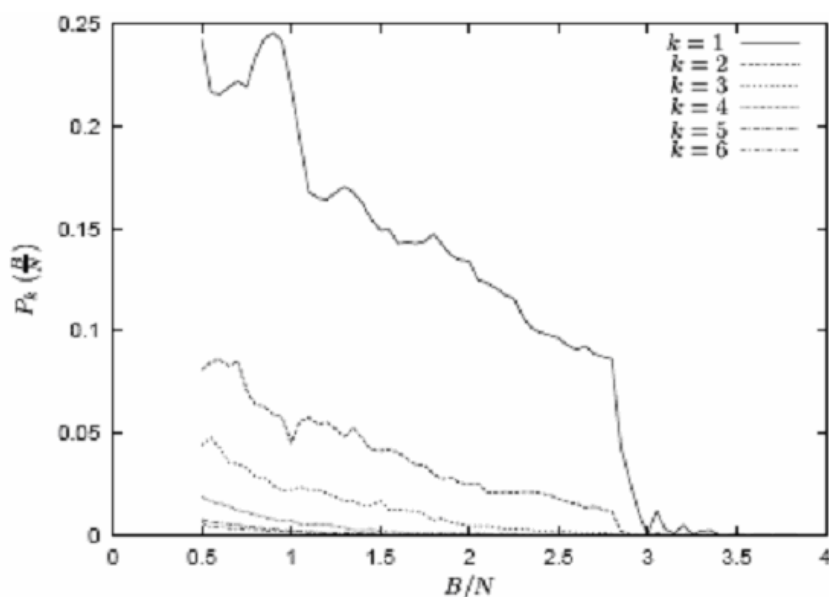


Рис. 5.  $P_k$  как функция  $B/N$  для  $k = 1 \dots 6$ .

Введем понятие эффективной вероятности потери пакета  $P_{эфф}$ . При этом  $\frac{P_{k+1}}{P_k} \approx 2P_{эфф} - P_{эфф}^2$ .

Каждый поток ТСР в  $k$ -м состоянии экспоненциального отката ожидает время  $2^k T_{RTT}$  между двумя попытками посылки пакета. Для того чтобы ТСР оказался в этом состоянии, необходима потеря  $k$  последовательных пакетов с вероятностью  $P_{эфф}^2$ . Следовательно, вероятность паузы длины  $t$  в процессе посылки пакетов пропорциональна  $P_{эфф}^2 = P_{эфф}^{\log(t/T_{RTT})/\log(2)} \sim t^{-(\alpha_{эфф}+1)}$ , где

$$\alpha_{эфф} = \log_2 \left( \frac{1}{2P_{эфф}} \right). \quad (1)$$

На рис. 6 изображено распределение времен прихода пакетов одного из

потоков ТСР при  $B/N = 0.7$  и  $P_{эфф} \approx 18\%$ . Данное распределение может быть аппроксимировано степенной функцией с показателем  $\alpha_{эфф} = 1.56$ . Для сравнения на этом же рисунке изображены результаты моделирования ТСР соединения с помощью NS2 при вероятности внешних потерь 18%. Видно, что это распределение очень похоже на предыдущее и может быть аппроксимировано степенной функцией с тем же показателем. Здесь важно заметить, что поведение ТСР целиком определяется величиной потерь пакетов, а не их природой (случайные потери или переполнение буфера).

Можно показать верность утверждения (1) во всем интервале  $B/N < R_c$ .

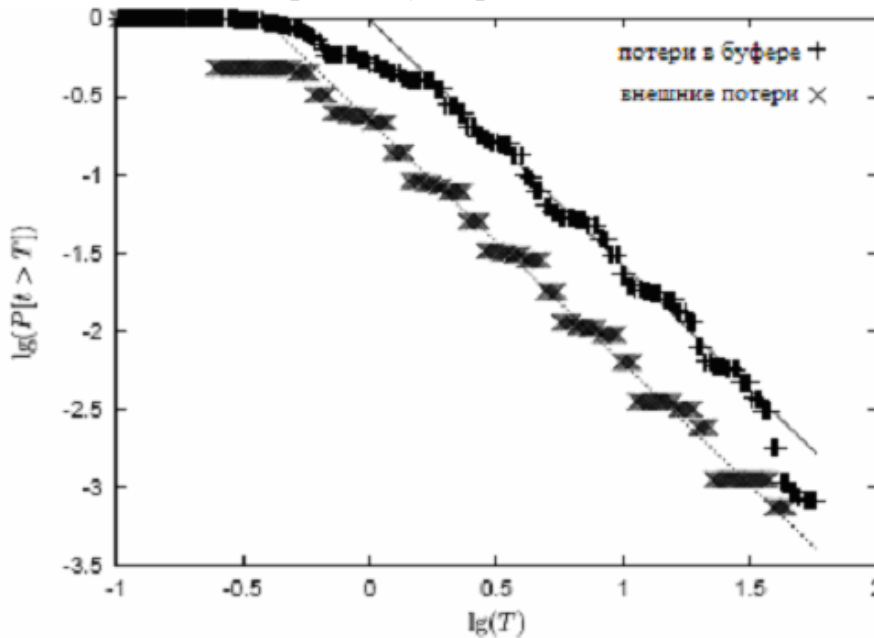


Рис. 6. Сравнение распределений времен прихода пакетов для внешних и внутренних потерь

На рис. 7 произведено сравнение значений  $\alpha$ , полученных путем обработки данных эксперимента и  $\alpha_{эфф}$ , полученных из  $P_{эфф}$  с помощью (1). Легко заметить практически полное совпадение аналитических и практических результатов. Таким образом, можно с уверенностью сказать, что в данном случае причиной самоподобия трафика является механизм экспоненциальных откатов ТСР.

В данной работе было обнаружено, что при отсутствии внешних потерь, переход от доминирования трафика ТСР режима избегания перегрузки к трафику экспоненциальных откатов происходит при  $B/N \approx 3$ . Важно понимать, почему это случается именно при данном значении. В периодической фазе все ТСР потоки находятся в режиме избегания перегрузок, что ведет к тому, что все ТСР потоки должны иметь возможность передать утерянный пакет с первого раза. Заметим, что если ТСР определяет факт перегрузки по истечению тайм-аута, то повторно переданный пакет, скорее всего, тоже потеряется. Однако если перегрузка была определена по трем АСК, повторно

переданный пакет с большой вероятностью будет доставлен.

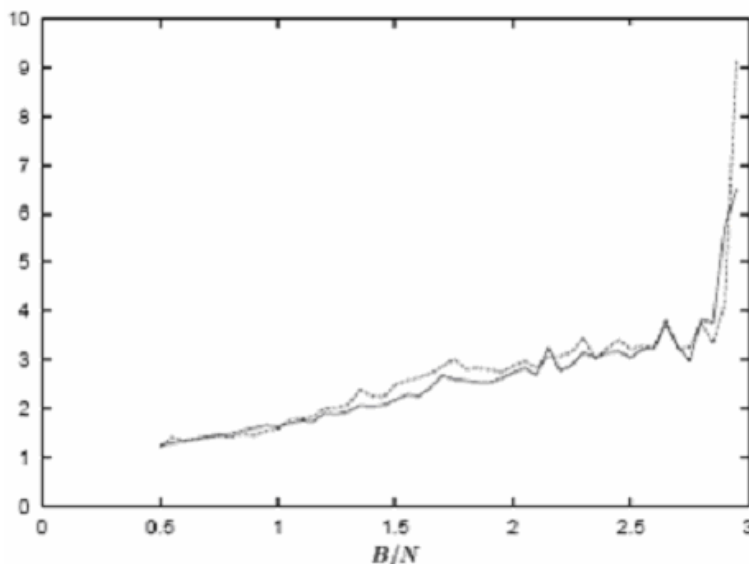


Рис. 7. Сравнение  $\alpha_{эфф}$  (сплошная линия) и  $\alpha$  (пунктир)

Легко показать, что для функционирования механизма определения перегрузки по трем АСК, нужно четыре пакета – в случае потери первого пакета остальные три обеспечат необходимое для обнаружения этого факта число подтверждений.

Таким образом, если буфер может вместить в себя по три пакета каждого ТСР потока, это обеспечит функционирование механизма трех АСК, т.е. ТСР не перейдет к экспоненциальному откату.

Точное граничное значение отношения  $B/N$  зависит от незначительных параметров системы, для которых могут играть существенную роль фазовые эффекты [9]. Необходимы дальнейшие исследования механизмов, имеющие влияние на переход ТСР из синхронного режима к хаосу.

Из анализа, представленного выше, легко сделать вывод о том, что для того, чтобы потоки ТСР оставались в режиме избегания перегрузки, у каждого из конкурирующих потоков в буфере «узкого места» должно быть в среднем место для трех пакетов. Иначе ТСР будут переходить в режим экспоненциальных откатов. Для надежного функционирования сети нужно устранить возможность появления таких ситуаций. Таким образом, необходимо быть уверенным, что размер буфера хотя бы в три раза превышает количество одновременных ТСР сессий, проходящих через него. И если на настоящий момент ядро сетей таким требованиям соответствует, то у пограничных устройств может наблюдаться недостаток оперативной памяти, необходимой для хранения необходимого числа пакетов. Выходом из данной ситуации могло бы стать увеличение буферов пограничных устройств сети, однако это приведет к неограниченному возрастанию задержек при передаче данных. Единственный выход из создавшейся ситуации заключается в изменении алгоритма управления потоком ТСР и алгоритмов обнаружения перегрузки.

В представленной работе была произведена попытка анализа и аналитического описания процессов, происходящих в переполненном буфере ак-

тивного сетевого устройства, содержащем множество конкурирующих TCP потоков. Т.к. TCP является на сегодняшний момент доминирующим транспортным протоколом сети Интернет, изучаемая ситуация не является исключительной и встречается очень часто. В дополнение к работам [8, 10], показывающим, что механизм управления потоком TCP на этапах медленного старта и избегания перегрузки может стать причиной самоподобных свойств трафика, в данной работе обнаружено, что экспоненциальный откат также может вызывать эффект самоподобия. Таким образом, можно сделать вывод о том, что необходима кардинальная переработка всех механизмов, составляющих современный протокол TCP.

### Список использованных источников

1. Crovella M., Bestavros A. Self-similarity in world wide web traffic: Evidence and possible causes. - IEEE/ACM Transactions on Networking, pp. 835–846, December 1997.
2. Leland W.E., Taqqu M.S., Willinger W., Wilson D.V. On the selfsimilar nature of ethernet traffic (extended version). - IEEE/ACM Transactions on Networking, pp. 1–15, February 1994.
3. Feldmann, Gilbert A.C., Willinger W., Kurtz T.G. The changing nature of network traffic: Scaling phenomena. - ACM Computer Communication Review, pp. 5–29, April 1998.
4. Morris R.T. Scalable TCP Congestion Control. - Ph.d. thesis, The Division of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, Cambridge MA, January 1999.
5. Guo L., Crovella M., Matta I. TCP congestion control and heavy tails. - Tech. Rep. BUCS-TR-2000-017, Computer Science Dep., Boston University, 2000.
6. Figueiredo D.R., Liu B., Mishra V., Towsley D. On the autocorrelation structure of TCP traffic. - Tech. Rep. 00-55, Dep. of Computer Science, University of Massachusetts, Amherst, November 2000.
7. Ott T.J., Kemperman J.H.B., Mathis M. The stationary behavior of ideal TCP congestion avoidance. - Proceedings of IEEE INFOCOM'99, New York, 1999.
8. Veres A., Boda M. The Chaotic Nature of TCP Congestion Control // Proceedings of IEEE INFOCOM'2000, March 2000.
9. Karn P., Partridge C. Improving round-trip time estimates in reliable transport protocols. - ACM Transactions on Computer Systems (TOCS), vol. 9, pp. 365–373, 1991.
10. Кравец О.Я., Платов В.В., Влияние параметров существующих алгоритмов управления потоком протокола TCP на степень самоподобия трафика// Современные проблемы информатизации: Сборник трудов Десятой республиканской открытой научной конференции. - Воронеж, 2005.
11. UCB/LBNL/VINT network simulator – ns. - <http://wwwmash.cs.berkeley.edu/ns>.

**Нижарадзе Т.З.**

## АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В СЕТЯХ ОПТИЧЕСКОЙ КОММУТАЦИИ БЛОКОВ

*Вологодский государственный технический университет*

### Введение

Известно, что все протоколы маршрутизации — как дистанционно-векторные (например, RIP), так и состояния связей (OSPF и IS-IS), определяют для трафика, направленного в конкретную сеть, кратчайший маршрут в соответствии с некоторой метрикой.

Выбранный путь может быть более рациональным, если в расчет принимается номинальная пропускная способность каналов связи или вносимые ими задержки, либо менее рациональным, если учитывается только количество промежуточных маршрутизаторов между исходной и конечной сетями, но в любом случае выбирается единственный маршрут даже при наличии нескольких альтернативных.

Другим коренным недостатком традиционных методов маршрутизации трафика заключается в том, что пути выбираются без учета текущей загрузки ресурсов сети. Если кратчайший путь уже перегружен, то пакеты все равно будут посылаться по этому пути.

На рассмотрение предлагается математический метод поиска маршрутов для сетей оптической коммутации блоков, позволяющий найти такой набор маршрутов между парой источник/получатель, при котором использовалось бы максимально возможное число каналов сети, а общая вероятность потерь блоков данных была минимальной.

### **Модель сетевого потока**

Сеть оптической коммутации блоков (OBS – Optical Burst Switched Network) состоит из DWDM-каналов и узлов, в которых коммутация подканалов DWDM (далее –  $\lambda$ -каналов) осуществляется в оптическом виде, без преобразования сигнала в электронную форму, т.е. в узлах используются фотонные коммутаторы (или  $\lambda$ -коммутаторы). Сеть OBS предоставляет двум абонентам оптический канал через всю сеть, но лишь на время, необходимое для передачи нескольких Мбайт информации.

Несущая частота  $\lambda$ -канала входящей линии узла может не совпасть с частотой  $\lambda$ -канала исходящей линии. Поэтому примем, что узел исследуемой сети оснащен оптическими конверторами, позволяющими преобразовать несущие частоты любых входящих  $\lambda$ -каналов в любые исходящие.

Отметим, что количество одновременных оптических соединений, которое может осуществить фотонный коммутатор, конечно. В случае, если суммарное количество входящих в узел  $\lambda$ -каналов превышает возможности фотонного коммутатора, то “лишние” оптические блоки уничтожаются.

Примем, что в узлах исследуемой сети не используются оптические буферы (оптическая память). В этом случае при полной загрузке исходящей DWDM-линии вновь поступающие оптические блоки уничтожаются.

Поскольку в сети оптической коммутации блоков между приемником и получателем устанавливается выделенный, постоянный канал связи (пусть на короткое время), то процессы передачи данных хорошо описываются теорией телетрафика [1].

Выразим интенсивности трафиков, являющихся исходными данными, в виде вектора  $[\lambda_d]$ , где  $\lambda_d$  – параметр потока вызовов или средняя скорость формирования блоков (вызовов) на узле  $S_d$  предназначенных узлу  $T_d$ ,  $V$  – количество узлов в сети,  $d = 1, 2, \dots, D$  – порядковый номер нагрузки. Зна-

чения элементов  $\lambda_d$  вектора могут быть получены эмпирически, либо предустановлены исходя из долговременных потребностей в ресурсах сети для данного трафика; поскольку эти значения могут изменяться, то мы полагаем, что любые изменения вектора интенсивности происходят через достаточно длинные промежутки времени и, соответственно, найденные маршруты в промежутках между этими обновлениями остаются неизменными. Пусть  $1/\beta_d = L_{\text{кадра}}/v_{\text{канала}}$ , где  $\beta_d$  – параметр длительности обслуживания, зависящий от скорости канала  $v_{\text{канала}}$  и средней длины блоков данных  $L_{\text{кадра}}$ , передаваемых от узла  $S_d$  к узлу  $T_d$ , тогда  $y_d = \lambda_d/\beta_d$  – предполагаемая интенсивность формируемых блоков (вызовов) узлом  $S_d$  в единицу времени.

Обозначим сеть в виде ориентированного графа  $G = (V, E)$ , где  $v = 1, 2, \dots, V$  множество узлов (вершин) сети и  $e = 1, 2, \dots, E$  множество односторонних оптических линий (дуг). По каждой дуге блоки данных могут быть переданы по любому каналу из конечного множества  $\lambda$ -каналов  $W$ .

Сформулируем оптимизационную задачу для нахождения оптимальных маршрутов: критерием оптимизации является уменьшение вероятности потерь нагрузки или, иначе говоря, вероятности потерь блоков данных из-за отсутствия ресурсов, а исследуемый вектор определяется множеством  $\{y_d\}$ .

Отметим, что рассматриваемая задача отличается от обычных задач сетевых потоков по следующим причинам:

- невозможно строго выразить искомую функцию (общую вероятность потерь блоков) как функцию вероятностей потерь блоков в дугах;
- если все же найти приближенное выражение искомой функции, то результирующее выражение будет нелинейным;
- вероятности потерь в дугах (и, следовательно, искомая функция) зависят не от заданных значений  $y_d$ , а от реальной нагрузки в дуге, которая неизвестна и может быть определена только после того, как получены оптимальные маршруты;
- отношение между вероятностью потерь в дуге и соответствующей ей нагрузке в дуге строго зависит от вида трафика (т.е. стационарный, самоподобный и т.п.); для не-пуассоновских моделей сетевых трафиков указанную взаимосвязь сложно (или невозможно) выразить аналитически.

Вначале сформулируем оптимизируемую в дальнейшем модель потока данных путем установления взаимосвязи между приближенной вероятностью потерь блоков и вектора потока данных. Пусть  $p_{ve}$  – вероятность потерь блоков, направляемых в исходящую линию  $e$  узла  $v$ . Вероятность  $p_{ve}$  зависит от вероятности потерь на фотонном коммутаторе  $p_v$  и вероятности потерь  $p_e$  на исходящей линии (вследствие ограничения на канальную емкость линии  $e$ ). Выразим эту зависимость в соответствии с формулой надежности параллельных систем [2]:

$$p_{ve} = 1 - (1 - p_v)(1 - p_e) = p_v + p_e - p_v p_e \quad (1)$$

Сделаем допущение, что  $p_e$ ,  $p_v$  и, соответственно,  $p_{ve} \ll 1, \forall e$  и что вероятности потерь  $p_v$  и  $p_e$  не зависят от источника или получателя блока, а так же не зависят от предыдущего пути, по которому прошел блок до поступления в дугу  $e$  узла  $v$ . Как следствие, мы можем в выражении (1) пренебречь произведением  $p_v p_e$ . В этом случае вероятность потерь блоков  $p(\pi)$  вдоль пути  $\pi$ , согласно формуле надежности параллельных систем [2], будет равна:

$$p(\pi) = 1 - \prod_{e \in \pi} (1 - p_{ve}) \approx \sum_{e \in \pi} p_{ve} = \sum_{e \in \pi} (p_v + p_e) \ll 1 \quad (2)$$

Следовательно, мы можем допустить, что наблюдаемая в сети реальная интенсивность трафика  $\bar{y}_e$  между узлами  $S_d$  и  $T_d$  равна *предполагаемой* интенсивности трафика  $y_e$  (то есть в сети нет потерь блоков). Это допущение, близкое к истине в случае малых вероятностей потерь, существенно облегчит дальнейшие расчеты.

Пусть  $x_{ed}$  – доля сетевого трафика между узлами  $S_d$  и  $T_d$  на дуге  $e$ ,  $0 \leq x_{ed} \leq 1$ ; значение  $x_{ed}$  выражает вектор сетевого трафика. Следовательно, вероятность потерь  $P_N$  всего трафика сети равняется:

$$P_N = \frac{\sum_{e \in E} \left( p_{ve} \times \sum_{d \in D} y_d x_{ed} \right)}{\sum_{d \in D} y_d} = \frac{\sum_{e \in E} (p_{ve} \times y_e)}{\sum_{d \in D} y_d} \quad (3)$$

где  $y_e = \sum_{d \in D} y_d x_{ed}$  – суммарная интенсивность нагрузки на дуге  $e$  в предположении, что потери блоков отсутствуют.

С учетом потребностей в ресурсах сети  $\{y_d\}$  наша задача сводится к минимизации вероятности потерь  $P_N$  в выражении (3).

Поскольку знаменатель в выражении (3) является константой, то в качестве целевой функции оптимизационной задачи будем использовать только числитель этого выражения. Введем следующие обозначения:

$a_{ev} = 1$ , если канал  $e$  исходит из узла  $v$ ; 0 в противном случае;

$b_{ev} = 1$ , если канал  $e$  входит в узел  $v$ ; 0 в противном случае. Тогда:

$$F_{\min} = \sum_{e \in E} (p_{ve} \times y_e) = \sum_{v \in V} \sum_{e \in E} a_{ev} y_e (p_v + p_e) \quad (4)$$

$$F_{\min} = \sum_{v \in V} \left( \sum_{e \in E} a_{ev} y_e p_v + \sum_{e \in E} a_{ev} y_e p_e \right) \quad (5)$$

Поскольку  $p_v$  постоянна для любого исходящего канала данного узла  $v$  и что при малых потерях суммарная входящая нагрузка примерно равна суммарной исходящей нагрузке, то верно следующее выражение:

$$F_{\min} = \sum_{v \in V} \left( p_v \sum_{e \in E} b_{ev} y_e + \sum_{e \in E} a_{ev} y_e p_e \right) \quad (6)$$

С учетом того, что

$$\sum_{v \in V} \left( \sum_{e \in E} a_{ev} y_e p_e \right) = \sum_{e \in E} y_e p_e \quad (7)$$

и обозначив суммарную входящую нагрузку  $y_v$  в узел  $v$

$$y_v = \sum_{e \in E} b_{ev} y_e, \quad (8)$$

целевую функцию оптимизационной задачи можем выразить так:

$$F_{\min} = \sum_{v \in V} p_v y_v + \sum_{e \in E} p_e y_e. \quad (9)$$

### Алгоритм поиска оптимальных маршрутов

Как было сказано ранее, выражение для вероятности потерь строго зависит от характера трафика. В общем случае невозможно выразить  $P_N$  как линейную функцию от  $x_{ed}$  и, соответственно, невозможно получить точное выражение для  $P_N$ . Поэтому сделаем допущение, что модель поступления трафика на любой дуге – пуассоновская (простейший поток вызовов без последствий). Необходимо отметить, что даже в случае, когда источники генерируют простейший поток вызовов – интенсивность поступления блоков данных на конкретную дугу может уменьшиться вследствие потерь на предыдущих дугах, соответственно трафик на данной дуге будет не пуассоновским. Тем не менее, если потери блоков относительно малы, то мы можем считать, что этот «разреженный» (вследствие потерь) поток для любых дуг – тоже пуассоновский. Такое допущение дает возможность сформулировать оптимизационную задачу, позволяющую найти искомое множество маршрутов. Даже если характер трафика в сети будет не пуассоновским, вычисленные таким методом маршруты все равно позволят минимизировать вероятности потерь в сети вследствие распределения трафика по сети по сравнению с обычными методами маршрутизации.

Если допустить, что характер трафика в сети – пуассоновский, то, согласно теории телетрафика [1], вероятность потерь в каждой дуге  $e$ , так же как и вероятность потерь на фотонном коммутаторе, можно выразить первой формулой Эрланга:

$$E_k(y) = \frac{y^k/k!}{\sum_{i=0}^k y^i/i!} \quad (10)$$

где  $k$  – количество исходящих линий коммутационной системы,  $y$  – интенсивность поступающей нагрузки.

Подставим выражение (10) в выражение (9):

$$F_{\min} = \sum_{v \in V} E_Z(y_v) y_v + \sum_{e \in E} E_W(y_e) y_e \quad (11)$$

где  $Z$  – максимальное количество одновременных соединений в фотонном коммутаторе,  $W$  – канальная емкость линии.

Сформулируем оптимизационную задачу сетевых потоков [3]:

#### индексы

$d = 1, 2, \dots, D$  нагрузки между источниками и получателями

$e = 1, 2, \dots, E$  однонаправленные каналы связи (дуги орграфа)



$v = 1, 2, \dots, V$  узлы сети

**константы**

$a_{ev} = 1$ , если канал  $e$  исходит из узла  $v$ ; 0 в противном случае

$b_{ev} = 1$ , если канал  $e$  входит в узел  $v$ ; 0 в противном случае

$s_d$  узел-источник нагрузки  $d$

$t_d$  узел-получатель нагрузки  $d$

$y_d$  величина нагрузки  $d$

**переменные**

$x_{ed}$  поток, реализующий нагрузку  $d$  в канале  $e$

$y_e$  нагрузка в канале  $e$

$y_v$  входящая нагрузка в узел  $v$

**целевая функция**

$$F_{\min} = \sum_{v \in V} E_Z(y_v)y_v + \sum_{e \in E} E_W(y_e)y_e, \quad (12)$$

$$y_e = \sum_{d \in D} y_d x_{ed} \quad (13)$$

$$y_v = \sum_{e \in E} b_{ev} y_e \quad (14)$$

**ограничения**

$$\sum_e a_{ev} x_{ed} - \sum_e b_{ev} x_{ed} = \begin{cases} 1, & \text{если } v = s_d \\ 0, & \text{если } v \neq s_d, t_d \\ -1, & \text{если } v = t_d \end{cases} \quad (15)$$

$$\sum_e a_{ev} x_{ed} \leq 1, \text{ где } v = 1, 2, \dots, V \quad (16)$$

$$\sum_e b_{ev} x_{ed} \leq 1, \text{ где } v = 1, 2, \dots, V \quad (17)$$

Формула (15) выражает закон сохранения потока: сумма долей одного и того же трафика, входящего в данный узел, равна сумме долей этого же трафика, исходящего из данного узла.

Формулы (16) и (17) ограничивают единицей суммы долей входящего и исходящего трафика соответственно.

В приведенных выше выражениях переменные  $x_{ed}$  являются вещественными числами от 0 до 1. Это значит, что трафик пары источник-получатель может передаваться по различным маршрутам. В зависимости от топологии сети, алгоритм может найти очень большое количество маршрутов. Если ограничить доли трафика значением  $t_{\min} \leq x_{ed} \leq 1$ , то количество найденных маршрутов для любой пары источник-получатель не превысит значения  $\frac{1}{t_{\min}}$ , что может быть актуально для больших сетей.

Естественно, можно ограничить переменные  $x_{ed}$  только значениями 0 и 1; в этом случае решение задачи приведет к нахождению только одного пути между источником и получателем. В этом случае становится возможным помещать маршрутную информацию не в пакет ВНР (Burst Head Packet), а

предустановить ее в узлах сети. При этом узел будет принимать решение о маршрутизации на основе пары адресов: источника и получателя.

Очевидно, что выражение (12) является нелинейной функцией переменных  $x_{ed}$ . Следовательно, задачу можно решить используя один из методов нелинейного программирования.

#### **Список использованных источников**

1. Лившиц Б. С., Пшеничников А. П., Харкевич А. Д. Теория телетрафика. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Связь, 1979. 224 с., ил.
2. Андронов А.М., Копытов Е.А., Гринглаз Л.Я. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2004. – 461 с.: ил.
3. Michal Pióro. Deepankar Medhi. Routing, Flow, and Capacity Design in Communication and Computer Networks. – Morgan Kaufmann, 2004.

**Омаров О.М., Абдулгамидов А.А.**

### **РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ТОПОЛОГИЙ РЕПЛИКАЦИОННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

*Отдел информационных технологий ГУ ОПФР по РД (Махачкала)*

В результате бурного развития технологий распределенных вычислений и параллельной обработки, возникли системы управления распределенными базами данных, которые становятся доминирующими инструментами для создания приложений интенсивной обработки информации. В среде распределенных СУБД решение вопросов, связанных с возрастанием объема баз данных или потребностей обработки, становится все более доступным - расширение возможностей обычно достигается за счет добавления процессорных мощностей или памяти, без какой либо серьезной перестройке системы.

Идея репликации состоит в том, чтобы создать и поддерживать несколько копий разделяемого хранилища данных. Таким образом, репликация рассматривается как одна из моделей распределения данных разделяемого хранилища. Главная задача при репликации состоит в том, что бы поддерживать реплики в согласованном состоянии, однако в условиях проблемных каналов связи достижение этого условия становится далеко не тривиальной задачей.

**Анализ состояния.** Репликация в данной статье рассматривается как одна из нескольких технологий организации распределенной базы данных.

Основными задачами, преследуемыми при выборе стратегии репликации в распределенной системе являются следующие:

- обеспечение отказоустойчивости: при отказе любой или даже нескольких реплик система должна продолжать работать;
  - повышение производительности: достигается за счет статистического распределения запросов чтения между многими репликами, позволяющее эффективнее использовать сетевые и вычислительные ресурсы;
- 
-

- локализация трафика: уменьшение задержки при обращении к базам данных и снижение загрузки дорогостоящих «дальнобойных» или перегруженных магистральных каналов.

Исследование проблем репликации так или иначе, в своей сути сводятся к решению этих трех основных вопросов, и от эффективности этого решения зависит эффективность модели распределенной системы.

Основной проблемой репликации данных является то, что обновление любого логического объекта должно распространяться на все хранимые копии этого объекта. Трудности возникают из-за того, что некоторый узел, содержащий данный объект, может быть недоступен именно в момент обновления. В таком случае очевидная стратегия немедленного распространения обновлений на все копии может оказаться неприемлемой, поскольку предполагается, что обновление (а значит и исполнение транзакции) будет провалено, если одна из копий будет недоступна в текущий момент.

**Стратегии репликации.** Простейшую модель репликации, основанную по принципу ведущий-ведомый, представляет структура базы данных DNS. В DNS одна из реплик зоны является первичной (primary) или ведущей (master), в которую вносятся все изменения. Все остальные реплики считаются вторичными (secondary) или ведомыми (slave), которые доступны только для чтения.

Более совершенный механизм распространения изменений по принципу ведущий-ведомый используется менеджером учетных записей безопасности Security Access Manager (SAM) домена SMB NT4, который имеет ведущую реплику первичного контроллера домена - PDC (Primary Domain Controller) и возможно несколько ведомых реплик, представляющих резервные контроллеры домена BDC (Backup Domain Controller). PDC запоминает все вносимые в SAM изменения в отдельном хранилище и оповещает о них все BDC. Т.к. все серверы домена перечислены в SAM, PDC знает адреса этих контроллеров и распространяет информацию целенаправленно. Как только все BDC подтвердят получение записи, PDC удаляет ее. Главный недостаток этой, на первый взгляд, весьма оптимальной схемы состоит в том, что все ведомые реплики доступны только для чтения, и все остальные недостатки являются производными от этого.

Постоянного соединения между серверами требуют две наиболее распространенные модели репликации – *репликация вытягиванием (pull replication)* и *репликация проталкиванием (push replication)*. Альтернативой этим двум методам является *репликация по расписанию*, при которой реплики согласуются не чаще, чем с определенным интервалом. Но такая модель приемлема только в случае приемлемости временной рассинхронизации данных.

**Две идеологии репликации - вытягивание и проталкивание.** Репликация вытягиванием чаще всего находит применение в технологии кэширования. Некоторые авторы, такие как Танненбаум Э., Стен М., даже объединяют все типы репликации вытягиванием в одну общую группу под названием кэш (cache) [1]. Кэш, представляя собой частичную реплику некоторого

---

одного или нескольких центральных хранилищ, посредством системы собственных индексов некоей ассоциативной памяти, сопоставляет адрес записи в центральном хранилище, а при использовании нескольких таких хранилищ – сочетание из адреса хранилища и адреса записи и локальную реплику этой записи. Поскольку реплика частичная и содержит только те записи, которые реально востребованы клиентом, такая репликация порождает меньше сетевого трафика, чем стратегии, предполагающие согласование полных реплик. При объеме кэша всего в несколько процентов от объема хранилища, и неравномерным распределением обращений к записям хранилищ – как правило, на основании распределения Парето [2], удается достичь коэффициента попадания (hit rate), измеряемым отношением количества попаданий к общему количеству обращений, равным 90% , а то и 99%.

В зависимости от стратегии кэширования, кэш отдает данные либо немедленно, либо после запроса центрального хранилища о состоянии актуальности запрошенных данных. В первом случае возникает опасность выдачи кэшем устаревших данных [2, 3], однако появляется явное преимущество в производительности и определенной степени отказоустойчивости. Во втором случае, когда кэш отдает данные после запроса центрального хранилища, кэширование оказывается сопряжено с задержкой, как минимум равной сумме всех RTT (Round Trip Time – время в пути туда и обратно) между кэшами всех уровней от клиента до хранилища, т.е. теряется одно из основных преимуществ кэширования –быстродействия, а так же теряется возможность использования кэш для обеспечения отказоустойчивости. Тем не менее, если непосредственно передача данных протекает дольше суммы всех RTT, такое кэширование может оказаться выгодным даже с точки зрения задержек, так как обращение к центральному процессору не всегда сопровождается передачей данных, что приводит к эффективной локализации дальнего трафика.

При репликации проталкиванием сервер реплики, в которой были модифицированы данные, оповещает об этом остальные серверы. Для обеспечения такой идеологии требуется, чтобы каждый сервер реплицируемой системы знал о наличии остальных серверов, что зачастую требует прямого соединения между серверами, в реплики которых могут вноситься изменения, т.е. создания полносвязной сети соединений хотя бы транспортного уровня.

**Гибридные схемы.** На практике, в чистом виде редко можно встретить какую-то конкретную модель репликации – в большинстве случаев распределенные системы построены на смешанных идеологиях.

Одной из моделей гибридной репликации является алгоритм MESI обеспечения когерентности кэшей (cache coherency), используемый процессорами Intel и в ряде других современных процессорах.

Идеология MESI продолжает идеологию кеширования: в кэш скачиваются и вообще передаются по шине только те записи, которые непосредственно востребованы системой, и обрабатывать в первую очередь те операции, которые в данный момент являются причиной каких-то задержек. Эта идеология оправдана вышеупомянутым принципом распределения Парето,

---

т.е. соображением, что большая часть центрального хранилища большую часть времени не востребована.

Алгоритм MESI построен на том, что каждый кэш знает не только о существовании других кэшей, но и немедленно узнает обо всех операциях, производимых этими кэшами. Если перенести эту технологию на сеть и распределенные системы, то это означает, что каждая операция каждой реплики требует оповещения всех остальных реплик и получения от них подтверждений, что они получили это оповещение, т.е. ни одна операция не может быть выполнена быстрее, чем максимальный RTT между репликами, или если оповещение производится центральным сервером – быстрее чем сумма RTT между репликой, инициирующей операцию, и сервером и максимальным из RTT между сервером и другими репликами.

В распределенной нереляционной СУБД Notes/Domino репликация организована по двустороннему типу, которая состоит из проталкивания, за которым следует вытягивание. История репликации состоит из двух записей для каждого сервера: времени последнего вытягивания и времени последнего проталкивания. Все документы в базе состоят из элементов, которые и являются элементарными единицами базы. Каждый элемент характеризуется UNID (Universal Note Identifier – универсальный идентификатор документа) своего документа, именем и серийным номером, определяющим количество изменений этого элемента. В Notes/Domino изменение документа происходит транзакционно, т.е. либо происходит целиком – все элементы изменяются одновременно, либо не происходит вовсе.

Рассмотренные выше модели обеспечивали надежную репликацию отдельных записей БД, гарантируя, что если запись изменена в одной из реплик, то она рано или поздно изменится во всех остальных. Однако, такая репликация приемлема лишь постольку, поскольку каждая запись автономна, т.е. изменения в ней не затрагивают другие записи. На практике же, разработчики приложений на основе реляционных СУБД зачастую сталкиваются с обратной ситуацией, когда записи в базе данных в том или ином смысле взаимозависимы, взаимосвязаны и не могут быть разделены без нарушения своей сущности.

**Выбор модели репликации распределенной системы.** Попытки построения модели с централизованным хранением данных и доступом удаленных пользователей к центральной БД в условиях географически распределенной системы приводят к необходимости установления соединений между центральным сервером, хранящим данные, и компьютерами-клиентами, поэтому в этом случае ключевое значение имеет качество каналов связи. Однако, большинство компьютеров-клиентов могут быть отделены от центрального сервера медленными и недостаточно надежными линиями связи и работа в режиме удаленного клиента становится почти невозможной. То, что данные доставляются к месту назначения не системными средствами, а путем экспорта/импорта файлов, приводит к необходимости участия человека в процессе обмена, что влечет за собой низкую скорость поступления данных и

---

необходимость реализации внешних механизмов контроля целостности и непротиворечивости. Выход из создавшегося положения - возложение функции тиражирования данных на существующие специализированные программные средства. Внедрение технологии тиражирования данных обеспечивает гарантированную доставку, своевременность и целостность передаваемых данных. Поэтому центральным вопросом проектирования является выбор технологии распределенной обработки и доставки данных.

Требования к распределенной системе, как правило, формируются исходя из предпосылок для ее создания. При этом необходимо составить следующую расширенную анкету для распределенной системы: кто получает данные; какие серверы будут подписываться на данные; какими характеристиками обладают серверы назначения, известны ли они или отключены; предполагается ли наделить узлы и компоненты возможностями обновления, и если да, то проанализировать разрешение возможных конфликтов; как часто данные следует синхронизировать, допускает ли используемое приложение задержку данных; как будет проводиться репликация - по расписанию или по запросу?

Проблемы реализации распределенных систем в Дагестанском Отделении Пенсионного Фонда РФ появились сразу же по мере формирования структуры. Главная причина – сложный географический рельеф местности, влияющий на отсутствие каких либо существенных каналов, пригодных для передачи информации между подразделениями предприятия, распределенными по всей территории республики. Второй наиболее существенной проблемой, которая так же пока не потеряла актуальность – гетерогенность и отсутствие достаточной интероперабельности унаследованных информационных систем и локальных программных модулей. Предприятие имеет трехуровневую иерархическую структуру – район – регион – центр, основной задачей которого является сбор, учет, хранение и распределение информации по индивидуальным сведениям начисленных и уплаченных страховых взносов пенсионного обеспечения.

Данная задача, в плане взаимодействия уровня район-регион не требует реализации режима «реального времени» в информационной системе, однако, степень актуальности должна быть достаточно высокой. Разумеется, все проблемы организации распределенной системы не новы, и задачи тиражирования данных так или иначе решаются большинством современных СУБД. Штатные средства производителя СУБД можно использовать, главным образом, в случаях, когда вся корпоративная система, включая удаленные подразделения, выполнена на однородных, хорошо масштабируемых программных средствах, либо когда речь идет о вновь проектируемой системе. Гораздо типичнее обратная ситуация, когда необходимо интегрировать унаследованные разнородные системы, состоящие не только из различных платформ, но и из различных систем хранения-обработки данных.

В основу механизма репликации, предложенного и реализованного специалистами организации в качестве основы распределения данных в рас-

---

пределенной системе, был положен уже реализованный и обкатанный в ряде систем механизм «объектной репликации», который был дополнен системой предварительного анализа выборки реплицируемых объектов.

Распределенная система была построена с использованием комбинации VFP9.0/DB2. Данный выбор был обусловлен именно теми штампами, которые неизбежно приводятся при упоминании об этих технологиях: независимостью от платформ и полной совместимостью с представлением данных уже реализованных систем (VFP9.0) и настоящей «объектностью» и нейтральностью к языкам программирования (DB2). Имели место и чисто прагматические соображения: ориентация на грандов компьютерной отрасли – IBM и Microsoft. И DB2, и VFP9.0 — открытые системы, описанные достаточно подробно и внятно, имеющие предсказуемую линию развития.

Репликационное приложение — это программный модуль, причем функционально различающийся для регионального и районного уровней. С внедренными в нем механизмами предварительного анализа выборки требуемой информации, оно обеспечивает не только управление транзакциями, но и определяет оптимальное значение актуальности документов для экономии трафика при последующей репликации. Таким образом, внедренный механизм обеспечивает достаточный уровень актуальности реплик в условиях проблемных, низкоскоростных каналов связи.

Установка (загрузка) репликационного приложения в филиале производится на одну из машин в рамках локальной сети, имеющей доступ к локальной базе данных, с одной стороны, и имеющей периодический либо постоянный доступ к репликационному приложению, находящемуся на головном предприятии, с другой. Репликационное приложение может работать в двух режимах: режиме ожидания репликационных соединений (сервер) и режиме, при котором производятся периодические попытки соединения с другими репликационными приложениями, работающими в режиме сервера (клиент). Для каждой из баз данных можно запускать одновременно два экземпляра репликационного приложения в разных режимах. Если на связь с сервером выходят одновременно несколько удаленных узлов, то сервер осуществляет взаимодействие с каждым из них в рамках отдельного потока выполнения, запускаемого в виртуальной машине. В случае аварии имеющихся каналов связи, либо если удаленное подразделение не имеет таковых вовсе, предусмотрена так же off-line –репликация. В минимальном варианте все программное обеспечение, включая коммуникационные программы, репликационное приложение и БД, может быть размещено на одном компьютере.

На рис. 1 показаны взаимодействия репликационных приложений между собой и с базами данных при передаче объектов между базами данных.

В процессе сеанса репликации из одной БД в другую происходит следующее.

- Производится формирование предварительного протокола выборки информации из реплицируемой базы для обеспечения необходимого и достаточного уровня актуальности реплики.

---

- Выявляются и исправляются потенциальные ошибки, возможные при разрывах сеансов связи.
- Передаются объекты, которые были созданы, но еще не переданы в конкретную БД.
- Передаются изменения содержимого ранее переданных объектов.
- Производится удаление объектов в БД дальнего узла, которые были удалены в локальной БД и были ранее переданы в дальний узел. Удаление объектов в БД дальнего узла производится в порядке регистрации их удаления в локальной.

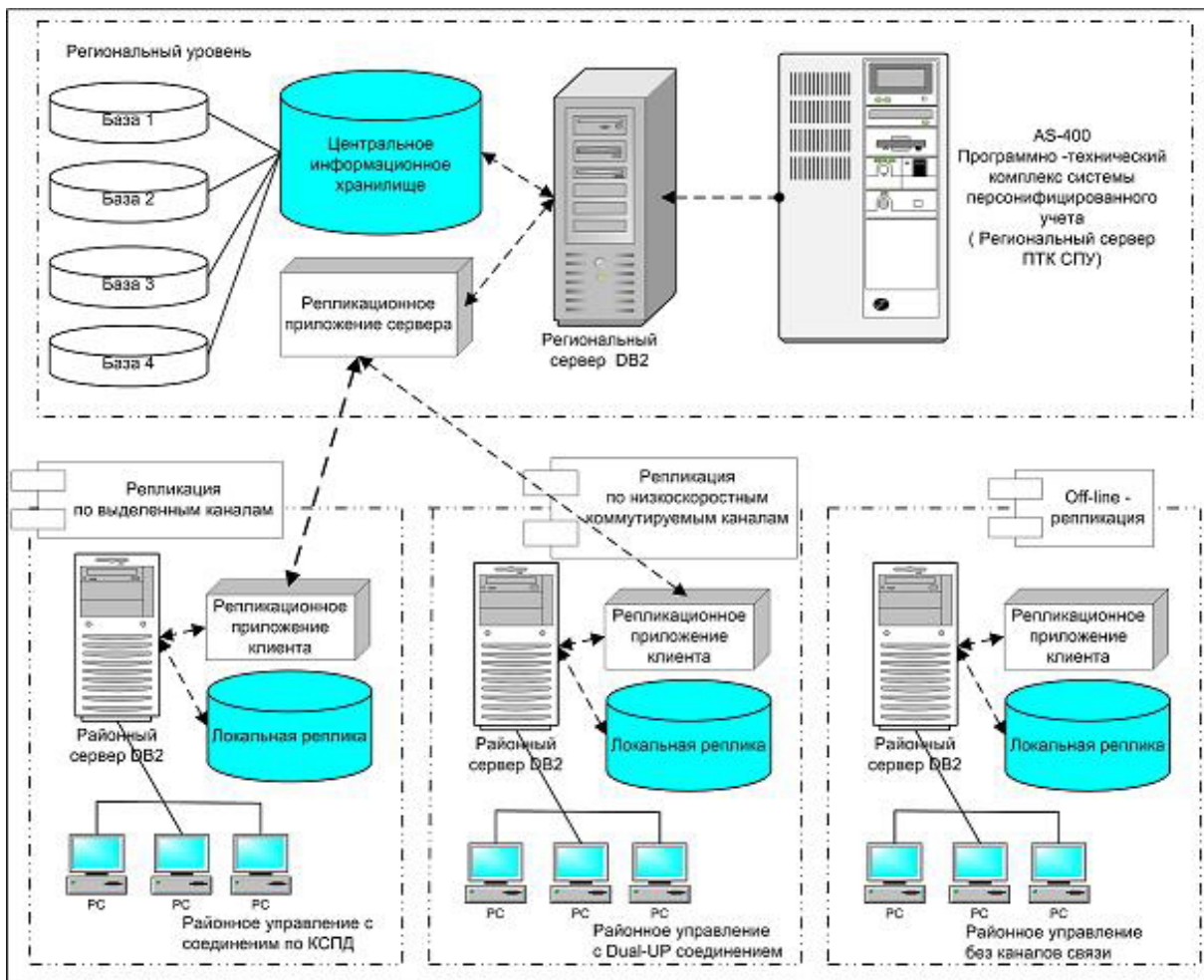


Рис. 1. Взаимодействие репликационных приложений.

Передача каждого объекта или действий над объектами проводится двумя параллельными транзакциями - одной в удаленной БД, другой - в местной. Передающая сторона управляет обеими транзакциями, перед передачей очередного объекта (действия) они открываются, при этом инициатором открытия транзакций является передающая сторона. После завершения факта передачи объекта и окончания всех регистрационных действий передающая сторона производит попытку фиксации транзакции на удаленном узле и откат транзакции в случае неудачи - неполучения от удаленной СУБД подтверждения. После получения положительного ответа об окончании фикса-



ции транзакции на удаленном узле производится фиксация местной. При возникновении какой-либо ошибки в процессе репликации производится откат обеих транзакций и завершение сеанса репликации.

### **Заключение**

Создание распределенных информационных систем является весьма актуальной задачей. Связано это, прежде всего, с возрастающими требованиями к оперативности и достоверности информации.

Предложенная модель репликации на основе двух параллельных транзакций с внедрением механизмов репликационного приложения, основанного на поддержании необходимого и одновременно, строго достаточного уровня согласованности реплик, представляет возможность построения распределенных систем в условиях низкого качества связи, что несмотря на значительные достижения в области телекоммуникаций, до сих пор еще является весьма актуальной проблемой во многих регионах России.

### **Список использованных источников**

1. Танненбаум Э., Ван Стеен М. Распределенные системы, принципы и парадигмы. Спб.: Питер, 2003.
2. Иртегов Д.В. Введение в операционные системы. Спб.: БХВ-Петербург, 2002.
3. Иртегов Д.В. Введение в сетевые технологии. Спб.: БХВ-Петербург, 2004.

**Фатуллаев Р.Э., Алиев А.А.**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ**

*Бакинский Государственный Университет, Азербайджан*

**Введение.** Сегодня, когда компьютеризация затронула практически все сферы человеческой деятельности, совершенно естественно предъявляются все более высокие требования к информационно-вычислительным системам и, особенно к распределенным системам (РС). Под РС обработки информации понимается множество территориально удаленных друг от друга узлов, объединенных системой передачи данных и взаимодействующих посредством обмена сообщениями.

Примем следующую модель РС, которую можно описать следующим набором правил:

M1. РС является совокупностью узлов  $S = \{S_i / i = \overline{1, n}\}$  и системы передачи данных, связывающей любую пару узлов.

M2. В узлах РС хранится и обрабатывается прикладными процессами информация, организованная в виде баз данных (БД) под контролем локальных систем управления базами данных.

M3. Прикладные процессы взаимодействуют друг с другом только путем обмена сообщениями, которые могут либо инициировать содержательную обработку информации, либо выполнять чисто управленческие функции.

Первый тип сообщения обозначим  $M_{ij}$ , а второй –  $m_{ij}$ , где  $i, j$  – номера узлов источника и адресата сообщения соответственно.

М4. Система передачи данных надежна, т.е. сообщения не исчезают и не возникают самопроизвольно. Все узлы доступны для сообщений.

Каждый прикладной процесс имеет возможность доступа к любой БД, функционирующей в РС независимо от того, какая логическая схема соответствует той или иной БД. Множество БД, связанных между собой в процессе решения задач, образует в узлах распределенную БД (РБД). РС не зависит от изменений, как аппаратного оборудования, так и операционных систем, функционирующих в узлах.

Одной из проблем, возникающих в теории и практике РС является определение глобального целостного состояния РБД. Сложность задачи состоит в том, что определить глобальное состояние необходимо не останавливая процесс передачи обработки транзакций. В [1] процесс определения глобального состояния сравнивается с работой группы фотографов, наблюдающих панорамную динамическую сцену - небо с летающими птицами. Сцена так велика, что ее нельзя охватить одной фотографией. Фотографы должны выполнить несколько моментальных снимков и сложить их вместе для получения общей картины. Фотографы не должны нарушать сам фотографируемый процесс: например, остановить на некоторое время полет птиц. Кроме того, фотографы не имеют службы общего времени и не могут обеспечить спуск затворов фотоаппаратов точно в один и тот же момент времени.

По аналогии с процессом фотографирования такой динамической панорамы, процесс определения глобального состояния обычно называют "моментальным снимком" - SS (Snapshot State) РС.

**Модель системы.** Рассмотрим модель очень упрощенной банковской системы, обслуживающей множество территориально распределенных вкладчиков. Каждый узел (банк) характеризуется одним числом  $Q_i (i = \overline{1, n})$  а вектор  $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$  определяет статическое глобальное состояние системы. Динамика системы заключается в том, что с помощью подсистемы связи узлы обмениваются между собой сообщениями (транзакциями)  $M_{ij}(P)$ , переводящими из узла  $S_i$  в узел  $S_j$  сумму  $P$ . Вследствие транспортной задержки существует конечный интервал времени, когда узел  $S_i$  уже передал в коммуникационную линию сообщение  $M_{ij}(P)$ , уменьшив при этом свою сумму вклада до значения  $\tilde{Q}_i = Q_i - P$ , а узел  $S_j$  еще не получил этого сообщения и не увеличил сумму своего вклада до значения  $Q_j + P$ . В этом случае глобальное состояние системы определяется совокупностью вектора  $\tilde{Q} = \{\tilde{Q}_1, \tilde{Q}_2, \dots, \tilde{Q}_n\}$  и матрицы  $\tilde{p} = \|P_{ij}\| (i, j = \overline{1, n})$ , где  $P_{ij}$  - суммы вкладов, сообщения о переводе которых в данный момент времени находятся в пути, т.е. формально приписаны соответствующим коммуникационным линиям (назовем их числовыми характеристиками).

Очевидно, что общая сумма вкладов  $Q = \sum_{i=1}^n \tilde{Q}_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij}$  является инвариантом системы, т.е. данное равенство верно в любой момент времени. В соответствии с этим будем называть величину  $Q$  инвариантом системы, а значения  $Q_i$  и  $P_{ij}$  - частями этого инварианта.

Задача протокола "моментального снимка" - определить некоторое динамическое глобальное состояние. При этом тонкость заключается в том, что это "некоторое" глобальное состояние могло не существовать ни в один реальный момент времени, т.е. это абстракция. Однако эта абстракция достаточно полезна, т.к. можно доказать, что полученное в результате выполнения протокола динамическое глобальное состояние могло существовать (доказательство см. в [1]) и на основании этого можно построить практические механизмы его использования. Публикации, посвященные глобальному состоянию [1-2], как правило, решают задачу его определения на модели подсистемы связи, отличной от принятой выше. Согласно этой модели РС соответствует сильно связный орграф. Вершины-узлы совмещают функции приема-передачи и обработки сообщений. Каждый узел  $S_i$  имеет (в общем случае) некоторое множество входных  $\{C_{inp}^i\}$  и непересекающееся с ним множество выходных  $\{C_{out}^i\}$  каналов. Сообщение, посылаемое некоторым узлом  $S_i$  по выходному каналу  $\{C_{out}^i\}$  попадает в узел  $S_j$ , инцидентный этому каналу, и становится его "собственностью". Узел  $S_j$  анализирует не только адрес назначения этого сообщения, но и его содержание. Если узел является узлом назначения - он принимает и обрабатывает это сообщение, если же нет - транслирует его дальше, исходя из принятого в сети алгоритма маршрутизации. Как будет видно в дальнейшем, в описываемой модели сети часто циркулируют широковещательные сообщения. В этом случае, как узел-источник, так и любой узел-транслятор, передают сообщения по всем выходным каналам.

Принципиальной особенностью модели является то, что любой узел-транслятор имеет доступ к семантике сообщения и может изменять его исходя из своих "соображений". Эта особенность заставляет теоретиков решать задачи, учитывающие возможность византийских отказов в узлах.

Обсудим практическую осуществимость и значимость модели. Само по себе, совмещение в одной машине как функций приема-передачи (трансляции), так и функций хоста, вполне возможно. Например, такое совмещение целесообразно, если ретранслятор установлен на вертолете, висящем над соединением кораблей. Аналогичный случай возникает в сотовых спутниковых радиосетях с активным ретранслятором. Однако, вмешательство в содержание сообщений в этих случаях можно предотвратить методами их криптографирования, а также криптографированием подписи ответственного лица, пославшего сообщение. Прочитать сообщение и аутентифицировать его можно только в узле-адресате. И все же, пусть небольшая, но ненулевая ве-

---

роятность того, что кто-то в узле хосте-трансляторе может умышленно исказить информацию остается (любые средства защиты не абсолютно надежны). Более того, существует также ненулевая вероятность, что в византийском отряде находится сам источник сообщений.

**Алгоритм.** Вернемся к протоколу моментального снимка (SS-протоколу) и опишем одну из его модификаций, идея которой заимствована у Лэмпорта [2]. Принимаем, что каждый узел и каждое сообщение могут быть "окрашены" либо в белый, либо в красный цвет. Смысл этой окраски станет ясным из дальнейшего изложения. Важно то, что сообщения посылаемые белым узлом - белые, и наоборот. Допустим, что в начальный момент все узлы и сообщения имеют одинаковую окраску, например белую. После инициации некоторым узлом  $S_i$  протокола моментального снимка начинается "перекрашивание" всех узлов сети в красный цвет.

Рассмотрим алгоритм определения глобального состояния РС.

**Шаг 1.** Узел  $S_i$  находится в неактивном состоянии и окрашен в белый цвет:  $INIT(white)$ . Узел  $S_i$  инициирует транзакцию определения глобального состояния системы ( $tact$ ) и перекрашивается в красный цвет:  $Color(S_i)=red$ .

**Шаг 2.** Узел  $S_i$  записывает свое состояние в стабильную память ( $writetrace$ ).

**Шаг 3.** Узел  $S_i$  отправляет предупреждающее сообщение  $m_{ij}(r)$  (о том, что он перекрасился) по всем выходным каналам:  $\{C_{out}^i\}:token$ .

**Шаг 4.** Узел  $S_j$ , получив предупреждающее сообщение по одному из входных каналов  $\{C_{inp}^j\}:token$ , сравнивает свой цвет с цветом предупреждающего сообщения:  $Color(S_j)$  and  $Color(token)$ . При этом:

а) если цвета совпадают, то предупреждающее сообщение игнорируется:  $ignore(token)$ ;

б) если цвета не совпадают, то узел  $S_j$  выполняет шаги 1-3 данного алгоритма.

**Шаг 5.** Узел  $S_i$  записывает все поступающие белые сообщения  $M_{ij}(w)$  по всем входным каналам:  $\{C_{inp}^i\}:write(M_{ij}(w))$  до момента поступления предупреждающих сообщений по ним:  $\{C_{inp}^i\}:token$ .

**Шаг 6.** Алгоритм заканчивается для каждого узла  $S_i$  тогда, когда предупреждающие сообщения придут по всем входным каналам:  $\{C_{inp}^i\}:token$ . После этого узел  $S_i$  переходит в неактивное состояние:  $INIT(red)$ .

При инициации следующего моментального снимка вновь происходит "перекрашивание" узлов и сообщений от них в белый цвет. Отметим, что цвет узла и его сообщений не несет смысловой нагрузки. Цвет используется в данном случае только для снятия моментального снимка состояния узлов, как

своеобразная метка, разграничивающая периоды (этапы) записи состояния РС в процессе ее безостановочной работы. Справедливо следующее

**Утверждение.** Предложенный алгоритм определяет целостное глобальное состояние распределенной системы и корректен.

*Доказательство:*

Отметим, что очередная перекраска заканчивается за конечное время. На самом деле предупреждающие сообщения инициатора перекраски достигнут всех других узлов за время не большее, чем  $T = D(G) * t$ , где  $D(G)$  - диаметр графа, являющегося моделью сети, а  $t$  - максимальное время передачи сообщения в одном звене. С одной стороны, если в процессе "перекраски" один или несколько узлов по своей инициативе возбудят одноименный процесс, то это не нарушит результата алгоритма. Действительно, появление дополнительных инициаторов "перекраски" способно только ускорить этот процесс, так как оно эквивалентно появлению на некотором маршруте дополнительного источника той же информации, распараллеливающего процесс ее переноса.

С другой стороны, если в очередном процессе "перекраски" один или несколько узлов по своей инициативе возбудят противоположный процесс "перекраски", то это не воспрепятствует завершению очередного процесса.

Очевидно, что возбудить противоположный процесс может только узел, уже прошедший "перекраску", соответствующую очередному процессу, "подумав", что последний уже завершился во всей сети. На предупреждающие сообщения этого слишком "нетерпеливого" узла "перекрасившиеся" при очередном процессе узлы отреагируют обычным образом, т.е. "перекрасятся" еще раз. Весь вопрос в том, как отреагируют на такое сообщение узлы, еще не "перекрасившиеся". Легко можно показать, что такой ситуации возникнуть не может, т.е. каждый узел получит сообщение об очередной "перекраске" до получения сообщения "перекрасившегося", "нетерпеливого" узла о следующей "перекраске". Это означает, что вначале всегда завершается очередная "перекраска", а лишь затем следующая.

**Заключение.** Таким образом, в работе рассматривается одна из парадигм РС – определение глобального состояния РС. Приводится модель системы, и на ее основе предлагается модифицированный алгоритм определения глобального состояния РС. Идея определения глобального состояния РС лежит в основе решения многих проблем, например проблема формирования глобальной контрольной точки, которая является основой решения некоторых специфических прикладных задач в РС. Эти задачи будут рассмотрены в следующих публикациях.

#### Список использованных источников

1. Chandy K.M., Lamport L. - Distributed Snapshots Determining Global States of Distributed Systems // ACM Trans. on Comp.Syst.–1985.–33,N1.–pp. 63-75.
  2. Lamport L. Computing Global States // Lecture Notes in Comput. Sci. –1985. – N190. – pp. 454-468.
-

#### 4. СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Балдов С.В., Зубков В.П., Малафеева Т.В., Шульпин А.А.  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО  
КОМПЛЕКСА «АСКАЭ»**

*Ивановский государственный энергетический университет*

Высокая энергозатратность экономики в значительной мере определяется устаревшими производственными фондами, изношенностью оборудования, несовершенством технологий и другими объективными причинами. Но существуют и субъективные факторы: прямое энергорасточительство и бесхозяйственность, отсутствие единой системы учета и контроля, недостаточное использование энергосберегающей техники, а главное - несовершенство управленческих механизмов, на устранение которых не требуются значительные затраты, сравнимые, предположим, со структурной перестройкой энергоемкого промышленного производства. Поэтому снижение энергозатрат следует начинать с быстро окупаемых энергосберегающих мероприятий, которые в ближайшее время дадут существенный экономический эффект. При принятии решений по управлению энергосбережением целесообразно использовать результаты работы Автоматизированной Системы Комплексного Анализа Электропотребления - программного комплекса «АСКАЭ».

##### **Функциональная структура программного комплекса «АСКАЭ»**

В программном комплексе «АСКАЭ» реализованы следующие функциональные возможности:

- составление функциональной модели предприятия (организационная структура, схема электропотребления и пр.);
  - анализ электробалансов на предприятии;
  - составление технологических и производственных программ на основе балансов технологического, вспомогательного и общепромышленного оборудования предприятия;
  - расчет показателей эффективности энергоиспользования;
  - внесение дополнительных показателей электропотребления в энергопаспорт оборудования для использования в расчетах;
  - возможность свободного наращивания алгоритмов расчета показателей эффективности энергоиспользования;
  - изменение хода расчета показателей при недостаточности данных;
  - составление оптимальной производственной программы на основе анализа электропотребления;
  - сопоставление фактического электропотребления на основе данных средств учета с расчетным или плановым электропотреблением;
  - ведение типовой документации и разработка внутреннего документооборота предприятия;
- 
-

- статистический анализ результатов для уточнения прогнозируемых данных электропотребления.

### Составление функциональной модели предприятия

Отображение функциональной модели предприятия в виде дерева позволяет организовать удобный ввод данных, отслеживать на любом уровне иерархии информацию для оперативного контроля, сопоставления, управленческого контроля, стратегического планирования.

Функциональная модель предприятия может отражать как реальные электрические связи между иерархическими уровнями промышленного предприятия аналогично электрической схеме, так и организационную структуру для целей планирования производственного процесса. Функциональная модель предприятия может представлять собой произвольную структуру необходимую для анализа электропотребления.

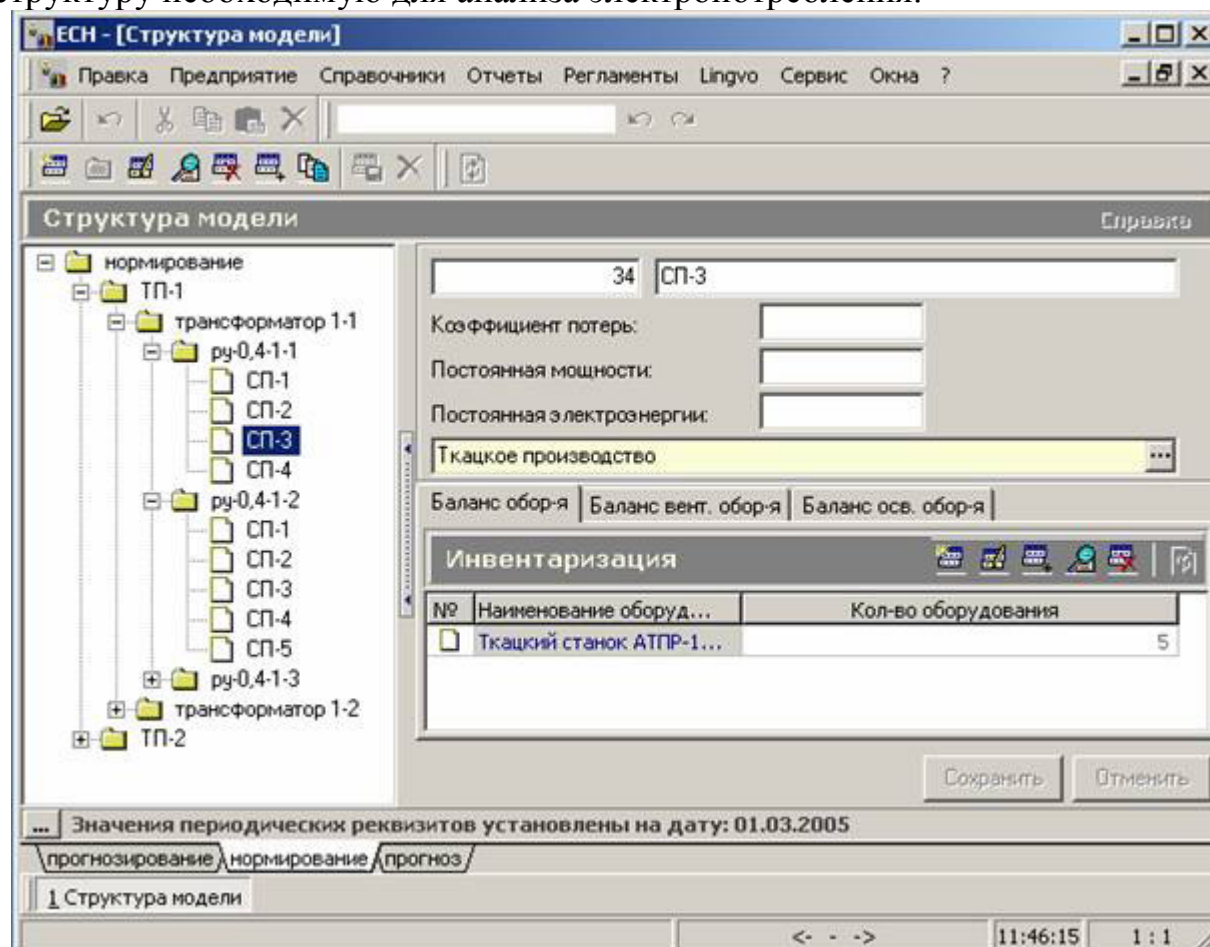


Рис. 1. Структура предприятия, отражающая реальную электрическую схему

В создаваемой функциональной модели присутствуют только узлы. Потери мощности и(или) энергии в ветвях могут учитываться либо упрощенно, с использованием коэффициента потерь, либо как постоянные величины (когда потери мощности (энергии) точно известны или рассчитаны в программных комплексах по расчёту установившихся режимов).

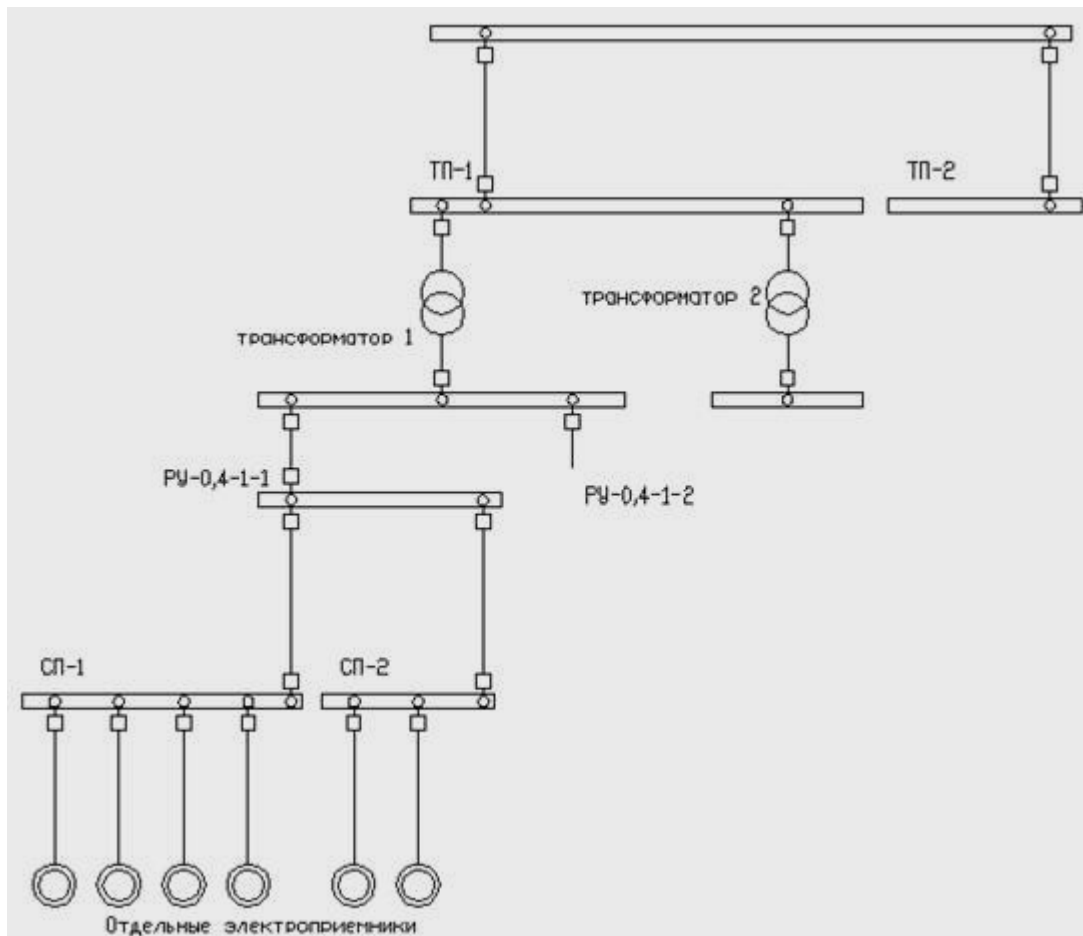


Рис. 2. Электрическая схема участка сети

### Анализ электробалансов на предприятии

Основой повышения эффективности электропотребления промышленного предприятия является разработка и анализ нормализованных и фактических электробалансов.

Электробаланс позволяет решить следующие основные задачи:

- оценка фактического состояния энергоиспользования на предприятии с целью выявления причин возникновения и определения значений потерь электроэнергии;
- разработка мероприятий, направленных на снижение потерь электроэнергии;
- выявление и оценка резервов экономии электроэнергии;
- совершенствование нормирования и разработка научно обоснованных норм расхода электроэнергии;
- определение рациональных уровней электропотребления в производственных процессах и установках;
- определение требований к организации по совершенствованию учета и контроля расхода электроэнергии;
- получение информации для решения вопросов размещения нового оборудования и совершенствования технологических процессов с целью снижения энергетических затрат, оптимизации структуры электробаланса



предприятия путем выбора оптимальных направлений, способов и размеров использования существующих мощностей, совершенствования внутрипроизводственного хозяйственного расчета и системы стимулирования экономии топливно-энергетических ресурсов.

Анализ электробалансов установок, технологических процессов и предприятия в целом проводится с целью качественной и количественной оценки состояния энергетического хозяйства и энергоиспользования в следующих направлениях:

- определение показателей эффективности энергоиспользования;
- расчет обобщенных показателей состояния энергетического хозяйства предприятия;
- исследование влияния качества электроэнергии на рациональное ее использование;
- решение задач оптимизации структуры электробаланса предприятия.

Исходя из анализа структуры приходной и расходной частей электробаланса, определяется специфика электропотребления на предприятии, выявляется различие в уровнях электропотребления и эффективности энергоиспользования по сравнению с данными показателями аналогичных предприятий и намечаются пути совершенствования структуры электробаланса.

В результате исследования аналитических электробалансов определяется фактическое состояние энергоиспользования в отдельных элементах предприятия и на предприятии в целом. При проведении анализа все элементы предприятия или элементы, подлежащие обследованию, классифицируются на однородные группы процессов и установок.

Анализ эффективности работы потребителей электроэнергии заключается в сравнении фактических показателей энергоиспользования с нормативными, фактическими за прошлый год, перспективными, аналогичными на других предприятиях и т. п. При этом необходимым условием сравнения показателей является обеспечение условий сопоставимости.

Основными показателями эффективности энергоиспользования являются:

- коэффициент полезного действия энергетической установки;
- коэффициент полезного использования энергии;
- удельный расход электроэнергии.

В ходе анализа электропотребления предприятия определяются и сопоставляются с аналогичными данными однородных предприятий обобщенные показатели состояния и развития энергетического хозяйства.

**Составление технологических и производственных программ на основе балансов технологического, вспомогательного и общепромышленного оборудования предприятия**

Технические и энергетические характеристики технологических процессов и установок являются основой для разработки производственных программ и должны содержать необходимые данные для оценок эффективности использования электроэнергии, в том числе:

- материальные потоки (материальный баланс);
- расходы и параметры сырья, энергии;
- конструктивные особенности установок (наличие вентиляционных и осветительных установок, наличие контрольно-измерительных приборов и автоматики и т. п.);
- режимы работы оборудования (периодичность использования, продолжительность нахождения в «горячем резерве» и т. п.).

Технические и энергетические характеристики выявляют для всего энергоемкого оборудования.

### **Внесение дополнительных показателей электропотребления в энергопаспорт оборудования для использования в расчетах**

Обзор современных средств энергосбережения выявил следующие недостатки:

- системы не позволяют изменять набор показателей энергоиспользования;
- в системах заложены определенные алгоритмы расчета, не подлежащие корректировке;
- негибкость системы в условиях недостаточности данных.

Эти обстоятельства затрудняют использование существующих систем для эффективного комплексного анализа электропотребления предприятия.

Разработка механизма дополнительных показателей направлена на решение следующей основной задачи: составление наиболее точной, подробной модели электропотребления конкретным оборудованием.

Программный комплекс «АСКАЭ» позволяет наращивать показатели эффективности энергоиспользования. Потребитель может не только ввести необходимые ему показатели электропотребления технологического оборудования, но и рассчитать фактические величины электропотребления предприятия по алгоритмам, составленным на основе новых показателей.

### **Возможность свободного наращивания алгоритмов расчета показателей эффективности энергоиспользования**

Следует определить различие между понятиями «расчет» и «алгоритм». Расчет - набор алгоритмов с различными приоритетами. Алгоритмы в свою очередь представляют собой формулы, созданные на основе типовых показателей электропотребления, или на основе показателей, разработанных пользователем. Использование встроенных скриптовых средств позволяет обеспечить гибкость, простоту модифицирования и наращивания алгоритмов расчета показателей эффективности энергоиспользования.

### **Изменение хода расчета показателей при недостаточности данных**

При расчете электропотребления предприятия, в первую очередь применяются формулы с наивысшим приоритетом, а затем, при недостаточности данных, алгоритм с менее высоким приоритетом. Приоритет должен быть выставлен потребителем. Как правило, приоритет определяет точность алгоритма, т.е. алгоритмы с наивысшим приоритетом дают наиболее точный показатель электропотребления. В конечном итоге под формулой с низшим

---

приоритетом подразумевается константа некоторого параметра электропотребления.

Манипуляции с приоритетами алгоритмов и ввод дополнительных параметров электропотребления при анализе электробалансов должен выявить исходную информацию, необходимую для решения отдельных задач оптимизации структуры электробаланса предприятия.

#### **Составление оптимальной производственной программы на основе анализа электропотребления**

Составление оптимальной производственной программы заключается в сравнении расчетных показателей энергоиспользования нескольких моделей производственных программ между собой и с аналогичными на других предприятиях и выбор оптимального варианта.

#### **Сопоставление фактического электропотребления на основе данных средств учета с расчетным или плановым электропотреблением**

Производится сравнение фактического потребления (определённого по данным системы учета) с расчётным (определённого по представленным моделям). Таким образом локализуются узлы с чрезмерным потреблением электрической энергии. Стоит учесть, что на низших уровнях системы электрообеспечения промышленных предприятий учет отсутствует, и поэтому для отдельных электроприёмников реальное электропотребление может быть определено путем замеров, а затем произведено сравнение с расчётным (полученным в программном комплексе). В результате этого определяются конкретные электроприёмники с перерасходом электрической энергии.

#### **Ведение типовой документации и разработка внутреннего документооборота предприятия**

Программный комплекс позволяет организовать документооборот как типовой отчетности, так и создание характерных лишь для данного предприятия документов отражающих информацию по электропотреблению, энергосбережению, прогнозированию и статистике. Чрезвычайно важным является возможность включения информации по энергосбережению в поток финансовой отчетности: это повышает значение энергосбережения и определяет экономию от энергосберегающих мероприятий. Если данная информация не четко интегрирована в систему финансового менеджмента предприятия, то слабая осведомленность будет основным препятствием в осуществлении успешной политики энергосбережения.

Гибкий механизм отчетов позволяет наращивать функционал имеющихся и создавать дополнительные отчеты при появлении новых задач анализа.

#### **Статистический анализ результатов для уточнения прогнозируемых данных электропотребления**

В программном комплексе реализованы средства экспорта данных во внешние приложения: MS Excel, Statistica. Это позволяет использовать полный набор средств анализа, представляемых данными программными средствами в приложении ко всем данным программного комплекса «АСКАЭ».

---

---

### Список использованных источников

1. Белан А.В., Гордеев В.И. Прогнозирование электропотребления на основе многофакторного регрессионного и корреляционного анализов. // Проблемы энергосбережения, 1991.
2. Боровиков В. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. – СПб.:Питер, 2001.
3. Бурнекийте Д.Ю., Пятраускайте А.В., Янскаускас В.Ю. Прогнозирование электропотребления. Моделирование зависимостей между электропотреблением в отраслях промышленности и влияющими на него факторами // Труды АН Лит. ССР. Серия В. – 1988. - №4
4. Бэнн Д.В., Фармер Е.Д. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Гордеев В.И., Васильев И.Е., Щуцкий В.И. Управление электропотреблением и его прогнозирование. – Ростов-на-Дону: Изд. РГУ, 1991.
6. Гофман И.В. Нормирование потребления энергии и энергетические балансы. – М.:Энергия, 1966.

**Копылов Р.В., Кравец О.Я., Солдатов Е.А.**

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ВЕСОВЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ В ПОДСИСТЕМЕ УЧЕТА СЖИЖЕННОГО ГАЗА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ OLE AUTOMATION**

*Международный институт компьютерных технологий (Воронеж)  
Воронежский государственный технический университет*

### **Введение**

Важнейшим этапом совершенствования технической и технологической базы современного предприятия, использования новых методов организации производства является широкое применение управляющих вычислительных систем и средств автоматизации технологических и планово-производственных работ. Стремительный научно-технический прогресс в области вычислительной техники и информатики позволяет рассматривать автоматизацию предприятия как систему, которая охватывает все стадии производства. Главной особенностью таких систем является высокий уровень применения вычислительной техники во всех звеньях системы обработки информации, управления производственными процессами. Для обеспечения в нынешних условиях рыночной экономики и жесткой конкуренции эффективности управления производством, оперативного контроля финансового положения предприятия, необходимо осуществить системно-структурную интеграцию компонент системы обработки информации и управления технологическими стадиями.

### **Постановка задачи**

В настоящее время на Воронежской базе сжиженного газа происходит процесс создания целостно функционирующей автоматизированной системы управления предприятием, а потому решение задач, способствующих повы-

шению оперативности сбора и анализа информационных потоков, представляет реальный интерес. Основные работы в данном направлении связаны с ликвидацией ручных стадий учета и контроля материальных потоков, объединением существующих информационных и информационно-управляющих систем производственной и управленческой деятельности в единое целое.

Требуют своего решения и задачи оперативного учета сжиженных углеводородных газов, поступающих по железной дороге, управления сливно-наливными операциями. Создание таких систем основано на использовании автоматических информационных систем сбора данных и вычислительных комплексов, которые постоянно совершенствуются по мере эволюции технических средств и программного обеспечения.

В настоящее время средства промышленной автоматизации представлены широкой номенклатурой устройств от различных производителей, отличающихся по своим функциональным возможностям и техническим характеристикам. Такая же ситуация сложилась и в секторе программного обеспечения – сложность технологических процессов и многообразие требований к системам управления привели к тому, что на данный момент существует широкий спектр информационно-управляющих систем различного назначения. При этом формирование реальной автоматизированной системы управления становится нетривиальной задачей ввиду необходимости интеграции используемых аппаратно-программных средств.

### **Выбор средств решения**

Одним из решений данной проблемы может стать технология OLE Automation – современный механизм интеграции приложений, в том числе в системах промышленной автоматизации, обеспечивающий единый способ организации взаимодействия между различными источниками и приемниками данных. С помощью этого механизма можно подключать различное торговое/весовое/технологическое оборудование, используя готовые OLE-серверы или разрабатывая новые.

Система программ 1С:Предприятие предназначена для решения самых разнообразных задач автоматизации деятельности организаций. Она обладает мощными средствами конфигурирования, которые позволяют штатными средствами настроить систему на особенности обработки информации в конкретной организации. В то же время, 1С:Предприятие является открытой системой и обладает встроенными средствами загрузки-выгрузки информации в текстовом формате и в формате DBF, поддерживает современный стандарт интеграции программ OLE Automation, для специальных задач интеграции может использоваться технология внешних компонент. Эти механизмы позволяют решать широкий спектр задач, в частности, задачи, связанные с использованием различного торгового оборудования совместно с 1С:Предприятием.

#### **1. Работа с текстовым файлом**

Этот механизм обмена данными является наиболее простым из рас-

---

смаатриваемых, однако, его вполне хватает для решения самых разнообразных задач. Его основное преимущество - простота освоения и удобное текстовое представление информации.

## 2. XBase

Формат баз данных DBF является одним из наиболее популярных и распространенных форматов баз данных на PC, поэтому многие драйверы и программы для торгового оборудования используют именно этот формат для хранения информации. Механизм XBase, встроенный в 1С:Предприятие, позволяет обрабатывать информацию в файлах DBF непосредственно из встроенного языка. В число основных возможностей входят прямой доступ к полям базы данных, прямое и последовательное передвижение по записям, редактирование базы данных и т.д. При необходимости можно использовать индексирование и фильтрование записей в базе данных.

## 3. OLE Automation

Современный механизм интеграции приложений с использованием технологии OLE, с помощью этого механизма можно подключать различное торговое/весовое оборудование, используя готовые OLE-серверы или разрабатывая новые (например, на Visual Basic). Основное преимущество этого механизма - независимость от инструмента разработки, поэтому OLE Automation-сервер может быть реализован как на Visual Basic, так и на языке низкого уровня (типа C++).

Необходимость в использовании этого механизма может возникнуть при работе с базами данных формата, отличного от DBF. Доступ к таким базам данных осуществляется через RDO (Remote Data Objects) и DAO (Data Access Objects). Эти технологии разработаны фирмой Microsoft для унифицирования доступа к базам данных различного формата и для связи с другими программами используют OLE Automation. Microsoft RDO поставляется в составе Visual Basic 4.x Enterprise Edition, Microsoft DAO поставляется в составе Microsoft Office 7.0, Microsoft VISUAL BASIC 4.x, Microsoft Access и отдельно - Microsoft DAO SDK.

## 4. Механизм внешних компонент

Механизм внешних компонент является наиболее сложным механизмом, обладающим некоторыми уникальными возможностями. Этот механизм позволяет подключать программные модули, тесно взаимодействующие с 1С.Предприятием и расширяющие его функциональность.

Основные возможности внешней компоненты:

- расширение встроенного языка 1С:Предприятия (добавление новых агрегатных объектов);
  - добавление страницы свойств в параметры 1С:Предприятия;
  - сохранение параметров внешней компоненты через механизмы сохранения параметров 1С:Предприятия;
  - вызов процедуры обработки событий, контролируемых внешней компонентой;
  - доступ к строке состояния 1С:Предприятия.
- 
-

Внешние компоненты являются OLE-серверами и вследствие этого могут быть написаны с использованием произвольных инструментов разработки программ, поддерживающих создание OLE-объектов.

Для реализации поставленных задач выбран механизм интеграции программных приложений OLE Automation. Основными причинами такого выбора является:

- поддержка стандарта интеграции программ OLE Automation как 1С:Предприятием, так и драйвером тензометрических весов;
- возможность реализации обмена не зависит от выбора языка программирования, что особенно важно при применении специализированных систем, каким является встроенный язык 1С:Предприятия;
- независимость процедур обмена от формата баз данных, что позволит использовать без серьезных доработок систему обмена информацией с оборудованием, производители которого используют отличные от dbf форматы баз данных.

#### **Функции, реализованные при программном взаимодействии 1С:Предприятия с драйвером тензометрических весов**

Для управления программой DevNet.Drv, как драйвером по технологии OLE Automation необходимо зарегистрировать сервер автоматизации DevNet.Drv в реестре операционной системы Windows. Для этого достаточно запустить на исполнение файл DevNet.exe, настроить параметры программы и закрыть ее.

Все функции (за исключением TestPort, OpenPort, ClosePort, SetPortDlg, SetParamDlg, SelectDevDlg, GetDevList) имеют обязательный параметр DevNum – номер прибора. При успешном выполнении функции возвращают результат True, иначе False.

Используемые типы данных перечислены в табл. 1.

Таблица 1

Типы данных

Pascal-тип	IDL-тип	Комментарий
Byte	unsigned char	1 byte unsigned integer
Double	Double	8-byte real
WordBool	VARIANT_BOOL	True = -1, False = 0
OleVariant	VARIANT	Ole Variant
WideString	BSTR	binary string

Использование сервера автоматизации DevNet.Drv на языке программирования 1С:Предприятие заключается в следующих действиях.

1. В Глобальный модуль необходимо поместить код создания сервера OLE автоматизации. Для этого в секции объявления глобальных переменных необходимо объявить объект

*Перем DevNet Экспорт;*

а в процедуре При Начале Работы Системы создать объект

*DevNet = Создать Объект (“DevNet.Drv”);*

2. Создать новый документ или взять существующий и в его реквизиты шапки добавить параметры “Вес” с типом значения “Число”.

3. Вывести форму этого документа и через меню “Вставить”/”Реквизиты...” разместить на форме окно, куда будет записываться полученный вес. Далее на форме размещается кнопка “Получить вес”, вызывается окно свойств для этой кнопки, и на закладке “Дополнительно” в окне “Формула” указывается функция “Получить Вес()”, которая будет выполняться при нажатии кнопки.

4. В закладке “Модуль” формы, определить функцию Получить Вес ():

*Процедура Получить Вес(DevNum, TypeWeight)*

*Вес = DevNet.GetVariableIC(DevNum, TypeWeight)*

*Конец Процедуры.*

### **Заключение**

Полученные результаты и их новизна: программа обмена данными тензометрических автомобильных весов и системы оперативного и бухгалтерского учета в режиме реального времени.

### **Список использованных источников**

1. Андреев А.Ф. Оценка эффективности и планирование проектных решений в нефтегазовой промышленности. – М.: 1997.
2. Копылов В.С. Проблемы управления информационными структурами в системе распределения сжиженного газа. – Воронеж: ВГПУ, 1998.
3. Перечень средств контроля и автоматизации, разработанных "Нефтеавтоматика". М.: НПО "Нефтеавтоматика", 1987.
4. Усик В.Г. Совершенствование планирования издержек на транспортировку и реализацию сжиженных нефтяных газов. – Воронеж: МОУ ВЭПИ, 2002.
5. Фирма “1С”. 1С:Бухгалтерия 7.7. Руководство по ведению учета (Описание типовой конфигурации редакции 3.6). – Казань: Казанский производственный комбинат программных средств, 2000.

**Федоренко Н.В.**

### **АДАПТИВНО-ИГРОВОЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ СРЕДСТВ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ**

*Ставропольский государственный университет*

Проведение расчетов гарантированной помехозащищенности инфокоммуникационных сетей (ИКС) в условиях неопределенности относительно стратегий постановщика помех (ПП) предполагает использование теоретико-игровых методов. При этом наилучшей для средств ИКС является стратегия ПП, предполагающая выбор адаптивных помех [1].

Возможность постановки преднамеренных помех, адаптивных к текущему состоянию реализаций случайных дестабилизирующих факторов, является, в существенной степени, идеализацией, позволяющей получить теоре-



тически самую худшую (но не вырожденную) оценку помехозащищенности средств ИКС. Хотя можно привести примеры из практики, когда действительно существуют благоприятные условия для постановки таких помех.

Целью работы является расчет помехозащищенности средств ИКС в условиях воздействия помех, адаптивных к случайным дестабилизирующим факторам.

Например, при сильных изломах отдельных интервалов линий ИКС, постановщик помех может, перехватив сигнал с шумами на первых интервалах и исказив его путем дополнительной инверсии, сдвига и усиления, ретранслировать его на последние интервалы по более короткому пути, чем путь сигнала в многоинтервальной линии ИКС. При аддитивной свертке сигнала сложной структуры импульс помехи на последнем субэlemente может быть сформирован с учетом контролируемой фазы сигнала и реализации шума на первых субэlementах. Уровень медленных замираний может контролироваться ПП с помощью специальных средств или косвенно по коррелированным замираниям обратных или близких линий связи, а также путем перехвата служебных сообщений о запасе энергетического ресурса (уровня сигнала).

Сущность адаптивных помех заключается в избирательном формировании текущего уровня помех, согласованного с текущим уровнем случайных искажений сигналов, в пределах имеющегося энергетического ресурса. Оптимальная структура адаптивных помех при показателях модемов средств ИКС (вероятности ошибки  $p_{ош}$  или надежности связи  $H$ ) в виде усреднения двузначных пороговых показателей состояния (типа полярности напряжения на выходе решающего устройства демодулятора или знака неравенства  $p_{ош}(t) > p_{ош}^*$  иллюстрируется рис. 1.

Допустим постановщику помех известны реализации случайных воздействий (в бинарной системе передачи)  $\{z_{ij}\}_N$  на  $N$  отсчетах времени и порог  $z_o$ , превысив который данные воздействия приводят к величине текущего показателя состояния  $q_\tau$ , равному нулю, а не превысив – единице. Тогда, отранжировав отсчеты случайных воздействий по возрастающей, как показано на рисунке 1, постановщику помех целесообразно использовать свой ресурс, дополняя случайные воздействия только тогда, когда они ниже порога, начиная с минимального отклонения до некоторого уровня  $z^*$ , определяемого ограниченным ресурсом ПП  $\delta \cdot N$ , доступным для использования на  $N$  отсчетах времени, где  $\delta$  – средняя мощность помех.

При этом максимально увеличивается количество отсчетов времени  $N_\delta$  на которых дополнительно обеспечивается  $q_\tau = 0$ . При  $N \rightarrow \infty$  величина  $z^*$  определяется на основании знания плотности распределения случайных воздействий  $m(z)$  из уравнения [2]:

$$\int_{z^*(\delta)}^{z_o} \delta(z) \cdot m(z) \cdot dz = \delta, \quad (1)$$

а итоговая оптимальная стратегия формирования помех на каждом очеред-

ном отсчете времени  $\tau$  определяется правилом:

$$\delta_\tau = \begin{cases} 0, & z_\tau \geq z_o \\ \delta(z_\tau), & z^*(\delta) \leq z_\tau < z_o \\ 0, & z_\tau < z^*(\delta) \end{cases} \quad (2)$$

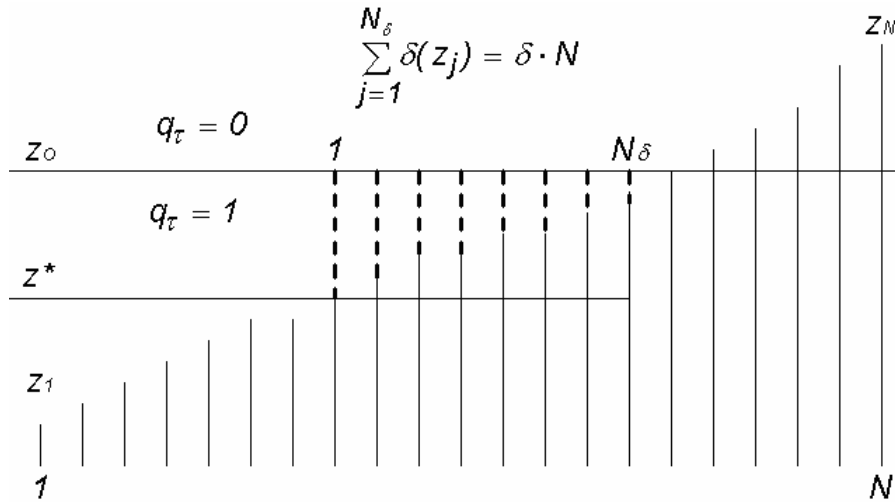


Рис. 1. Иллюстрация к описанию структуры адаптивных помех

При этом гарантируемое значение показателя поведения  $Q(\delta)$  вычисляется с помощью выражения:

$$Q(\delta) = \int_{-\infty}^{z^*(\delta)} m(z) dz \quad (3)$$

Рассмотрим использование описанного метода для оценки помехозащищенности ИКС в условиях адаптивных помех и фонового гауссовского шума при когерентном приеме дискретных фазоманипулированных сигналов. В качестве показателя поведения при этом выступает достоверность связи  $q_{ow}$  или ее обратная величина – вероятность ошибки  $p_{ow} = 1 - q_{ow}$ , зависимость которой от относительной мощности преднамеренных помех  $\delta$  и относительной мощности флуктуационного шума  $\delta_{ш} = 1/h^2$  обозначим в виде  $A_1(\delta, h^2)$ . Учитывая аналитическую связь плотности нормального распределения  $m_1(x)$  с функцией Лапласа  $F(x)$  [3] с учетом (1) и (3) можно получить

$$A_1(\delta, h^2) = 1 - F[\sqrt{2}h(1 - z^*(\delta))], \quad (4)$$

где  $z^*(\delta)$  определяется из решения уравнения:

$$\frac{h}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_{1-z^*(\delta)}^1 (1-x)^2 \cdot \exp(-x^2 \cdot h^2) \cdot dx = \delta \quad (5)$$

При когерентном приеме сигналов с относительной фазовой манипуляцией выражения для расчета вероятности ошибки  $A_2(\delta, h^2)$  по форме совпадают с (4) и (5), но вместо  $\delta$  в них надо подставлять эквивалентное значение средней мощности  $\delta_s$ , равное [4]:

$$\delta_s = \frac{2 \cdot \delta}{F(\sqrt{2}h)}, \quad (6)$$

что позволяет учесть прерывистое воздействие оптимальных адаптивных по-

мех лишь на каждый второй информационный импульс с учетом ошибок от случайных помех в паузах.

Более сложным является получение выражения  $A_3(\delta, h^2)$  для расчета вероятности ошибки в условиях адаптивных помех при некогерентном приеме дискретных частотно-манипулированных сигналов. В данном случае показатель состояния  $q_\tau$  определяется полярностью напряжения  $z_\tau$  на входе решающего устройства демодулятора, зависящего от разности фаз  $\psi$  сигнала и шума в полосе текущего значения сигнала и от двух напряжений шумовых отсчетов в полосах посылок «1»  $u_1$  и «0»  $u_0$  [3, 4]:

$$q_\tau(z_\tau) = \begin{cases} 0, & z_\tau \geq 0; \\ 1, & z_\tau < 0; \end{cases} \quad (7)$$

$$z_\tau = u_0 - \sqrt{1 + u_1^2 - 2 \cdot u_1 \cdot \cos \psi}. \quad (8)$$

Если случайные помехи описываются равномерным распределением фаз и гауссовским распределением амплитуд  $m(u)$ , то  $A_3(\delta, h^2)$  можно представить в следующем виде:

$$A_3(\delta, h^2) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \{1 - q_\tau[z_\tau + \sqrt{\delta_\tau(z_\tau)}]\} \cdot m(u_1) \cdot m(u_0) \cdot du_1 du_0 d\psi, \quad (9)$$

где  $\delta_\tau(z_\tau)$  определяется в соответствии с (2), с учетом  $\delta(z_\tau) = z_\tau^2 |z_\tau < 0, z_\tau = 0$  и порогового значения  $z^*(\delta)$ , являющимся решением уравнения:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I[z_\tau, z^*(\delta)] \cdot z_\tau^2 \cdot m(u_1) \cdot m(u_0) \cdot du_1 du_0 d\psi = \delta, \quad (10)$$

где

$$m(u) = \frac{h}{\sqrt{2\pi}} \exp(-0.5 \cdot u^2 h^2), \quad (11)$$

$$I[z_\tau, z^*(\delta)] = \begin{cases} 1, & z^*(\delta) \leq z_\tau < 0; \\ 0, & z_\tau < z^*(\delta), z_\tau \geq 0. \end{cases} \quad (12)$$

В условиях замираний, влияющих на изменение относительного уровня сигнала  $k$ , среднее значение которого равно 1, мгновенное значение вероятности ошибки определяется выражением  $A(\delta_k, h_k^2)$ , где  $\delta_k = \delta \cdot \eta(k)/k$ ,  $h_k^2 = h^2 \cdot k$ . При этом вид функции  $A()$  определяется тонкой структурой сигналов и помех. Величина  $\eta(k)$  является управляемым со стороны ПП коэффициентом увеличения мощности помех при наблюдаемом уровне замираний  $k$ , причем

$$\eta(k) = \begin{cases} 0, & k < k_0 \\ \eta^*(k), & k_0 \leq k \leq k^* \\ 0, & k > k^* \end{cases}, \quad (13)$$

где  $k_0$  соответствует относительному уровню сигнала, ниже которого требования к вероятности ошибки не удовлетворяются и без преднамеренных помех, т.е.  $A(0, h_k^2 | k < k_0) > p^*_{\text{ош}}$ ,  $\eta^*(k)$  – оптимальный коэффициент усиления мощности помех, вычисляемый путем решения уравнения:

$$A(\delta \cdot \eta^*(k)/k, h^2 \cdot k) = p^*_{\text{ош}}, \quad (14)$$

а  $k^*$  – является пороговым значением, определяемым имеющимся ресурсом помех  $\delta$  и вычисляемым при известной плотности распределения замираний  $m(k)$  из решения уравнения:

$$\int_{k_0}^{k^*} \eta^*(k) \cdot m(k) \cdot dk = 1. \quad (15)$$

Итоговая гарантированная надежность связи  $H$  при этом вычисляется следующим образом [5]:

$$H = \int_{k^*}^{\infty} m(k) \cdot dk. \quad (16)$$

В общем виде получение зависимостей  $p_{ou}(\delta)$  в предположение наилучшей реализации непрерывной помехи с ограниченной энергией на длительности передачи информационного символа одного из каналов является самостоятельной и достаточно сложной задачей. Но для относительно простых сигналов и методов их обработки, используемых в средствах ИКС, данные зависимости несложно получить на основании известных выражений для гармонических и гауссовских помех [3].

### Список использованных источников

1. Мальцев А.Д., Одоевский С.М. Сравнительный анализ помехоустойчивости систем передачи в условиях наихудших помех // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 1989. – № 10. – С. 34-35.
2. Коричнев Л.П., Королёв В.Д. Статистический контроль каналов связи. - М.: Радио и связь, 1989. - 240 с.
3. Коржик В.И., Финк Л.М., Щелкунов К.Н. Расчёт помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений: Справочник. - М.: Радио и связь, 1989. - 136 с.
4. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. - М.: Сов.радио, 1970.- 700с.
5. Комарович В.Ф., Сосунов В.Н. Случайные радиопомехи и надёжность КВ связи. - М.: Связь, 1977. - 136 с.

## Чистякова Т.Б., Шляго Ю.И., Кузнецова Г.В., Новожилова И.В. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ГИБКИМ МНОГОАССОРТИМЕНТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ СОРБЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет)*

### 1. Введение

Актуальность работы определена необходимостью решения задачи перенастройки производства при переходе с одного вида продукции на другой для гибкого многоассортиментного производства сорбционно-каталитических материалов.

Производство гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц (носителей, катализаторов и сорбентов) [1, 2] является многоассортиментным малотоннажным производством на основе гибкой перена-

страиваемой технологии, которое обеспечивает выпуск высококачественной продукции широкого ассортимента. Процесс синтеза гранулированных пористых материалов можно разделить на следующие обобщенные стадии: подготовительные (приготовление рабочих растворов, помол), основные (смешение, гомогенизация, протирка, гранулирование, провялка, сушка, прокаливание) и заключительные (фасовка, упаковка). Причем, основные стадии процесса гарантируют получение материалов с заданными требованиями по качеству выпускаемой продукции. К качеству гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц сорбционно-каталитического назначения предъявляются высокие требования, в связи с чем необходимо оперативное устранение аварийных ситуаций, связанных с неполадками оборудования и нештатных ситуаций, связанных с ухудшением показателей качества продукции. Обобщенная схема рассматриваемого производства представлена на рис. 1.

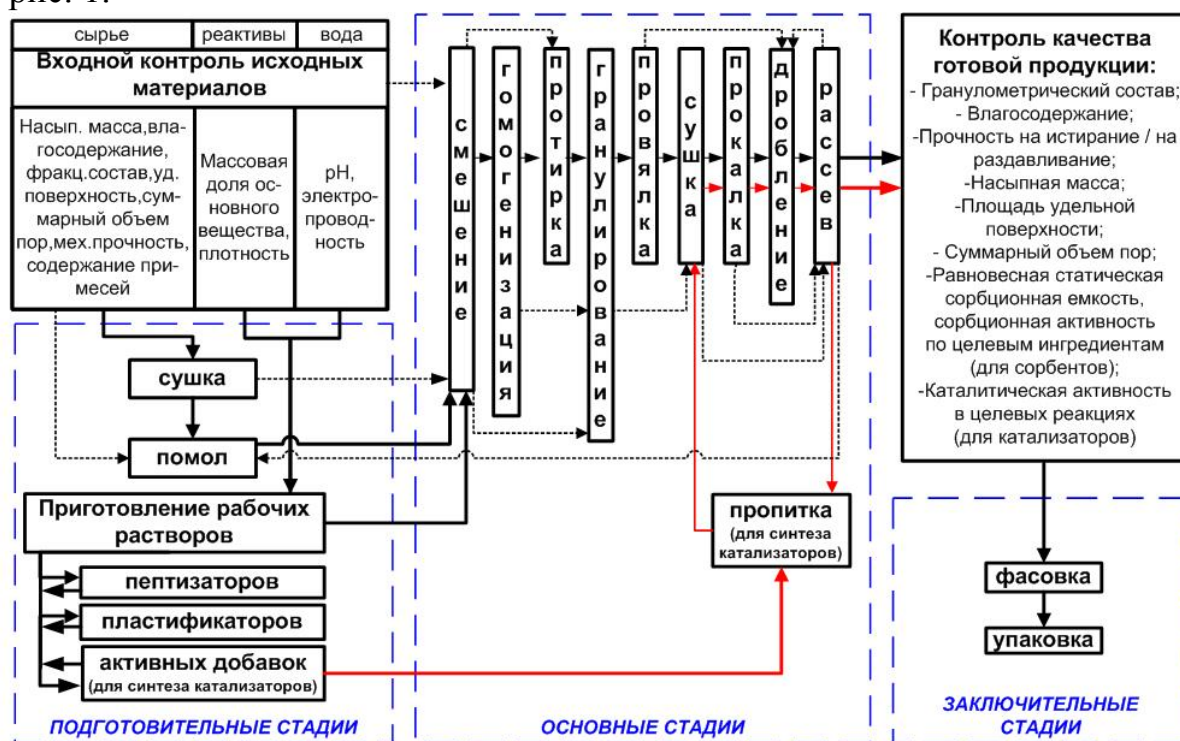


Рис. 1. Общая схема многостадийного гибкого технологического процесса синтеза сорбционно-каталитических материалов

## 2. Постановка задач управления производством

Задачи управления многоассортиментным производством гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц можно сформулировать следующим образом:

1. Управление при перенастройке на новый вид продукции.
2. Управление отдельными стадиями процесса синтеза.
3. Управление при возникновении нештатных ситуаций.

В соответствии со сформулированными задачами управления, функционирование системы управления состоит в осуществлении формирования

химико-технологической схемы для заданного типа, марки и формы продукции, выборе диапазонов режимов функционирования элементов технологической схемы, определении для сформированной схемы управляющих воздействий (времени выдержки и температуры) в заданных диапазонах, которые обеспечивают требуемые значения показателей качества продукта и управлении процессом при возникновении нештатных ситуаций.

Для решения задачи перенастройки системы на новый вид продукции (формирование химико-технологической схемы в зависимости от вида продукции, его марки и формы) необходимо учитывать характеристики сырья, оборудования, технологических параметров. Для учета этих характеристик разработано формализованное описание производства гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц (анализ процесса синтеза проведен на примерах получения алюмохромфосфатного катализатора АХФ, носителя-шарикового активного оксида алюминия ШАОА, алюмофосфатного сорбента-осушителя АФ).

Формализованное описание процесса производства, учитывающее характеристики сырья, оборудования, технологических параметров может быть представлено в виде вектора:

$$PD = \{П, М, Ф, КР, S, D, C, O, R\},$$

где  $П = \{П_1, \dots, П_{Nп}\}$  – вектор, описывающий тип выпускаемой продукции (сорбент, носитель, катализатор);

$М = \{M_1, \dots, M_{Nм}\}$  – марка типа продукции (наименование конечного продукта);

$Ф = \{Ф_1, \dots, Ф_{Nф}\}$  – вектор, описывающий форму гранул продукта (сфера, черенок);

$КР = \{КР_1, \dots, КР_{Nк}\}$  – требования по качеству продукции (прочность гранул, удельная поверхность, суммарный объем пор и т.п.);

$S = \{S_1, \dots, S_{Nс}\}$  – вектор, описывающий исходное сырье;

$D = \{D_1, \dots, D_{Nд}\}$  – вектор, описывающий рецептуры для производства продуктов (возможно получение одного и того же конечного продукта по различным рецептурам);

$C = \{C_1, \dots, C_{Nс}\}$  – вектор, описывающий стадии синтеза гранулированных пористых материалов;

$PC_j = \{PC_{j1}, \dots, PC_{jNpc}\}$  – последовательность данных стадий;

$O = \{O_1, \dots, O_{Nо}\}$  – вектор, описывающий характеристики оборудования (тип, площадь поверхности, емкость и другие характеристики);

$R = \{R_1, \dots, R_{Nр}\}$  – вектор, описывающий режимы функционирования стадий и оборудования (время пребывания, температура).

Для решения задачи перенастройки системы на новый вид продукции необходимо сформировать состав сырья  $S = \{S_1, \dots, S_{Nс}\}$  и рецептуру  $D = \{D_1, \dots, D_{Nд}\}$ , выбрать стадии  $C = \{C_1, \dots, C_{Nс}\}$  и их последовательность  $PC_j = \{PC_{j1}, \dots, PC_{jNpc}\}$ , оборудование для каждой стадии  $O = \{O_1, \dots, O_{Nо}\}$  для заданного вида продукции  $П = \{П_1, \dots, П_{Nп}\}$ , характеризующих его марок  $М = \{M_1, \dots, M_{Nм}\}$  и формы  $Ф = \{Ф_1, \dots, Ф_{Nф}\}$ , выбрать диапазоны технологиче-

ских режимов функционирования каждого из элементов технологической схемы  $R = \{R_1, \dots, R_{Nu}\}$ , при которых обеспечивается заданное качество продукции:  $KP = \{KP_1, \dots, KP_{Nk}\}$ ,  $KP_{\min} \leq KP \leq KP_{\max}$ .

Задача управления отдельными стадиями решена следующим образом: для химико-технологической схемы, сформированной при решении первой задачи управления, определяются режимы функционирования стадий в заданных диапазонах, которые обеспечивают требуемые значения показателей качества, что в свою очередь, позволяет экономить энергетические и материальные ресурсы.

Задача управления при возникновении нештатных ситуаций выполнена следующим образом: на основании описания типовых нештатных ситуаций, связанных с нарушением качества продукции и причин их возникновения, выдаются рекомендации в виде советов оператору по их устранению.

В соответствии с поставленными задачами определены этапы синтеза системы управления:

1. Разработка информационного обеспечения системы управления, включающего: базу данных конечных продуктов и полупродуктов и требований к ним, базу данных характеристик оборудования, базу данных характеристик исходных материалов: сырья, реактивов, базу данных технологических стадий, базу данных технологических параметров.

2. Разработка алгоритма функционирования и перенастройки системы управления при переходе на новый вид продукции и производительность [3].

3. Разработка математического обеспечения системы управления, включающего математические модели основных стадий производства для оценки качественных показателей и выработки управляющих воздействий для достижения требуемого качества продукции.

4. Разработка системы обучения для управления процессом в нештатных ситуациях.

5. Разработка структуры программного комплекса системы управления.

6. Выбор программного обеспечения для синтеза системы управления.

7. Разработка программного обеспечения системы управления.

Функциональная структура системы управления многоассортиментным производством гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц показана на рис. 2.

### **3. Методика разработки информационного обеспечения системы управления**

Применение информационных технологий в управлении гибким многоассортиментным производством сорбционно-каталитических материалов связано с необходимостью повышения эффективности и качества управления за счет настройки на различную номенклатуру производства, выбора управляющих воздействий для каждой из стадий процесса синтеза и имитационного моделирования нештатных ситуаций.

---

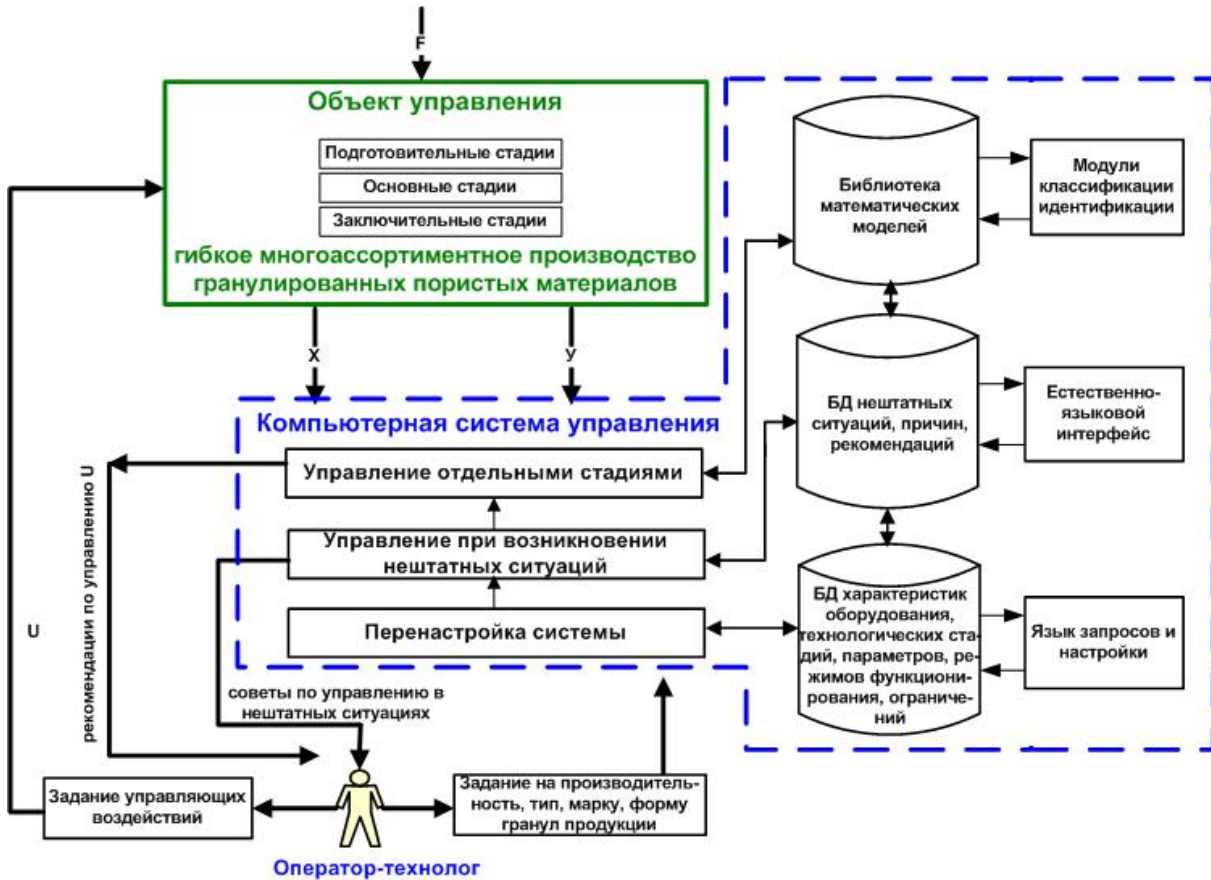


Рис. 2. Структура системы управления многоассортиментным производством гранулированных пористых материалов

Для адаптации системы управления к изменению вида продукции нами предложены информационные технологии, содержащие средства соответствующей настройки системы, включающей использование индивидуальных для каждого вида продукции данных о параметрах процесса: характеристиках сырья, оборудования, технологических стадиях, нештатных ситуациях и рекомендациях по их предотвращению, а также информационно-справочную систему.

Информационное обеспечение системы содержит всю информацию о технологическом процессе и состоит из следующих блоков:

- база данных (БД) характеристик сырья, конечных продуктов, оборудования, технологических режимов и параметров;
- база данных технологических ситуаций и рекомендаций оператору-технологу.

Разработка информационного обеспечения проводилась с использованием визуальной среды разработки баз данных Microsoft Access и интегрированной объектно-ориентированной среды программирования Borland C++ Builder. Использование объектно-ориентированного подхода позволяет создавать интегрированные приложения с открытой архитектурой, способные взаимодействовать с другими программами [4].



При разработке информационного обеспечения, структура которого представлена на рис. 3, необходимым требованием являлось обеспечение гибкости системы управления при переходе к новому виду продукции.

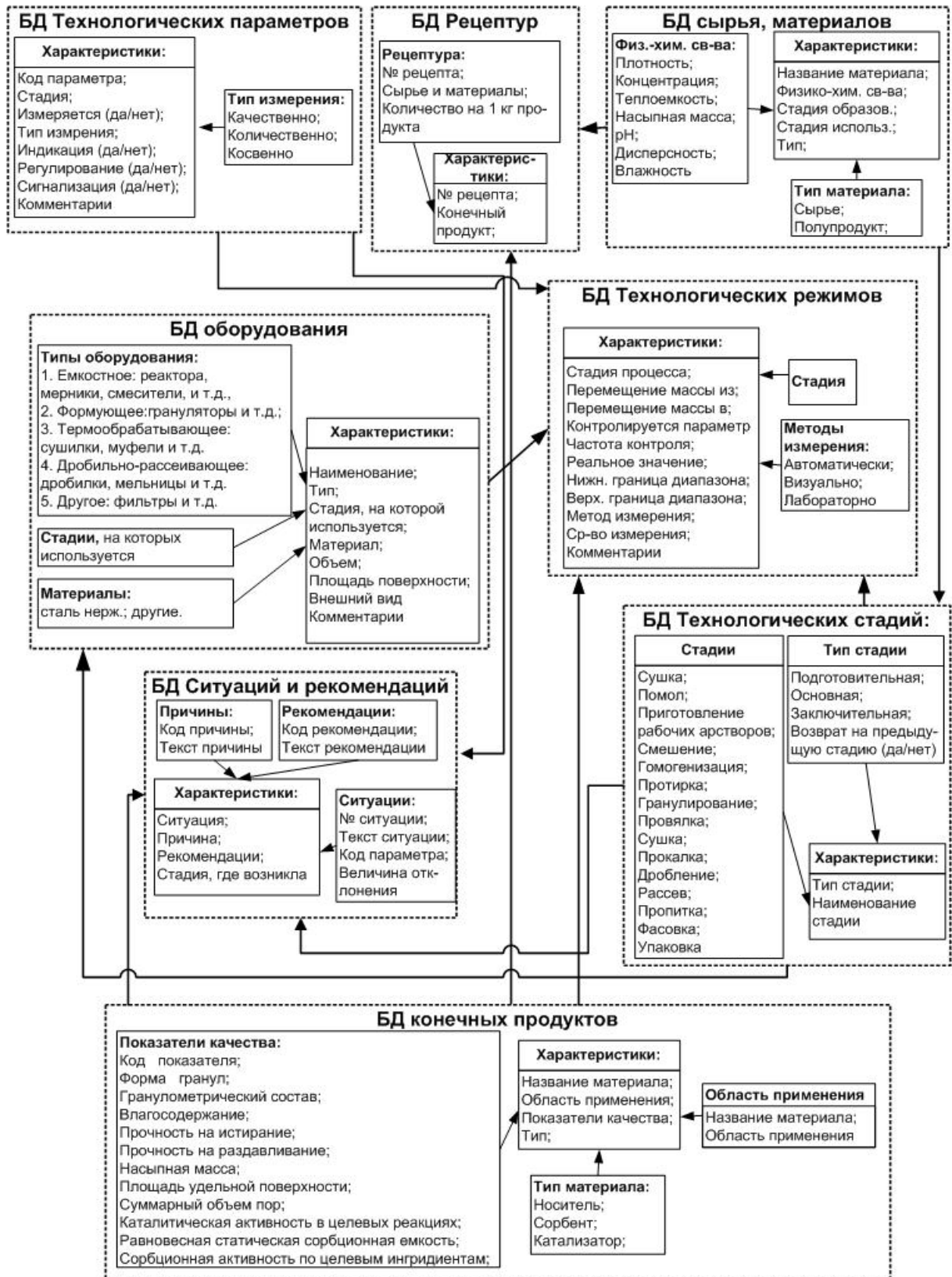


Рис. 3. Структура информационного обеспечения

База данных технологических ситуаций и рекомендаций включает в себя код причины, причину возникновения аварийной ситуации, контролируемый параметр, допустимый диапазон его изменений, рекомендации по устранению неисправности. База знаний состоит из 55 нештатных ситуаций, 91 причины и 92 рекомендаций. Также, в базу данных технологических ситуаций и рекомендаций включена таблица, в которую заносятся неполадки оборудования, которые могут возникать на многоассортиментном производстве гранулированных пористых материалов, для этих неполадок также предлагаются рекомендации по их устранению.

Кроме выявленных в результате анализа производства характеристик сырья, готовых продуктов, оборудования и т.д., база данных содержит каталог библиотеки математических моделей, включающий в себя разработанные базовые математические модели. Формат унифицированной программной реализации математических моделей разработан в виде динамических подключаемых библиотек (DLL) [4, 5]. В результате, доступ к программным модулям математических моделей осуществляется автоматически при выборе конечного продукта. Также информационное обеспечение системы управления содержит информацию о настроечных параметрах базовых математических моделей, настраиваемых на различные характеристики сырья и продукции.

Согласно разработанной структуре системы управления в составе программного комплекса системы функционируют разработанные блоки информационного обеспечения. Доступ к базам данных осуществляется при помощи структурированного языка запросов SQL [6] на базе технологий доступа к данным в среде Microsoft Windows, таких как ODBC и ADO.

#### **4. Результаты**

Таким образом, разработанное информационное обеспечение компьютерной системы управления включает всю информацию о производстве гранулированных пористых материалов, включенную в базы данных характеристик продукции, сырья, рецептур, оборудования, параметров и настроечных коэффициентов математических моделей, ограничений по качеству конечных продуктов, ситуаций и рекомендаций оператору-технологу. Структура разработанного информационного обеспечения предусматривает перенастройку системы управления на основе алгоритма перенастройки в соответствии с заданным видом продукции и производительностью и выдачу оператору-технологу причин и рекомендаций по устранению нештатных ситуаций, при их возникновении.

Применение современных информационных технологий для управления многоассортиментным производством гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц позволяет повысить эффективность (за счет настройки на различную номенклатуру), качество управления (за счет выбора управляющих воздействий) и безопасность производства (за счет имитационного моделирования нештатных ситуаций).

---

Использование современных средств разработки позволило реализовать функционирование программных модулей как автономно (при решении отдельных задач управления), так и в составе комплекса средств системы управления. Использование комплекса для обучения позволяет проводить исследование влияния основных каналов управления (времени пребывания и температуры), прогнозирование значений технологических параметров и обучение при перенастройке системы управления гибким многоассортиментным производством гранулированных пористых материалов на новый вид продукции.

Результаты тестирования системы управления многоассортиментным производством, проведенного для различных типов гранулированных сорбционно-каталитических материалов (АХФ, АФ, ШАОА), показали, что разработанная система применима для управления сложным, многостадийным процессом синтеза гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц.

### **Список использованных источников**

1. Мальцева Н.В., Власов Е.А., Шляго Ю.И. Разработка ассортимента и универсальной технологии сорбентов, носителей и катализаторов для установок газо- и воздухоочистки. – Экология и безопасность жизнедеятельности: Матер. III МНТК/под ред. проф. Ю.И. Вдовина. – Пенза: МНИЦ ПГСХА, 2003. – С. 117-118.
2. Мальцева Н.В., Власов Е.А., Вишневская Т.А., Шляго Ю.И. Технология малотоннажного производства формованных пористых оксидных материалов – носителей, сорбентов и катализаторов газоочистки. – Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии: Матер. XVI МНТК «РЕАКТИВ-2003». – Уфа: Реактив, 2003. – С. 154-155.
3. Юдинцева Ю.А., Чистякова Т.Б., Шляго Ю.И., Мальцева Н.В., Власов Е.А. Система управления многоассортиментным производством гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц // Химическая промышленность. 2004. Т.81, Вып. 4. С. 208-213.
4. Архангельский А.Я. Программирование в С++ Builder 5. – М.: «БИНОМ», 2002.
5. Нолингвэрт Дж., Баттерфилд Д., Сворд Б., Оллсоп Дж. С++ Builder 5. Руководство разработчика. Т. 2. Сложные вопросы программирования. – М.: ИД Вильямс, 2001.
6. Глушаков С.В., Ломотько Д.В. Базы данных: Учебный курс. – Харьков: Фолио; М.: ООО «Издательство АСТ», 2000. – 504с.

## **Чистякова Т.Б., Новожилова И.В., Шляго Ю.И., Юдинцева Ю.Е. ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГИБКИМ МНОГОАССОРТИМЕНТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ СОРБЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет)*

### **1. Введение**

Разработка программного комплекса для обучения специалистов управлению производством сорбционно-каталитических материалов на базе

---

системы имитационного моделирования является актуальной задачей. Комплекс позволит осуществлять моделирование ключевых стадий производства (гранулирования, сушки, прокаливания), проводить исследования специальных технологических режимов при перенастройке на изменяющийся ассортимент продукции, а также проводить обучение управленческого персонала управлению производством.

## **2. Разработка математических моделей ключевых стадий производства**

Технология разработки тренажерных математических моделей для обучения управлению гибким многоассортиментным производством сорбционно-каталитических материалов состоит из следующих основных этапов:

- создание библиотеки базовых детерминированных математических моделей стадий производства, описывающих функционирование объекта изучения в номинальном, допустимом по регламенту режиме;
- формирование библиотеки параметров математических моделей, настраиваемых на различные характеристики сырья, конечных продуктов и нештатные ситуации;
- разработка методов решения математических моделей при реализации различных стратегий обучения.

Формализованное описание каждой из стадий производства гранулированных пористых материалов можно представить в виде вектора:

$$Y_j = F\{X_j, U_j, K_j, t\}, \quad (1)$$

где  $X_j$  – вектор входных параметров объекта;  $U_j$  – управляющих;  $Y_j$  – выходных;  $K_j$  – вектор параметров математических моделей;  $t$  – время;  $j$  – индекс принадлежности к стадии производства.

Наибольшее влияние на показатели качества процесса синтеза гранулированных пористых материалов оказывают стадия гранулирования (формования) [1,2] и термические стадии сушки [3] и прокаливания [4]. Для данных ключевых стадий нами разработана библиотека базовых математических моделей, учитывающих различные технологические режимы и варианты аппаратного оформления процесса. Вариант технологической связи между ключевыми стадиями процесса синтеза с формализованным описанием математических моделей (ММ) представлен на рис. 1.

Термин «формование» в технологии пористых материалов (сорбентов и катализаторов) подразумевает процесс придания исходному материалу определенной формы (брикеты, гранулы, пластины, блоки и т.д.), пригодной для дальнейшей технологической переработки и диктуемой требованиями к конечному виду готовой продукции в зависимости от условий её эксплуатации. При производстве гранулированных пористых материалов методом формования или экструзии гранулирование осуществляют в шнеке-грануляторе, выдавливая влажную массу через отверстия формующей головки с последующим разрезанием жгутов на приблизительно равные части. Для стадии формования формализованное описание можно представить в виде вектора:

$$Y_1 = F\{X_1, U_1, K_1, t\}, \tag{2}$$

где  $X_1$  – вектор входных характеристик.  $X_1 = \{C_i$  – концентрация компонентов формуемой массы, где  $i = \overline{1, m}$ ,  $m$  – число компонентов формуемой массы, % мас.;  $\rho_i$  – плотность компонентов формуемой массы,  $i = \overline{1, m}$ ,  $m$  – число компонентов формуемой массы, кг/м<sup>3</sup>;  $Q_{зад.}$  – теоретическая производительность экструдера, кг/час; физико-механические свойства формуемого материала; технологические параметры формования; геометрические характеристики однозаходного шнека};

$U_1 = \{N\}$  – вектор управляющих воздействий:  $N$  – скорость вращения шнека, об/мин;

$Y_1 = \{d_{зр.}, Q_p, \eta\}$  – вектор выходных переменных:  $d_{зр.}$  – диаметр получаемых гранул;  $Q_p$  – производительность экструдера, кг/час;  $\eta$  – вязкость материала, Па · с;

$K_1 = \{\alpha_\phi; \beta_\phi; \alpha_m; K_z\}$  – вектор коэффициентов:  $\alpha_\phi$  – коэффициент подачи вынужденного потока;  $\beta_\phi$  – коэффициент подачи потока под давлением;  $\alpha_m$  – коэффициент теплоотдачи;  $K_z$  – коэффициент сопротивления головки экструдера.

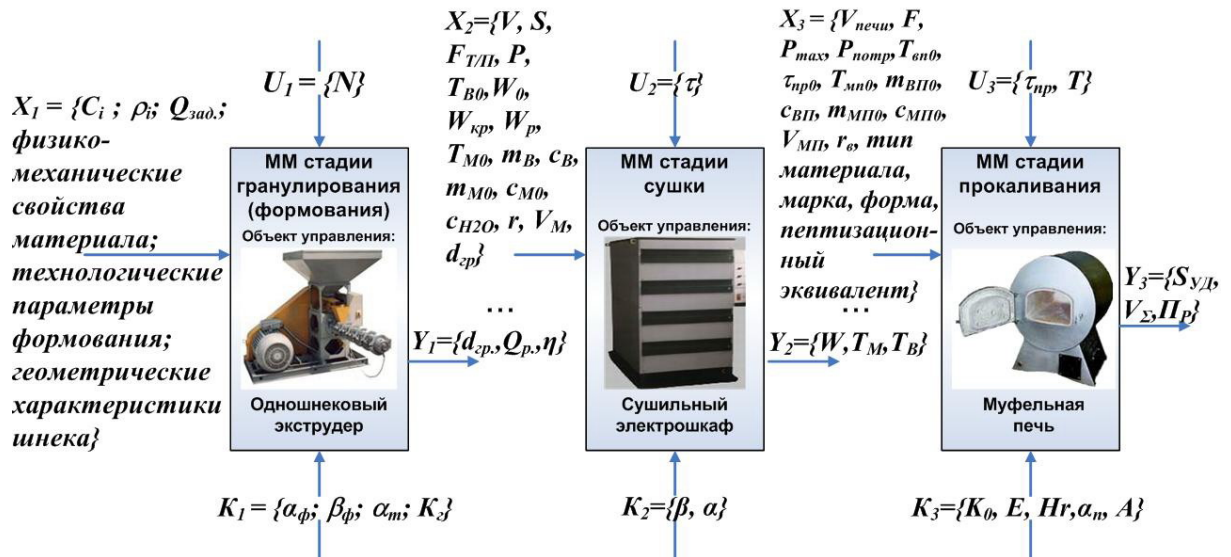


Рис. 1. Пример формализованного описания математических моделей ключевых стадий производства сорбционно-каталитических материалов

Математическая модель процесса гранулирования (формования) катализаторных масс в одношнековом экструдере может быть представлена следующей системой уравнений (3) – (8):

- уравнения баланса сил, действующих на материал

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y}, \quad \frac{\partial P}{\partial z} = \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y}, \tag{3}$$

$$\tau_{yx} = \eta \frac{\partial v_x}{\partial y}, \quad \tau_{yz} = \eta \frac{\partial v_z}{\partial y}, \tag{4}$$

где  $P$  – давление;  $\tau$  – напряжение сдвига;

- условие постоянства расхода поступательного потока материала

$$Q = w \int_0^H v_z dy, \quad (5)$$

где  $w$  – ширина канала;  $H$  – глубина канала;

- уравнение внешней характеристики формующей головки

$$Q_z = \frac{K_z P_z}{\eta}, \quad (6)$$

где  $K_z$  – коэффициент сопротивления для круглого цилиндрического канала фильеры диаметром  $d_\phi$  и длиной  $l_\phi$ ,  $K_z = \frac{\pi d_\phi^4}{128 l_\phi}$ ;  $P_z$  – давление в головке экструдера;

- уравнение теплового баланса

$$\rho c v_z \frac{dT}{dz} = \tau_{xy} \frac{dv_x}{dy} + \tau_{zy} \frac{dv_z}{dy} - \frac{2k\lambda}{H^2} (T - T_u), \quad (7)$$

где  $\rho$  – плотность формуемой массы;  $c$  – удельная теплоемкость;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;

- реологическое уравнение состояния

$$\eta = (\tau_0 + \mu \dot{\gamma}^{1/n}) \dot{\gamma}^{-1} \cdot \exp\left[\frac{E}{RT}\right], \quad \tau \geq \tau_0 \geq 0, \quad (8)$$

где  $\tau_0$  – предел текучести;  $\mu$  – коэффициент вязкости;  $n$  – индекс течения;  $E$  – энергия активации;  $R$  – газовая постоянная.

Начальные условия для решения системы:  $z=0$ ,  $T = T_0$ , где  $T_0$  – начальная температура материала;  $P = P_0$ , где  $P_0$  – давление на входе в гранулятор.

Граничные условия дифференциальной модели:  $v_x = v_y = v_z = 0$  при  $y = 0$ ;  $T = T_u$  при  $x = 0$  и  $x = w$  (для всех  $y$ );  $v_x = U_x = U \sin \theta$ ;  $v_z = U_z = U \cos \theta$ ;  $T = T_u$  при  $0 < x < w$  и  $y = H$ , где  $T_u$  – температура стенок цилиндра экструдера;  $T_u$  – температура червяка (однозаходного шнека).

После формования полученные гранулы продукта поступают на термические стадии процесса. Термические стадии предназначены для переработки гранул и принципиально отличаются между собой диапазонами рабочих температур, определяющими протекание заданных процессов и их аппаратное оформление. На стадии сушки, которая ведется при температуре до 120 °С, происходит удаление из сырья не связанной стехиометрически воды, из гранул – формовочной воды, т.е. свободной воды, привносимой в состав гранул на стадии смешения и воды из растворов кислот. Стадия сушки не сопровождается (для гидроксидов алюминия, силикагелей, цеолитов) кристаллохимическими изменениями компонентов гранул, при сушке происходит их частичная дегидратация, затвердевание гранул и приобретение ими уже достаточно высокой механической прочности.

Формализованное описание стадии сушки представлено в виде:

$$Y_2 = F\{X_2, U_2, K_2, t\}, \quad (9)$$

где  $X_2 = \{X_{21}; X_{22}\}$  – вектор входных характеристик, где  $X_{21} = \{V, S, F_{Т/П}, P, T_{В0}\}$  – переменные, зависящие от аппаратной реализации:  $V$  – рабочий объем

сушильной камеры,  $m^3$ ;  $S$  – площадь свободной поверхности испарения,  $m^2$ ;  $F_{T/П}$  – площадь поверхности теплопередачи,  $m^2$ ;  $P$  – мощность сушильного электрошкафа, Вт;  $T_{B0}$  – начальная температура воздуха в сушильной камере, К;  $X_{22} = \{W_0, W_{кр}, W_p, T_{M0}, m_B, c_B, m_{M0}, c_{M0}, c_{H_2O}, r, V_M, d_{гр}\}$  – переменные, характеризующие высушиваемый материал:  $W_0$  – начальная влажность продукта, %;  $W_{кр}$  – критическая влажность продукта, %;  $W_p$  – равновесная влажность продукта, %;  $T_{M0}$  – начальная температура высушиваемого материала, К;  $m_B$  – масса воздуха, кг;  $c_B$  – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К);  $m_{M0}$  – масса влажного продукта, кг;  $c_{M0}$  – удельная теплоемкость абсолютно сухого материала, Дж/(кг·К); ( $c_M = c_{M0} \cdot (1-x) + c_{H_2O} x$ ,  $c_M$  – удельная теплоемкость влажного продукта, Дж/(кг·К);  $x$  – массовая доля влаги в продукте);  $c_{H_2O}$  – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К);  $r$  – удельная теплота испарения влаги, Дж/кг;  $V_M$  – объем, занимаемый влажным материалом,  $m^3$ ;  $d_{гр}$  – диаметр гранулы, м}.

$U_2 = \{\tau\}$  – вектор управляющих воздействий:  $\tau$  – время сушки;

$Y_2 = \{W, T_M, T_B\}$  – вектор выходных переменных:  $W$  – влажность продукта,  $T_M$  – температура материала;  $T_B$  – температура воздуха в сушильном шкафу;

$K_2 = \{\beta, \alpha\}$  – вектор коэффициентов математической модели:  $\beta, \alpha$  – коэффициенты массоотдачи и теплоотдачи, соответственно.

Система уравнений, описывающих процесс сушки, сводится к следующей системе (10) – (12):

$$\frac{dW}{d\tau} = -\beta \cdot \frac{S}{V_M} (W - W_{II}), \quad (10)$$

$$\frac{d(T_B \cdot m_B \cdot c_B)}{d\tau} = (P - \alpha \cdot F_{T/П} \cdot (T_B - T_M)), \quad (11)$$

$$\frac{d(T_M \cdot m_M \cdot c_M)}{d\tau} = (\alpha \cdot F_{T/П} \cdot (T_B - T_M) - r \cdot \frac{m_M}{100} \cdot \beta \cdot \frac{S}{V_M} (W - W_{II})), \quad (12)$$

где  $W_{II} = W_{кр}$  для первого периода сушки (скорость сушки постоянна и не зависит от влажности материала),  $W_{II} = W_p$  – для второго (периода уменьшающейся скорости).

Начальные условия:  $W(0) = W_0$ ;  $\tau(0) = 0$ ;  $T_B(0) = T_{B0}$ ;  $T_M(0) = T_{M0}$ .

Стадия прокаливания (активации) определяет конечные прочностные, структурные, сорбционные и каталитические свойства готовых гранул. Прокаливание проводится при температурном режиме (от 120 до 500-800<sup>0</sup>С), зависящем от конкретного состава гранул – основного материала, связующего, добавок, активных компонентов, целевых свойств готового продукта и аппаратного оформления процесса. Формализованное описание стадии прокаливания представлено в виде:

$$Y_3 = F\{X_3, U_3, K_3, t\}, \quad (13)$$

где  $X_3 = \{X_{31}; X_{32}\}$  – вектор входных параметров, где  $X_{31} = \{V_{печи}, F, P_{max}, P_{потр}, T_{вп0}, \tau_{пр0}\}$  – переменные, зависящие от аппаратной реализации:  $V_{печи}$  – рабочий объем муфельной печи,  $m^3$ ;  $F$  – площадь поверхности теплопередачи,

$m^2$ ;  $P_{\max}$  – максимальная мощность печи, Вт;  $P_{\text{потр}}$  – потребляемая мощность муфельной печи, Вт;  $T_{\text{вп}0}$  – начальная температура воздуха в печи, К;  $\tau_{\text{пр}0}$  – начальное время прокаливания;  $X_{32} = \{T_{\text{мп}0}, c_{\text{в}}, m_{\text{М}0}, c_{\text{М}0}, V_{\text{М}}, r_{\text{в}}, \text{тип материала, марка, форма, пептизационный эквивалент}\}$  – переменные, характеризующие прокаливаемый материал;  $T_{\text{мп}0}$  – начальная температура материала при прокаливании, К;  $m_{\text{вп}}$  – масса воздуха, кг;  $c_{\text{вп}}$  – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К);  $m_{\text{мп}0}$  – масса влажного материала, кг;  $c_{\text{мп}0}$  – удельная теплоемкость абсолютно сухого материала, Дж/(кг·К);  $V_{\text{мп}}$  – объем, занимаемый влажным материалом при прокаливании,  $m^3$ ;  $r_{\text{в}}$  – удельная теплота испарения влаги, Дж/кг; тип материала – сорбент, катализатор, носитель;

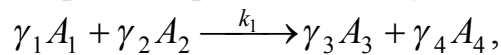
$U_3 = \{\tau_{\text{пр}}, T\}$  – вектор управляющих воздействий:  $\tau_{\text{пр}}$  – период и  $T$  – температура прокаливания;

$Y_3 = \{S_{\text{уд}}, V_{\Sigma}, P_{\text{р}}\}$  – вектор выходных переменных:  $S_{\text{уд}}$  – удельная поверхность,  $m^2/g$ ;  $V_{\Sigma}$  – суммарный объем пор,  $cm^3/g$ ;  $P_{\text{р}}$  – прочность гранул, МПа;

$K_3 = \{K_0, E, Hr, \alpha_{\text{п}}, A\}$  – вектор коэффициентов математической модели:  $K_0$  – предэкспоненциальный множитель для расчета константы скоростей реакций;  $E$  – энергия активации;  $Hr$  – тепловой эффект реакции;  $\alpha_{\text{п}}$  – коэффициент теплоотдачи при прокаливании;  $A$  – вектор эмпирических коэффициентов математической модели для настройки математической модели на разные виды сорбционно-каталитической продукции,

$$A = \{a_s, a_v, b_s, b_v, c_s, c_v, d_s, d_v, e_s, e_v, f_s, f_v, \alpha_{\text{п}}, a_{\text{п}}, b_{\text{п}}, c_{\text{п}}, d_{\text{п}}, e_{\text{п}}, f_{\text{п}}\}.$$

При прокаливании материала, протекает следующая реакция:



где  $\gamma_z$  – стехиометрические коэффициенты,  $z = \overline{1,4}$ ;  $A_z$  – концентрации веществ, участвующих в реакции,  $z = \overline{1,4}$ ;  $k_1$  – константа скорости реакции. Для алюмооксидных сорбентов, катализаторов и носителей реакция имеет вид:  $2AL(OH)_3 + HNO_3 \xrightarrow{k_1} AL_2(OH)_5NO_3 + H_2O$ .

Математическая модель стадии прокаливания сводится к следующей системе (14) – (21), включающей:

- уравнения для определения скоростей изменения концентраций веществ, участвующих в реакции, и скоростей изменения температур среды и материала:

$$r = k_1 \cdot C_{A_1}^{|\gamma_1|} \cdot C_{A_2}^{|\gamma_2|}, \quad k_1 = K_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T_{\text{mn}}}\right), \quad (14)$$

$$\frac{dC_z}{dt} = \pm \gamma_z r, \quad 0 \leq t \leq \tau_{\text{пр}}, \quad z = \overline{1,4}, \quad (15)$$

$$\frac{dT_{\text{вп}}}{dt} = \frac{(P_{\text{печи}} - \alpha F (T_{\text{вп}} - T_{\text{мн}}))}{m_{\text{вп}} \cdot c_{\text{вп}}}, \quad (16)$$

$$\frac{dT_{\text{мп}}}{dt} = \frac{(\alpha F (T_{\text{вп}} - T_{\text{мп}}) - r V_{\text{мп}} Hr)}{m_{\text{мп}} \cdot c_{\text{мп}}}, \quad (17)$$



- уравнения для определения показателей качества:

для сорбентов и носителей

$$S(\tau_{np}, T) = \alpha_S(a_S + b_S\tau_{np})(c_S + d_S T), \quad (18)$$

для катализаторов

$$S(\tau_{np}, T) = \alpha_S(a_S + b_S\tau_{np})(c_S + d_S T + e_S T^2), \quad (19)$$

$$V_{\Sigma}(\tau_{np}, T) = \alpha_V(a_V + b_V\tau_{np} + c_V\tau_{np}^2)(d_V + e_V T + f_V T^2), \quad (20)$$

$$P_p(\tau_{np}, T) = \alpha_n(a_n + b_n\tau_{np} + c_n\tau_{np}^2)(d_n + e_n T + f_n T^2). \quad (21)$$

Начальные условия для решения системы:  $T_{вп}(0) = T_{вп0}$ ;  $T_{мп}(0) = T_{мп0}$ ;  $C_{Al(OH)_3}(0)$ ;  $C_{HNO_3}(0)$ .

Ограничения на величину показателей качества гранул:  $P_p \geq P_{pmax}$ ,  $S \geq S_{max}$ ,  $V_{\Sigma} \geq V_{\Sigma max}$ .

Разработанные математические модели ключевых стадий производства гранулированных пористых материалов позволяют рассчитывать и прогнозировать параметры процесса, выбирать управляющие воздействия для обеспечения требуемого качества продукции при заданных ограничениях.

### 3. Формирование нештатной ситуации

Для разработки библиотеки параметров базовых математических моделей, настраиваемых на типовые нарушения необходимо систематизировать типовые нарушения (ситуации) и причины их вызывающие. Нештатные ситуации можно разделить на следующие типы: нарушение размеров и формы гранул, несоответствие гранул требованиям к фазовым (кристаллохимическим) и структурно-прочностным характеристикам, нарушение требований к показателям качества, контролируемых визуально. Для моделирования эксплуатационных ситуаций (нарушений оптимальных, допустимых, эксплуатационных норм) достаточно изменения параметров базовой модели: управляющих воздействий  $U_{var}$ ; входных параметров объекта  $X_{var}$ ; коэффициентов функциональной модели  $K_{var}$ , например коэффициентов массоотдачи, теплоотдачи при моделировании стадии сушки и др.

Для моделирования причин нарушений в базовой модели изменяются компоненты модели по отношению к номинальным. В табл. 1 приведены примеры типовых ситуаций, причин их вызывающих и указаны соответствующие параметры базовых моделей ключевых стадий производства, подлежащие изменению для моделирования ситуации.

Алгоритм синтеза системы имитационного моделирования для обучения управлению гибким многоассортиментным производством гранулированных пористых материалов представлен на рис. 2.

При обучении управлению производством сорбционно-каталитических материалов в нештатных ситуациях инструктором задаются следующие компоненты имитационной системы и их параметры: последовательность базовых моделей ключевых стадий производства (на основании выбранного типа продукции, требований к качеству, оборудования); тип и последовательность

нештатных ситуаций; причины, вызывающие ситуации, время (момент системного времени) возникновения нештатной ситуации; время обучения. Вся информация о компонентах и параметрах сценария обучения заносится в файл сценария, на основании которого реализуется сформированный сценарий для обучаемого, при этом сценарий обучения может содержать несколько задач различного типа, которые будут последовательно реализовываться в соответствии с их временем моделирования. При завершении обучения инструктор может ознакомиться с результатами работы обучаемого, содержащимися в протоколе обучения, и производить изменения в сценарии обучения.

Таблица 1

Стадия производства	Нештатная ситуация	Наименование причины	Настраиваемые параметры модели
Гранулирование (формование)	Слипание гранулированных нитей на выходе из отверстий фильеры.	Излишне влажная формовочная масса	$X_1 = \{C_i, \rho_i, \tau_0, n, \mu\}$
	Потеря производительности	Образование когезионного разрыва	$X_1 = \{C_i, \rho_i, \tau_0, n, \mu\}$ , $U_1 = \{N\}$
Сушка	Гранулы после сушки имеют влажность выше заданной регламентом.	Температура ниже заданной.	$X_2 = \{T_{в0}\}$
		Продолжительность сушки ниже заданной.	$U_2 = \{\tau\}$
Прокаливание	Несоответствие прокаленных гранул требованиям регламента к фазовым и структурно-прочностным характеристикам.	Несоответствие заданной площади удельной поверхности	$K_3 = \{A\}$ , $U_3 = \{\tau_{пр}, T\}$
		Пониженная механическая прочность гранул	$U_3 = \{\tau_{пр}, T\}$
		Заниженные значения суммарного объема пор	$U_3 = \{\tau_{пр}, T\}$

#### 4. Результаты работы

Нами разработан программный комплекс, предназначенный для обучения специалистов управлению производством гранулированных пористых материалов на базе системы имитационного моделирования. Программа позволяет осуществлять моделирование ключевых стадий производства (гранулирования, сушки, прокаливания), проводить исследования специальных технологических режимов при перенастройке на изменяющийся ассортимент продукции. Комплекс включает взаимодействующие компоненты: базы данных технологических режимов и параметров, характеристик сырья и материалов, характеристик конечных продуктов, оборудования, геометрических моделей; базу знаний нештатных ситуаций, причин их вызывающих и рекомендаций по управлению; библиотеку базовых математических моделей ключевых стадий производства; библиотеку методов решения математических моделей; библиотеку настраиваемых модулей типовых нарушений; модуль формирования выходных характеристик, включая трехмерные геометрические модели; интерфейс инструктора; интерфейс обучаемого; динамиче-

скую мнемосхему; модули формирования сценариев и протоколов обучения; информационно-справочную систему.



Рис. 2. Алгоритм синтеза системы имитационного моделирования для обучения управлению гибким многоассортиментным производством гранулированных пористых материалов

Благодаря возможности настройки параметров базовых моделей ключевых стадий производства осуществляется имитационное моделирование нештатных ситуаций, таких как повышенная влажность материала, пониженная пластичность формуемой массы, несоответствие гранул требованиям к кристаллохимическим и структурно-прочностным характеристикам и т.д. Проверка работоспособности проведена на различных типах сорбционно-каталитической продукции: алюмохромфосфатном катализаторе, алюмофосфатном сорбенте-осушителе и носителе – шариковом активном оксиде алюминия.

### **Список использованных источников**

1. Логинов В.Я., Равичев Л.В., Беспалов А.В., Старостина Н.Г. Математическая модель формования наполненных композиций в одношнековом прессе // ТОХТ. – 1999 - том 33 - №2. – с. 208-216.
  2. Басов Н.И., Казанков Ю.В., Любартович В.А. Расчёт и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов. – М.: Химия, 1986. – 448 с.
  3. Чистякова Т.Б., Шляго Ю.И., Юдинцева Ю.Е. Математическая модель процесса сушки гранулированных материалов. - Сб. Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-16: Труды XVI Междунар. науч. конф. в 10 т., т. 10. секция 11. /под общ. ред. проф. В.С. Балакирева/. СПб.: СПбГТИ (ТУ). 2003. – с. 13-14.
  4. Чистякова Т.Б., Шляго Ю.И., Юдинцева Ю.Е. Математическая модель процесса прокаливания для управления гибким многоассортиментным производством синтеза гранулированных пористых материалов. - Сб. Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-17: Труды XVII Междунар. науч. конф. в 10 т., т. 10. секция 11. /под общ. ред. проф. В.С. Балакирева/. Кострома, 2004. – с. 13-14.
- 
-